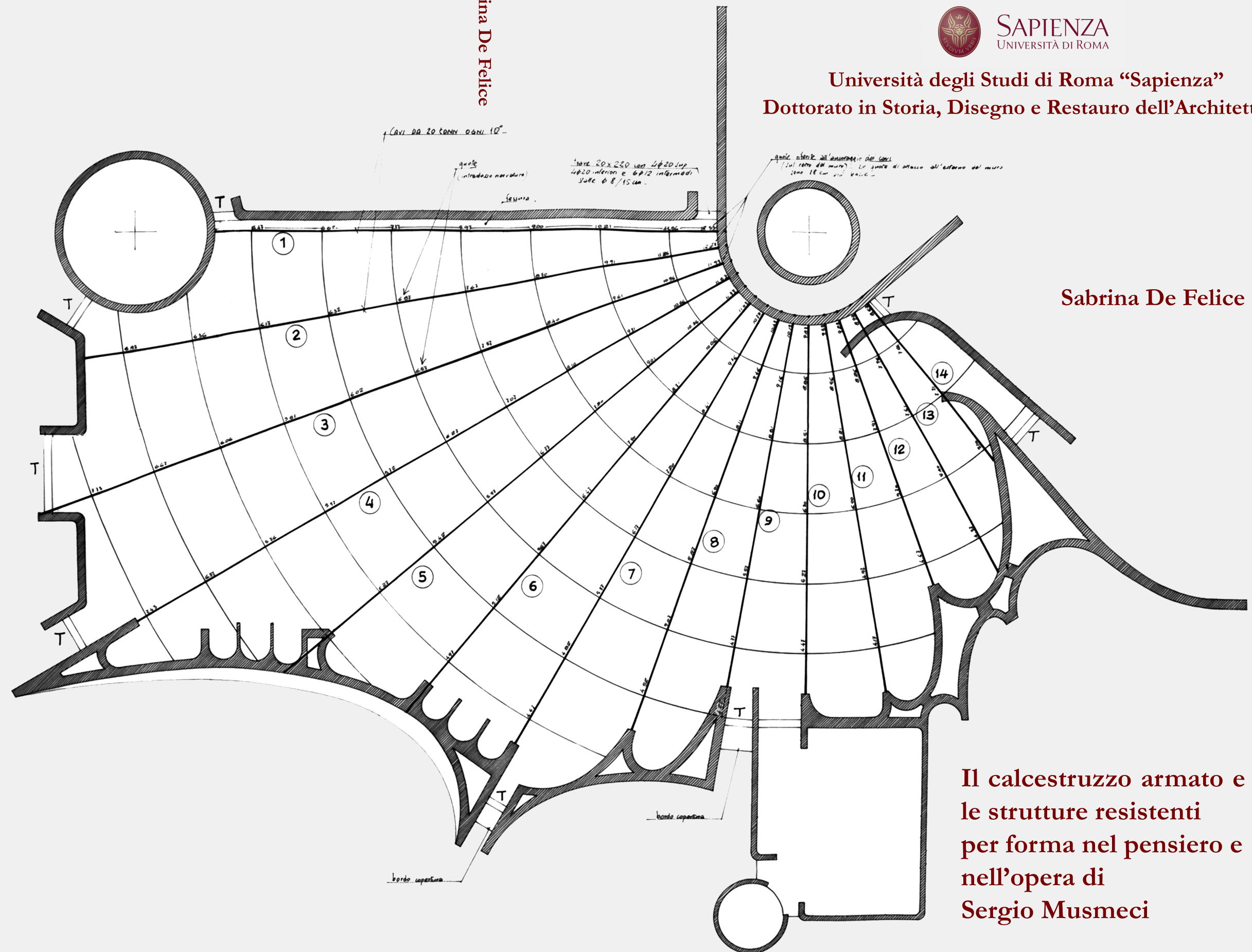




Il calcestruzzo armato e
le strutture resistenti
per forma nel pensiero e
nell'opera di
Sergio Musmeci

Conservazione e durabilità: problematiche attuali



Università degli Studi di Roma “Sapienza”
Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell’Architettura



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

DOTTORATO DI RICERCA IN “STORIA, DISEGNO E RESTAURO
DELL’ARCHITETTURA”
XXVIII Ciclo - Sezione C - Restauro dell’architettura

Sabrina De Felice

**Il calcestruzzo armato e le strutture resistenti per
forma nel pensiero e nell’opera di Sergio Musmeci**

Conservazione e durabilità: problematiche attuali

Coordinatore del corso di Dottorato: Prof. Augusto Roca De Amicis
Coordinatore della Sezione C - Restauro dell’architettura: Prof. Maurizio Caperna
Supervisore: Prof.ssa Maria Piera Sette
Co-supervisori: Prof. Enzo Cartapati, Prof.ssa Maria Grazia Turco

Anno 2016

La presente trattazione è frutto del lavoro svolto nell'ambito del Dottorato di Ricerca in "Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura", all'Università degli Studi di Roma "Sapienza".

Ringrazio tutti coloro che mi hanno aiutato a riflettere sui temi affrontati e che hanno contribuito al compimento del mio percorso di studio. In particolare ringrazio: il mio supervisore, la prof.ssa Maria Piera Sette, per avermi supportato e consigliato durante gli anni di Dottorato; la prof.ssa Maria Grazia Turco per il sostegno e la fiducia data motivandomi in questi lunghi anni; il prof. Enzo Cartapati per i colloqui avuti che hanno fornito diversi spunti alla ricerca.

Ringrazio i membri del Collegio dei Docenti per aver apprezzato nel corso degli anni il mio tema di studio e per avermi fornito consigli nel corso delle riunioni di Dottorato.

Un grazie alla prof.ssa Simona Salvo e alla prof.ssa Marzia Marandola che, su temi diversi, mi hanno dato alcuni suggerimenti.

Fondamentali per la stesura della presente tesi sono stati i contatti con il MAXXI, in cui è conservato l'intero archivio della famiglia Musmeci, *Fondo Sergio Musmeci e Zenaide Zanini*, di cui ringrazio in particolare l'arch. Esmeralda Valente e la dott.ssa Carla Zhara Buda per la disponibilità dimostratami.

Ringrazio l'arch. Giuseppe Morganti, della Soprintendenza Archeologica di Roma, per aver messo a mia disposizione l'archivio conservato nel suo ufficio, dal quale ho potuto trarre materiale riguardante la semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio; un grazie anche all'ing. Mario Bellini e all'arch. Antonio Giovannoni per le informazioni fornite durante un colloquio insieme all'arch. Giuseppe Morganti.

Ringrazio l'arch. Fabrizio Bardelli per i chiarimenti avuti, tramite un'intervista via mail, e per il materiale fotografico fornito in merito alla chiesa di S. Alberto a Sarteano.

Ringrazio la mia famiglia per il supporto che mi ha dato in questo nuovo percorso di studio e, in particolare, ringrazio chi mi ha accompagnato nei sopralluoghi, chi ha condiviso con me alcuni momenti di difficoltà e chi mi ha sempre incoraggiato e sostenuto.

**IL CALCESTRUZZO ARMATO E LE STRUTTURE RESISTENTI PER
FORMA NEL PENSIERO E NELL'OPERA DI SERGIO MUSMECI**
Conservazione e durabilità: problematiche attuali

INDICE.....p. III

PRESENTAZIONE DELLA RICERCA.....p. VII

Capitolo Primo

**LE STRUTTURE RESISTENTI PER FORMA NEL XX SECOLO IN ITALIA E
NON SOLO ...**

Premessa.....p. 3

1.1 Il calcestruzzo armato, un nuovo materiale: dalla sperimentazione alla
diffusione.....p. 4

1.2 L'Italia e l'ingegneria strutturale del secondo Novecento.....p. 19

1.3 Il calcestruzzo armato e l'architettura del Novecento in Europa: l'ottimizzazione
della materia.....p. 28

Capitolo Secondo

**SERGIO MUSMECI: TRENT'ANNI DI RICERCHE ED ATTIVITÀ
PROFESSIONALE (1950-1980)**

Premessa.....p. 49

2.1 Forma e struttura: le forme minimali di Sergio Musmeci.....p. 50

 2.1.1 La formazione professionale.....p. 51

 2.1.2 Il minimo strutturale e la ricerca della forma ideale.....p. 65

2.2 Le ricerche e l'attività professionale.....p. 74

 2.2.1 Le volte corrugate.....p. 77

 2.2.2 Le reti di travi.....p. 82

 2.2.3 I sistemi equitensionali.....p. 85

 2.2.4 Le membrane a compressione uniforme.....p. 89

 2.2.5 Le strutture reticolari spaziali.....p. 93

Capitolo Terzo

CASI DI STUDIO: DALLA CONCEZIONE STRUTTURALE ALLA REALIZZAZIONE

Premessa.....	p. 111
3.1 Realizzazioni di nuova concezione: gli edifici religiosi.....	p. 113
3.1.1 La Chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972).....	p. 118
3.2 Grandi strutture: i ponti.....	p. 129
3.2.1 Il Ponte sul Basento a Potenza (1967-1975).....	p. 132
3.2.2 Il Viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980).....	p. 141
3.3 Un caso di intervento sulle preesistenze.....	p. 152
3.3.1 La Basilica di Massenzio e l'intervento per la realizzazione della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana (1961-1962).....	p. 153

Capitolo Quarto

LA DURABILITÀ DELLE OPERE DI SERGIO MUSMECI E LA CONSERVAZIONE DELLE ARCHITETTURE DEL NOVECENTO IN CALCESTRUZZO ARMATO

Premessa.....	p. 167
4.1 La conservazione dell'architettura del Novecento in calcestruzzo armato: problematiche e riflessioni.....	p. 168
4.2 La durabilità del c.a. nell'architettura del secondo Novecento.....	p. 183
4.2.1 La durabilità del calcestruzzo nella storia.....	p. 185
4.2.2 La qualità del calcestruzzo e le cause del degrado.....	p. 189
4.2.3 Calcestruzzo durevole secondo le norme nazionali ed europee e la durabilità delle grandi strutture in c.a. del secondo Novecento.....	p. 195
4.3 La durabilità delle opere di Sergio Musmeci: degrado, interventi di restauro e manutenzione e problematiche conservative.....	p. 204
4.3.1 La Chiesa di S. Alberto a Sarteano.....	p. 207
4.3.2 Il Ponte sul Basento a Potenza.....	p. 225
4.3.3 Il Viadotto sull'Appia Antica a Roma.....	p. 245
4.3.4 La semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio.....	p. 255

CONSERVARE IL CONTEMPORANEO: RIFLESSIONI GENERALI E SUI CASI DI STUDIO.....	p. 273
--	---------------

APPARATI.....	p. 281
----------------------	---------------

Regesto biografico.....	p. 283
-------------------------	--------

Tabelle attività professionale.....	p. 293
-------------------------------------	--------

Glossario sul degrado del calcestruzzo armato.....	p. 307
--	--------

Riferimenti bibliografici.....	p. 313
--------------------------------	--------

Fonti archivistiche.....	p. 345
--------------------------	--------

PRESENTAZIONE DELLA RICERCA

La ricerca, dopo un *excursus* sulla sperimentazione del materiale cemento armato in Europa, approfondisce la figura e l'attività professionale di Sergio Musmeci, ingegnere romano che ha dato un 'particolare' contributo nella storia del calcestruzzo armato in Italia e che, con le innovative ricerche sulla 'forma ideale', rappresenta uno dei protagonisti del XX secolo nell'ambito dell'ingegneria strutturale.

Lo studio mette in luce la personalità, la sua ampia cultura e le idee di un progettista 'unico' e raffinato oggi ancora poco conosciuto. Solo di recente, infatti, alcuni studiosi hanno iniziato ad esplorare il suo archivio, quasi del tutto inedito, ma degno di essere conosciuto e valorizzato al pari di quello di altri più noti protagonisti del Novecento. Ad oggi, non è stata ancora pubblicata una monografia completa che lo riguardi. La presente ricerca, quindi, oltre ad affrontare la figura del progettista e le sue competenze nell'ambito dell'ingegneria strutturale pone particolare attenzione su un ambito, quello delle strutture sottili resistenti per forma, e su un materiale, il calcestruzzo armato, proprio attraverso la conoscenza di uno dei protagonisti del secondo Novecento.

Sergio Musmeci (Roma 1926 - Roma 1981) inizia la sua attività professionale in due studi di grande prestigio per quanto attiene all'ingegneria italiana, prima presso Riccardo Morandi e poi a fianco di Pier Luigi Nervi; egli, proprio come i suoi 'maestri', fornirà un grande apporto alla storia dell'architettura e dell'ingegneria strutturale in calcestruzzo armato, materiale che può ben rispondere alle nuove esigenze formali dell'architettura. Le prime opere progettate e realizzate in proprio risalgono ai primi anni Cinquanta del Novecento, periodo in cui egli decide di concludere la collaborazione con la Nervi & Bartoli; quindi, appena ventottenne, comincia un proprio autonomo percorso professionale, interrotto bruscamente a causa della sua prematura scomparsa.

La conoscenza di un protagonista a noi poco distante temporalmente e la riscoperta delle sue personalissime ricerche, nonché l'analisi di alcune sue opere, hanno costituito l'occasione per riflettere, anche se solo parzialmente, sulla questione della conservazione dell'architettura contemporanea in calcestruzzo armato, questione viva nel dibattito contemporaneo. L'ultimo capitolo tratta, infatti, della durabilità delle opere di Musmeci attraverso l'analisi del degrado e degli interventi di restauro, o manutenzione, che si sono succeduti negli anni su alcuni casi di studio. In particolare, vengono presi in esame: la chiesa di S. Alberto a Sarteano, il ponte sul Basento a Potenza, il viadotto sull'Appia Antica

a Roma e la semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio a Roma.

La ricerca inizia con un inquadramento storico che parte dalla seconda metà del XIX secolo, periodo in cui il calcestruzzo armato entra nel mondo delle costruzioni con forza tale da condizionare la produzione edilizia di tutto il secolo successivo. È questo un periodo di clima contrastante, di piena fiducia da un lato, dovuta a diversi personaggi che diffondono i loro brevetti e le loro realizzazioni su scala internazionale, e di forti dubbi e perplessità dall'altro, alimentati dall'incertezza del calcolo e dal manifestarsi dei primi fenomeni di degrado del materiale.

Tale quadro storico viene arricchito dalle vicende, tutte italiane, che riguardano lo sviluppo delle tecniche costruttive nel campo dell'architettura e dell'ingegneria strutturale nel secondo Novecento dovuto a personaggi che danno un forte contributo in ambito scientifico, didattico e progettuale. In Italia, tuttavia, una vera e propria rivoluzione costruttiva tarda a delinearsi rispetto agli altri paesi europei; ritardo determinato principalmente da una formazione didattica e un'impostazione professionale caratterizzata dalla separazione tra competenze artistiche e scientifiche che portano alla formazione di due distinte figure quella dell'architetto e quella dell'ingegnere. È solo dopo gli anni Quaranta del Novecento, periodo in cui viene imposto in Italia il regime autarchico, che i limiti ingiunti all'uso del cemento armato spingeranno i progettisti a sperimentare questa nuova tecnica fino a giungere a risultati innovativi, tra i quali deve essere annoverata la 'questione' delle strutture sottili.

Il primo capitolo costituisce, dunque, una sorta di premessa storica utile a comprendere come si sia formata nella cultura progettuale novecentesca, in Italia e nel resto d'Europa, l'esigenza di sfruttare le caratteristiche del nuovo materiale, il calcestruzzo armato, in forme 'aggiornate' e alternative a quelle 'tradizionali'; tale premessa storica permette, inoltre, di inquadrare la figura di Sergio Musmeci nel suo metodo di studio e di ricerca. A conclusione del capitolo viene trattata, infatti, l'evoluzione delle strutture resistenti per forma che si sono diffuse dopo la scoperta delle enormi potenzialità del cemento armato; vengono descritti, e messi a confronto tra loro e con alcune opere di Musmeci, alcuni esempi realizzati in Europa da personaggi come Franz Dischinger, Robert Maillart, Eugene Freyssinet, Pier Luigi Nervi, Felix Candela, Eduardo Torroja, Heinz Isler.

Nel secondo capitolo viene analizzata la personalità dell'ingegnere romano con particolare attenzione al ruolo che egli ha avuto nella sperimentazione del calcestruzzo

armato attraverso la definizione di forme sempre ‘nuove’ e ‘moderne’. Il suo profilo viene tracciato ripercorrendone la biografia e la formazione professionale, evidenziando l’influenza che hanno avuto su di lui i suoi ‘maestri’ al fine di comprendere quanto abbiano inciso sulla sua progettualità e sulla formulazione delle sue teorie, esaminando le sue ricerche teoriche e indagando i rapporti professionali con alcuni dei principali architetti dell’epoca. Si è potuto, così, ricostruire il suo percorso professionale, sin dai primi anni quando ancora tirocinante collabora con gli studi di Morandi e Nervi, fino agli anni in cui professionista stimato si relaziona con gli architetti più in vista quali: Annibale Vitellozzi, Giuseppe Vaccaro, Adalberto Libera, Carlo Mollino e altri.

Viene, inoltre, analizzata la sua intera attività professionale. Per semplicità di esposizione la sua produzione progettuale è stata articolata in cinque categorie: volte corrugate, reti di travi, sistemi equitensionali, membrane a compressione uniforme e strutture reticolari spaziali; sistemi costruttivi che rispecchiano gli ambiti di ricerca, architettonici e strutturali, che lo hanno portato a distinguersi all’interno della cultura architettonica del suo tempo. Tutti i progetti, realizzati e non, pur diversificandosi apparentemente negli schemi statici, hanno in comune una particolare scelta di fondo: riprodurre delle ‘forme’ partendo da scelte fatte sulle forze e sulle tensioni.

Le fase di ricerca è stata principalmente portata avanti consultando l’archivio della famiglia Musmeci, *Fondo Sergio Musmeci e Zenaide Zanini*, donato nel 2003 dagli eredi alle collezioni del “MAXXI Architettura”, con materiale, ad oggi, per gran parte inedito. Il materiale archivistico è costituito da cinque serie contenenti più di tremila elaborati grafici, più di duemila fotografie e numerosi fascicoli di documenti; in particolare, la serie numero quattro, denominata “Materiali per una biografia professionale”, conserva lunghe e integrali interviste rilasciate dall’ingegnere a Carlo La Torre, il 7 ottobre 1980, e a Manfredi Nicoletti, l’11 novembre 1980, qualche mese prima della scomparsa. È, altresì, custodito un testo dattiloscritto negli ultimi anni della sua vita in cui Musmeci seleziona alcune opere, realizzate e non, appartenenti all’intera attività professionale. Tali documenti d’archivio, uniti alla consultazione delle riviste d’epoca, hanno costituito la base per la stesura dei capitoli centrali della tesi.

Tra le principali teorie di Musmeci si ricorda quella del ‘minimo strutturale’, la ricerca di forme minimali e ottimali ovvero forme che utilizzano la minor quantità di materia possibile ma che allo stesso tempo permettono alla struttura di fornire il massimo delle prestazioni. È proprio su queste tematiche che Musmeci baserà la sua carriera lavorativa

durata ininterrottamente per trent'anni fino alla sua morte prematura, all'età di cinquantaquattro anni, a causa di un male incurabile. Egli, con le sue ricerche e sperimentazioni, intendeva avviare una nuova progettazione attraverso la creazione di una vera e propria 'filosofia della progettazione strutturale' che portasse alla definizione di forme veramente 'moderne' per le quali non esistono ancora denominazioni. Tale visione si differenzia nettamente da quella dei progettisti del suo tempo che tendono a realizzare soluzioni strutturali 'semplici' e 'consuete' e per i quali la 'forma' costituisce il dato intuitivo di partenza. Tuttavia proprio a causa della sua prematura scomparsa non sono molte le opere effettivamente realizzate che incarnano tali principi; tra queste vi è il noto ponte sul Basento a Potenza la cui configurazione formale rispecchia questa sua innovativa visione dell'architettura.

Vista l'impossibilità di trattare approfonditamente tutte le opere realizzate da Musmeci, sono stati selezionati alcuni casi di studio che hanno permesso di approfondire, attraverso la loro analisi, la particolare progettualità dell'ingegnere.

Il terzo capitolo è stato suddiviso in tre parti a seconda della tipologia di opere analizzata: *Realizzazioni di nuova concezione: gli edifici religiosi*, in cui viene presa in esame la chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), *Grandi strutture: i ponti*, con riferimento al ponte sul fiume Basento a Potenza (1967-1975) e al viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980), e *Interventi sulle preesistenze*, in cui viene descritto l'intervento per la realizzazione di una semicalotta di copertura per l'abside costantiniana della Basilica di Massenzio (1961-1962). I casi di studio selezionati vengono descritti dalla fase di ideazione a quella di realizzazione.

Tali casi di studio vengono ripresi nel quarto capitolo al fine di riflettere, attraverso la loro analisi, su alcune tematiche più propriamente inerenti il restauro, vale a dire la conservazione dell'architettura moderna e contemporanea in calcestruzzo armato, nonché la questione della durabilità di tali strutture.

Nella prima parte del capitolo si è riflettuto, più in generale, sulle problematiche inerenti la conservazione del patrimonio del Novecento in calcestruzzo armato e sul fatto che la vicinanza temporale di tali architetture abbia ritardato un'attenzione condivisa alle problematiche conservative. Era tuttavia latente la consapevolezza dei valori storici, architettonici e culturali del patrimonio architettonico 'recente' e, negli anni, si è arrivati ad una maggiore sensibilità nei confronti di tale patrimonio considerandolo degno di tutela in quanto testimonianza tangibile di un particolare momento storico ricco di scoperte e sperimentazioni su nuovi materiali.

Segue, poi, l'approfondimento della tematica sulla durabilità del calcestruzzo. È in queste pagine che si affronta la questione della 'durata' del materiale nel tempo, che si espongono le qualità del calcestruzzo e le cause di degrado, che si individua il momento in cui la durabilità è inserita, per la prima volta, nella normativa nazionale e che si illustrano alcune delle opere di ingegneria strutturale del secondo Novecento caratterizzate proprio da problemi di durabilità. In particolare, si fa riferimento alle pubblicazioni di Carolina Di Biase per esporre brevemente le vicende che, a partire dalla metà dell'Ottocento, hanno portato negli anni Sessanta del Novecento ad avere maggiore consapevolezza sulla vulnerabilità del materiale. Ci si riferisce, invece, agli articoli di Mario Collepardi, degli anni Novanta, per affrontare, in ambito scientifico, la questione della durabilità. Con gli anni si inizia a capire che il calcestruzzo armato non è poi così 'duraturo' come si credeva; esso è soggetto ad un invecchiamento rapido, causato principalmente dall'esposizione agli agenti atmosferici ma anche dalle modalità di esecuzione del getto o da errori di progettazione.

I casi di studio introdotti nel terzo capitolo vengono, quindi, ulteriormente esaminati dal punto di vista conservativo analizzando lo stato di alterazione e degrado delle opere di Musmeci nonché gli interventi di restauro e manutenzione che hanno interessato tali strutture. Viene messo in relazione il loro stato di conservazione nel tempo, grazie ad ulteriori ricerche d'archivio e a colloqui con architetti e ingegneri che sono intervenuti nel restauro o nella manutenzione delle suddette opere, con il loro attuale stato di fatto, tramite sopralluoghi. Nel caso della chiesa di S. Alberto a Sarteano è risultato fondamentale il colloquio con l'architetto Fabrizio Bardelli, mentre nel caso della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio è risultata importante la consultazione degli archivi negli uffici della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma, nonché il colloquio con l'architetto Giuseppe Morganti, l'ingegnere Mario Bellini e l'architetto Antonio Giovannoni. Per il ponte sul Basento a Potenza, invece, non è stato possibile reperire una specifica documentazione relativa agli interventi di manutenzione; alcuni articoli di giornale ed un sopralluogo hanno permesso tuttavia di intuire parte della storia conservativa dell'opera.

A corredo di queste ricerche è stata redatta una serie di schede per l'analisi del degrado dei casi di studio, in cui vengono individuate alterazioni, patologie e fenomeni di degrado con le probabili cause. A questo proposito sono stati utilizzati due documenti in lingua inglese che si riferiscono direttamente al conglomerato cementizio: *Guide for making a condition survey of concrete in service* dell'American Concrete Institute (1992, riapprovato nel

1997) e *Diagnosis of deterioration in concrete structures* della Concrete Society (2000). Per il glossario in lingua italiana, invece, si fa riferimento al lessico UNI 11182:2006 (Beni Culturali-Normal) relativo, però, ai materiali lapidei naturali e artificiali dell'edilizia tradizionale.

A conclusione della dissertazione vi sono alcune riflessioni di carattere generale e altre più specifiche relative ai casi di studio. Si è voluto riflettere sulla durabilità di alcune strutture di Musmeci, approfondendo lo stato di conservazione delle opere grazie alla raccolta di informazioni e fotografie riguardanti gli interventi effettuati sulle stesse e grazie ad alcuni sopralluoghi. Con tale approfondimento si è tentato di comprendere se le strutture progettate da Musmeci si sono conservate fino ad oggi grazie alle scelte fatte dal progettista o anche grazie agli interventi di manutenzione effettuati negli anni; si è riflettuto, inoltre, sulla tipologia di interventi che hanno interessato tali opere nel corso del tempo.

Gli apparati, a chiusura della tesi, comprendono regesto biografico, tabelle sull'attività professionale e riferimenti bibliografici comprensivi di un elenco aggiornato delle pubblicazioni su Sergio Musmeci.

- Capitolo Primo -

**LE STRUTTURE RESISTENTI PER FORMA NEL XX SECOLO IN
ITALIA E NON SOLO ...**

1 PREMESSA

“La bellezza delle costruzioni si fonda essenzialmente sulla verità, sulla razionalità della struttura”

E. Torroja¹

Il primo capitolo costituisce una sorta di premessa storica utile a comprendere il periodo nel quale si è formata nella mente dei progettisti del Novecento l'idea di sfruttare le possibilità formali del nuovo materiale, il calcestruzzo armato, che diventerà vero e proprio mezzo di espressione architettonica.

All'inizio del capitolo si ripercorrono brevemente le vicende legate alla diffusione del c.a. dalle fasi pionieristiche, con le numerose sperimentazioni e i brevetti, fino alle nuove possibilità offerte dal materiale, durante la prima metà del Novecento, per un 'rinnovamento' dell'architettura. Contestualmente vengono esposte le prime perplessità sulle reali caratteristiche di questo nuovo materiale che viene considerato da molti 'durevole' ma che inizia a manifestare fin da subito i primi fenomeni di degrado e di conseguenza la sua intrinseca debolezza e fragilità.

Nella seconda parte del capitolo si fa riferimento allo sviluppo avvenuto in Italia, nel secondo Novecento, nel campo dell'ingegneria strutturale, in cui emergono alcuni significativi personaggi che danno un forte contributo al progresso della nuova tecnica in ambito scientifico, didattico e progettuale. Si tratta di un periodo ricco di ricerche in campo architettonico e strutturale che porteranno anche in Italia, come già avvenuto in alcuni paesi d'Europa, a realizzazioni innovative anche sul tema delle sezioni sottili.

Nell'ultima parte del capitolo viene affrontata la tematica riguardante il rapporto forma-struttura e l'ottimizzazione strutturale prendendo come esempio le opere di alcuni protagonisti del Novecento che hanno plasmato il calcestruzzo armato realizzando strutture resistenti per forma negli anni immediatamente precedenti o contemporanei all'attività di Sergio Musmeci; tali opere vengono messe a confronto tra loro e con alcune opere di Musmeci.

¹ E. DE MEDIO 1962, p. 401.

1.1 IL CALCESTRUZZO ARMATO, UN NUOVO MATERIALE: DALLA SPERIMENTAZIONE ALLA DIFFUSIONE

“Il calcestruzzo, il ferro, hanno trasformato totalmente l'organizzazione della costruzione fino a oggi conosciuta, ... una vera liberazione dalle costrizioni subite finora. C'è stata rivoluzione nei modi di costruire”

Le Corbusier²

Il calcestruzzo armato ha avuto vasta diffusione in Italia soprattutto durante la prima metà del Novecento; numerose sono state le applicazioni di questo nuovo materiale e numerosi sono stati gli ingegneri italiani che, sia dal punto di vista teorico che pratico, hanno contribuito alla sperimentazione e alla sua diffusione.

La nascita di questa tecnica è però precedente; risale, infatti, alla seconda metà dell'Ottocento ed ha origine principalmente in alcuni paesi d'Europa, tra cui Francia e Germania, e quasi contemporaneamente negli USA. Il nuovo composto nasce dalla “combinazione di due prodotti industriali singolarmente già molto diffusi, il cemento ed il profilato di ferro, che rispondeva al nome di *béton armato*”³. All'epoca vi era consapevolezza delle enormi potenzialità del conglomerato cementizio armato ma, questo nuovo materiale, possedeva delle qualità ancora sconosciute.

Il primo brevetto, del 1867, appartiene, come ben noto, al giardiniere francese Joseph Monier che, già dal 1849, realizza una serie di vasi da giardino costituiti da uno scheletro di reti metalliche ‘spalmate’ con un impasto di cemento e sabbia; le prime applicazioni avvengono dopo pochi anni. Questo sistema era però più vicino ad un ‘ferro cementato’ che al calcestruzzo armato; infatti, il conglomerato cementizio utilizzato in questo modo veniva usato solamente come protezione contro l'ossidazione del ferro, non avendo alcun vantaggio statico⁴. Questa combinazione di materiali, cemento e ferro, viene ripresa e approfondita da Pier Luigi Nervi negli anni Quaranta del Novecento, durante il regime autarchico in Italia. L'ingegnere elabora una soluzione per poter utilizzare una minima quantità di armatura di ferro dato che le sanzioni imposte dalle Nazioni Unite limitano l'importazione del metallo in Italia. Nervi, così, inventa e brevetta nel 1943 il cosiddetto

² LE CORBUSIER 2006, pp. 239-240.

³ T. IORI 2001, p. 11.

⁴ *Ibidem*, p. 15.

‘ferrocemento’ invertendo, dunque, le consuete proporzioni dei due componenti, secondo il ben conosciuto ‘Sistema Hennebique’, di qualche anno successivo al ‘Brevetto Monier’. Nervi “prepara un pacchetto di reti di acciaio disposte l’una sull’altra e lo ricopre di conglomerato, spalmando con la cazzuola da un lato fino a che l’impasto non satura il feltro e fuoriesce dall’altro lato, dove viene liscio. La soletta che ottiene, di spessore molto sottile, in genere appena tre centimetri, è resistentissima, elastica, flessibile e costa molto poco. ... Inoltre, Nervi dimostra che a parità di luce il suo materiale, grazie proprio allo spessore ridotto, impiega molto meno acciaio del cemento armato ordinario”⁵. Il ‘ferrocementato’ di Monier, quindi, precorre in un certo senso il ‘ferrocemento’ di Nervi.

Qualche anno dopo l’uscita del ‘Brevetto Monier’ appare sulla scena lo statunitense Thaddeus Hyatt con nuovi studi sul materiale appena scoperto; egli esalta, nei suoi opuscoli, le capacità del cemento armato di resistere al fuoco e scopre che i coefficienti di dilatazione termica del ferro e del calcestruzzo sono identici. In Germania, nel 1887, Matthias Koenen, funzionario di un’amministrazione pubblica, grazie a prove sperimentali di laboratorio (prove di carico, di aderenza fra cemento e ferro, di durabilità del ferro nel cemento) riesce a migliorare il ‘Sistema Monier’ suggerendo qualche variante al suo inventore riportata da Wayss nella *Monier-Brochure*⁶. La tecnica costruttiva si arricchisce, inoltre, di un ulteriore elemento, la cassaforma, che diviene presto uno degli elementi essenziali per la realizzazione delle strutture in c.a., permettendo di plasmare il conglomerato cementizio in qualsiasi forma si voglia ottenere. Koenen affronta, per la prima volta, il problema del calcolo della resistenza e del dimensionamento di una soletta realizzata con il nuovo materiale. Egli fa alcune ipotesi per risolvere il problema di applicazione dei principi di Hooke, Navier e Saint-Venant, approfondendo la teoria dell’elasticità già ampiamente studiata nell’Ottocento per il ferro, materiale con caratteristiche isotrope ed omogenee e caratterizzato da un comportamento elastico lineare, ad un materiale non omogeneo, anisotropo ed elastico⁷. È grazie a questi contributi che si arriverà al calcestruzzo armato vero e proprio.

In Italia il ‘Brevetto Monier’ viene depositato nel 1883 con tutte le applicazioni e le varianti succedutesi nel corso degli anni precedenti. In realtà, il calcestruzzo, all’epoca, è già conosciuto e prodotto in Italia grazie soprattutto alla presenza di numerosi giacimenti

⁵ T. IORI 2009, p. 24.

⁶ Matthias Koenen, nei suoi scritti, consiglia di spostare l’armatura dall’asse medio al bordo teso della soletta; T. IORI 2001, p. 17.

⁷ *Ibidem*, p. 19.

marnosi. I primi studi sui leganti idraulici risalgono, infatti, agli anni Quaranta dell'Ottocento, a Casale Monferrato in Piemonte, una zona "ricca di calcare che, impuro in argilla, si dimostra capace di offrire una calce particolarmente "forte", preparata in zolle"⁸. La prima produzione industriale, del 1858, viene impostata dalla Società delle Ferrovie per l'Alta Italia presso Palazzolo in Lombardia. Alcuni anni dopo gli impianti vengono trasferiti alla Società Bergamasca che diventa, nel 1872, Società Generale dei Cementi e Calci Idrauliche estendendosi anche in Piemonte, Veneto e Italia Centrale⁹. Tra i primi brevetti sul calcestruzzo depositati in Italia vi è quello sul 'Beton Coignet' del 1856.

Dalla seconda metà dell'Ottocento, le riviste italiane specializzate descrivono con enfasi l'avvento del nuovo 'Sistema Monier', anche se solo con brevi accenni. Le prime notizie sull'unione tra malta di cemento e ferro risalgono, infatti, solo al 1885 grazie ad un sintetico articolo, *Adesione straordinaria ed azione preservatrice della malta di cemento sul ferro*¹⁰, pubblicato nella rivista "L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali", in cui vengono esaltate le qualità della malta di cemento unita al ferro. Per sentir parlare del 'Sistema Monier' è necessario attendere fino al 1887; in quell'anno viene pubblicato, sulla "Rivista di Artiglieria e Genio", un breve resoconto dal titolo *Costruzioni di cemento e ferro (Sistema Monier)*¹¹. Qualche anno dopo, sempre nel medesimo periodico, lo stesso sistema verrà indagato con maggiore approfondimento. L'idea di Joseph Monier nasce da alcune considerazioni sulla resistenza a trazione del cemento, pari ad un 1/20 di quella a compressione; lo studioso infatti aveva osservato che, se si collocano spranghe di ferro nel piano contenente la linea d'azione della risultante delle tensioni, le capacità di resistenza di entrambi i materiali sono razionalmente utilizzate in modo tale da ridurre notevolmente la sezione dell'elemento portante. In entrambe le riviste vengono riportate osservazioni ed obiezioni a tale nuovo sistema; i dubbi espressi riguardano essenzialmente il problema dell'ossidazione del ferro dovuta al contatto con il cemento umido, l'adesione tra ferro e cemento ed infine la diversità dei coefficienti di dilatazione dei due materiali. Tutte queste contestazioni vengono però immediatamente smentite dalle numerose esperienze ricche di risultati pratici tanto che le costruzioni in ferro e cemento da allora possono essere considerate come costituite da un unico materiale¹². Altri brevissimi articoli vengono presentati dalla rivista

⁸ 150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese 2011.

⁹ T. IORI 2001, p. 22.

¹⁰ *Adesione straordinaria ed azione preservatrice della malta di cemento sul ferro* 1885, pp. 157-158.

¹¹ *Costruzioni di cemento e ferro (sistema Monier)* 1887, pp. 321-325.

¹² *Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier* 1890, pp. 75-104.

“L’Edilizia Moderna”, nel 1893¹³. Si tratta di pochi approfondimenti che rendono evidente come il ‘Sistema Monier’, brevettato nel 1867 in Francia e depositato in Italia solo nel 1883, abbia avuto poca diffusione nei periodici italiani dell’epoca. In tutti gli articoli viene messo in evidenza come il ‘Sistema Monier’ sia ancora scarsamente diffuso in Italia.

Alla fine dell’Ottocento il francese Paul Cottancin brevetta il suo sistema articolato in un’armatura di tondini in ferro intrecciati tra loro, a formare una maglia molto fitta, immersa nel calcestruzzo. Queste strutture, applicate ai solai, venivano vincolate a travi di cemento a scheletro metallico (*épines contreforts*) come delle travi reticolari in cui i puntoni erano sostituiti dalla massa di calcestruzzo¹⁴.

L’architetto Anatole de Baudot, allievo di Henri Labrouste e di Viollet-le-Duc, realizza, tra il 1894 e il 1904, la chiesa di Saint-Jean-Baptiste di Montmartre a Parigi, primo edificio di culto caratterizzato dal cemento armato. Il sistema utilizzato è quello brevettato da Cottancin costituito da piastre nervate e gusci sottili (*voute minces*) che sembrano in qualche modo precorrere le ricerche di Eugene Freyssinet e di Pier Luigi Nervi. L’architetto appare “profondamente convinto dell’innovazione tecnica, già sperimentata nel restauro di monumenti medievali, e nella costruzione del suo palazzo privato, di alcuni edifici per abitazioni popolari e di un liceo”¹⁵. Opera che però, all’epoca, venne definita come “la follia del secolo”¹⁶; non sono infatti mancati dubbi e perplessità sull’apparente precarietà della struttura tanto che la chiesa ha rischiato di essere demolita quando era ancora in fase di costruzione. Tuttavia, se ne riconosce l’audacia¹⁷ e, contestualmente, s’inizia a considerare positivamente le possibilità del nuovo materiale.

Negli anni Novanta dell’Ottocento entra in scena il francese Francois Hennebique che, con il suo brevetto del 1892, inizia ad estendere la nuova tecnica anche agli elementi costruttivi lineari, travi e pilastri, ponendo così le basi per la struttura intelaiata in cemento armato. Già dal 1867 Hennebique fonda un’impresa specializzata in opere di restauro nelle chiese gotiche del Nord della Francia. “La letteratura critica avanza l’ipotesi che l’attenta osservazione del sistema costruttivo archiacuto avrebbe fatto sorgere in lui l’idea che porterà, dopo quindici anni di studi ed esperimenti effettuati in gran segreto, al brevetto del

¹³ *Le costruzioni del sistema Monier* 1893a, p. 48; *Le costruzioni del sistema Monier* 1893b, p. 56; A. F. JORINI 1893, p. 40.

¹⁴ T. IORI 2001, pp. 20-22.

¹⁵ C. DI BIASE 2009, p. 25.

¹⁶ *Ibidem*.

¹⁷ S. GIEDION 2008, pp. 315-316.

1892”¹⁸ per la prima trave moderna in conglomerato cementizio armato con staffe e ferri piegati, ovvero il ‘Sistema Hennebique’¹⁹. Il brevetto viene importato in Italia solo una decina di giorni dopo. Per la prima volta si considera anche la sollecitazione di taglio che era stata fino ad allora trascurata²⁰. Nel 1897 viene lanciato il brevetto completo con alcuni perfezionamenti alla trave, in corrispondenza degli incastri, proprio come aveva suggerito Koenen dieci anni prima. Le straordinarie possibilità del *béton armé* e del suo “impiego in forme e funzioni diverse, dagli oggetti d’uso alle costruzioni di grandi dimensioni e arditezza, sono state ampiamente illustrate in una fiorente manualistica internazionale, strettamente connessa alle riviste tecniche nate tra fine Ottocento e inizio Novecento, e alle stesse pubblicazioni promozionali di brevetti, progetti e realizzazioni divulgati dagli inventori, produttori e costruttori. Hennebique portava nei Paesi d’Europa, nelle Americhe, in Africa e in tanti Paesi del mondo le sue strutture in calcestruzzo armato, fotografate nella loro essenziale bellezza e divulgate dal *Journal* dell’Impresa, «Le Béton armé»”²¹. Hennebique realizza, verso la fine dell’Ottocento, la sua villa a Bourg-la-Reine che utilizza come manifestazione di propaganda per l’impiego della nuova tecnica²². Dal 1890 con Hennebique il calcestruzzo armato inizia ad essere utilizzato su larga scala; egli, infatti, “conosceva le distinte caratteristiche del ferro e del calcestruzzo compresso, sapeva come proporzionare l’uno all’altro, e come disporre le barre di ferro di rinforzo - in breve, tutte le leggi più importanti. Ma, oltre a questo, egli era un ottimo impresario, ed aveva costruito in ogni parte d’Europa”²³.

Alla fine dell’Ottocento gli agenti italiani erano gli ingegneri: Giovanni Narici a Napoli, Giovanni Antonio Porcheddu a Torino, Attilio Muggia a Bologna e Italo Chiera a Roma. Nei primi anni del Novecento è la torinese ditta Porcheddu ad essere una delle maggiori imprese specializzate nelle strutture in c.a. in Italia; dal 1896 è infatti concessionaria per l’Alta Italia (Piemonte, Liguria, Lombardia e Veneto). Per esemplificare si cita il ponte sulla Bormida a Millesimo, uno dei primi ponti in cemento armato faccia vista, realizzato nel 1902 con il ‘Brevetto Hennebique’, ed il Teatro Sociale di Rovigo che, dopo un incendio, viene ricostruito nel 1904 su progetto di Daniele Donghi; il teatro, con la sua struttura nuda

¹⁸ M. B. BETTAZZI 2006, p. 559.

¹⁹ R. NELVA, B. SIGNORELLI 1990, p. 14.

²⁰ T. IORI 2001, p. 26.

²¹ C. DI BIASE 2013, p. 204.

²² S. GIEDION 2008, p. 314.

²³ Hennebique era soprattutto un grande imprenditore tanto che le ditte a lui concessionarie riuscivano ad esporre il sistema su scala internazionale conquistando così il mercato; *ibidem*.

in c.a. e lo slogan “*pas d’incendies desastreux!*”²⁴, diviene presto un’ottima pubblicità per il brevetto. Degli stessi anni è anche il padiglione della ditta Ansaldo, sempre di Donghi, in cui si inizia a leggere l’integrazione tra la struttura statica in cemento armato ed il suo linguaggio formale²⁵. Anche il ben noto ponte Risorgimento a Roma, del 1911, viene realizzato dalla ditta Porcheddu e, con la sua luce di oltre 100 m, per circa un decennio sarà il ponte in cemento armato più lungo del mondo. L’imprenditore e ingegnere piemontese di origine sarda, Porcheddu, assume l’impegno di costruire l’opera in meno di sedici mesi, in tempo per l’Esposizione Internazionale²⁶. Il ponte, realizzato secondo il ‘Brevetto Hennebique’, è costituito da una sola ardita campata di luce, per gli standard dell’epoca, tanto che molti degli studiosi dell’epoca erano scettici sulla sua ‘durata’ nel tempo.

A tale proposito, Nervi ricorda alcuni aneddoti ascoltati durante le lezioni del professor Silvio Canevazzi in cui il docente leggeva in aula, con ironia, le lettere di alcuni ingegneri tedeschi preoccupati di un imminente crollo del ponte sulla base dei loro calcoli teorici²⁷: “Ricordo che nel 1913 il professor Canevazzi, insegnante di scienza delle costruzioni alla scuola di applicazione per ingegneri di Bologna, uomo di chiarissima intelligenza e uno dei pochi teorici capaci di valutare i limiti e il significato profondo delle proprie teorie, parlava a noi studenti delle lettere ricevute da professori e teorici germanici i quali, allarmatissimi, dimostravano che il Ponte del Risorgimento di Roma, già costruito e in piena e vitale efficienza, avrebbe dovuto essere già crollato o al massimo in immediato pericolo di farlo. ... A nessuno di questi studiosi si era affacciato, di fronte alla certezza del fatto contrario, il dubbio di una possibile inesattezza della previsione teorica”²⁸.

Il ponte Risorgimento può essere considerato come “una delle più interessanti costruzioni in calcestruzzo armato nella storia della *Tecnica delle Costruzioni*, per le geniali intuizioni strutturali che ne caratterizzano le scelte progettuali, per le dimensioni da primato, che per molti anni fa detenere il *record* di lunghezza per i ponti in c.a., per le soluzioni tecniche *innovative* messe a punto per superare le numerose difficoltà incontrate durante l’esecuzione, tra cui anche le piene del Tevere e le caratteristiche scadenti del terreno”²⁹.

²⁴ “mai più incendi!”.

²⁵ R. NELVA, B. SIGNORELLI 1977, p. 28.

²⁶ E. DOLARA 2011, p. 24; <<https://www.ording.roma.it/notiziario/notiziario486.pdf>>, marzo/2015.

²⁷ M. ANTONUCCI 2010, p. 6.

²⁸ P. L. NERVI 1955, p. 7.

²⁹ E. DOLARA 2011, p. 26; <<https://www.ording.roma.it/notiziario/notiziario486.pdf>>, marzo/2015.

In questi anni di esordio del nuovo materiale si assiste, specialmente da parte di Hennebique, alla costruzione di migliaia di opere; basta pensare che nel 1906 l'imprenditore francese ha già eseguito, con il suo 'Sistema Hennebique', oltre seimila opere³⁰. Tutto ciò si rese possibile grazie al fatto che non vi era ancora una normativa che ne limitasse l'utilizzo.

Nei primi anni del Novecento il cemento armato è oramai ben diffuso. In questi anni, infatti, le riviste specializzate si moltiplicano; tra queste, nel 1904, la rivista "Il Cemento", primo periodico italiano specializzato nella nuova tecnica costruttiva. Non mancano però dubbi sul suo reale comportamento statico da parte sia delle amministrazioni pubbliche sia del mondo accademico. In questa fase l'insegnamento della nuova tecnica entra a far parte della formazione professionale dell'ingegnere; contestualmente tecnici, specialisti e docenti lamentano l'urgenza di una specifica normativa nazionale che ne regolamenti l'utilizzo, necessità sinteticamente espressa dalle parole che seguono: "l'incertezza del calcolo, ma soprattutto l'imprudenza di imprenditori poco esperti e senza scrupoli che, con l'obiettivo di liberarsi dei costi delle privative, modificano la disposizione e la quantità delle armature e speculano sul confezionamento del calcestruzzo, spingono i responsabili della sicurezza pubblica a misure cautelative. I numerosi crolli di manufatti di cemento armato in costruzione contribuiscono non poco al rafforzarsi della convinzione della necessità di un regolamento"³¹.

Già fin dall'Ottocento vi erano non pochi dubbi e perplessità sulle reali caratteristiche del nuovo materiale, in particolare sull'impermeabilità del conglomerato cementizio che nella combinazione instaura un complesso rapporto con l'acqua di impasto e il suo dosaggio³²; quest'ultimo materiale, infatti, determina grande umidità sia durante la fase della presa sia dopo l'indurimento, oltre a provocare il fenomeno di gelività quando nei cicli di gelo e disgelo si trasforma in ghiaccio, oppure a causa dell'acqua piovana percolante e dell'acqua di risalita per capillarità. Viene messa in discussione anche la sua economicità; l'architetto Émile Lavezzari ritiene, infatti, che le costruzioni in mattoni sono migliori rispetto al calcestruzzo che si fessura facilmente e risulta poroso e permeabile³³: "monolitico, resistente, di rapido utilizzo, economico, meno alterabile e attaccabile del ferro, impermeabile e a prova di fuoco, virtualmente eterno, il *reinforced concrete* si mostra in

³⁰ *Ibidem*, p. 23.

³¹ *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011.

³² C. DI BIASE 2009, pp. 23-24.

³³ *Ibidem*, p. 24.

particolari condizioni d'uso e di ambiente fragile e poco duraturo"³⁴. Si inizia a scoprire, quindi, che il calcestruzzo armato non è poi così 'duraturo' come si pensava e che molte delle qualità ad esso attribuite in realtà sono solo in parte vere. Fra i primi a studiare e individuare correttamente il comportamento del materiale nel tempo e nelle varie condizioni ambientali troviamo i chimici, che cercano di rendere ottimale il suo impiego. Già nel 1890, osservandone il comportamento con l'acqua di mare, Candlot scopre l'ettringite, definito *Sal de Candlot* o 'bacillo del cemento', per i suoi cristalli aghiformi che danno luogo a rigonfiamenti che compromettono l'integrità delle malte e dei calcestruzzi di cemento³⁵.

Paul Christophe, ingegnere *des Ponts et Chaussées*, in una pubblicazione del 1898 esprime la necessità di conoscere a fondo non solo le caratteristiche di questo materiale ma anche l'intero processo progettuale ed esecutivo; infatti, secondo l'ingegnere francese, il problema della nuova tecnologia è quello di essere poco o male conosciuta³⁶. Egli, nel quinto capitolo del volume *Le béton armé et ses applications*³⁷, spiega le numerose problematiche riscontrate nell'applicazione di questa tecnologia e suggerisce alcuni accorgimenti utili a migliorarne le proprietà: il conglomerato non deve contenere alcun principio acido che possa causare la corrosione dei ferri, bisogna, altresì, evitare l'inserimento di ceneri e scorie ricche di solfuri all'interno dell'impasto in quanto ciò può compromettere la durabilità dell'armatura. Christophe analizza, inoltre, l'influenza della temperatura e delle condizioni igrometriche durante la presa, aspetti questi che possono determinare la fessurazione del conglomerato cementizio³⁸.

In questa fase inizia anche la pubblicazione dei primi manuali di calcolo per la formazione dell'ingegnere; in Italia, alcuni corsi universitari di 'Scienza delle Costruzioni' e 'Meccanica delle Costruzioni', iniziano ad inserire nella didattica lezioni sul nuovo materiale e sulla sua tecnica costruttiva. Camillo Guidi, professore ordinario di 'Scienza delle Costruzioni' a Torino, tiene nel 1900, al di fuori dell'orario universitario, alcuni discorsi straordinari, vere e proprie conferenze sul cemento armato, aperte anche al pubblico. Egli dichiara il suo iniziale scetticismo nell'uso del materiale, trasformato nel tempo in grande fiducia, soprattutto dopo aver visitato più volte i cantieri di uno dei suoi ex allievi, proprio

³⁴ *Ibidem*, p. 28.

³⁵ *Ibidem*, pp. 25-26.

³⁶ C. DI BIASE 2008, pp. 185-186.

³⁷ P. CHRISTOPHE, *Le béton armé et ses applications*, Parigi 1902.

³⁸ C. DI BIASE 2009, p. 26.

l'impresario Porcheddu. È ancora Guidi a richiamare l'attenzione delle autorità comunali sull'opportunità di formulare un regolamento per le costruzioni in cemento armato³⁹. Guidi riafferma, dunque, le potenzialità del nuovo materiale ribadendo che “compito della scienza statica delle costruzioni, dev'essere quello di valutare spassionatamente i vantaggi e gli inconvenienti dei nuovi sistemi di costruzione”⁴⁰.

Sono ben note anche le conferenze di Canevazzi, professore ordinario di ‘Meccanica delle Costruzioni’ a Bologna, tra i primi ad introdurre tale nuova tecnologia nei programmi didattici dei corsi universitari; tra le sue pubblicazioni sull'argomento si ricorda uno scritto del 1904 dal titolo *Ferrocemento, cemento armato, smalto cementizio armato: formule di elasticità e resistenza* in cui viene introdotto per la prima volta il termine ‘ferrocemento’⁴¹ utilizzato molti anni dopo anche da Nervi per il suo brevetto.

Anche dalle parole di Giuseppe Vacchelli, nel manuale Hoepli, si percepisce una profonda fiducia sulla ‘durata’ indefinita delle strutture realizzate con la nuova tecnologia: “quanto al comportamento nel tempo «tutto porta a ritenere che l'associazione del conglomerato e dell'armatura metallica debba presentare una durata indefinita». Lo si constata «rompendo strutture in ferro-cemento di una certa età» e riscontrando come «il cemento aderisca con gran forza alle sbarre metalliche, e come le superfici di queste non solo non sieno alterate, ma rimangano perfettamente conservate»”⁴².

Non mancano, però, episodi spiacevoli come quello dei serbatoi di acqua potabile realizzati, nei primi anni del Novecento, in calcestruzzo armato e sovrapposti ai resti del torrione sud del Castello Sforzesco di Milano⁴³ che, poco dopo la messa in carico, iniziano a manifestare numerose infiltrazioni dovute a problemi di discontinuità in vari punti. Da questo e da altri episodi si evince quanto possa essere fondamentale lo studio della soluzione progettuale connessa ad un'adeguata preparazione degli ingegneri progettisti. Nelle pubblicazioni dei chimici si mettono ampiamente in evidenza, in quegli stessi anni, i numerosi disastri edilizi provocati dall'uso indiscriminato del materiale, incidenti presi come monito con lo scopo di far comprendere l'importanza della corretta selezione dei materiali di base, del loro giusto confezionamento e di una migliorata fase di stagionatura del conglomerato cementizio.

³⁹ T. IORI 2001, pp. 63-64.

⁴⁰ C. DI BIASE 2008, p. 186.

⁴¹ M. ANTONUCCI 2010, p. 4.

⁴² C. DI BIASE 2009, p. 27.

⁴³ C. DI BIASE 2008, pp. 186-187.

Le prime proposte italiane per regolamentare le costruzioni in c.a. provengono dall'amministrazione comunale di Torino, proprio grazie all'impegno di Guidi. Contestualmente Canevazzi, nel 1904, si occupa di promuovere un regolamento per le città di Ferrara e Ravenna⁴⁴. Grazie a questa iniziale regolamentazione si arriva in Italia, nel 1907, al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907⁴⁵, che mira a garantire la sicurezza delle opere pubbliche in cemento armato. Con tale provvedimento vengono stabiliti "i requisiti essenziali, cui devono soddisfare i materiali agglomeranti, calci e cementi e i cementi armati, da impiegarsi nell'esecuzione delle opere pubbliche dipendenti dal Ministero dei lavori pubblici, nonché le norme da seguire nelle prove e negli assaggi dei materiali stessi"⁴⁶. In particolare, le prescrizioni normali dell'allegato B prescrivono che ogni opera in c.a. deve essere costruita in base ad un completo progetto esecutivo redatto da un ingegnere; gli elaborati tecnici devono contenere tutte le informazioni comprese le dimensioni, le disposizioni del conglomerato e del metallo ed i relativi calcoli statici giustificativi. Nel progetto devono essere indicate con precisione le qualità e le proprietà dei materiali, i dosaggi del conglomerato, le modalità di costruzione, di disarmo o di collaudo⁴⁷.

Sempre nel 1907 anche la Germania emana un regolamento seppur molto più rigido e rigoroso; è previsto, infatti, un attento controllo delle autorità sia in fase progettuale che esecutiva di cantiere.

In Francia erano già state pubblicate, nel 1906, le *instructions*⁴⁸ in cui vengono fissati i principi fondamentali da seguire, pur lasciando ampia libertà sul metodo di calcolo adottato, proprio per non ostacolare ricerche e progressi nella sperimentazione del cemento armato⁴⁹. Nel Ponte Risorgimento a Roma (1909-1911), per ordine di Hennebique, i getti di calcestruzzo vengono eseguiti con impasto molto fluido e con dosatura normale di 300 kg a mc in contrasto con le prescrizioni regolamentari ufficiali francesi, cui fa riferimento⁵⁰. Il successo di questo ponte deriva anche dal fatto che "la stabilità dell'opera è verificata essenzialmente coi criteri di calcolo pratico dettati dall'intuito e genialità di Hennebique, i quali ... hanno l'incontestabile pregio di quella semplicità che deriva dalla chiara visione del

⁴⁴ T. IORI 2001, p. 66.

⁴⁵ D.M. 10 gennaio 1907 pubblicato sulla G.U. n. 28 del 2 febbraio 1907.

⁴⁶ *Ibidem*.

⁴⁷ Le qualità e le proprietà dei materiali devono essere, inoltre, comprovate con documenti rilasciati da laboratori ufficiali. L'esecuzione delle opere deve essere affidata a costruttori idonei che comprovino la loro preparazione con attestati e certificazioni; *ibidem*.

⁴⁸ *Instructions Ministérielles relatives à l'emploi du béton armé*, Francia 1906.

⁴⁹ T. IORI 2001, p. 70.

⁵⁰ E. DOLARA 2011, p. 27; <<https://www.ording.roma.it/notiziario/notiziario486.pdf>>, marzo/2015.

comportamento effettivo dell'opera, più che dallo sviluppo matematico desunto dalle ipotesi al tempo ancora molto incomplete ed incerte”⁵¹.

In Svizzera, nel 1903, era stato proposto un regolamento provvisorio davvero molto flessibile a livello di tensioni ammissibili, le più alte d'Europa⁵². È anche grazie a questa adattabilità di norme che l'ingegnere svizzero Robert Maillart riesce a realizzare opere che lo rendono un vero e proprio pioniere del cemento armato. Egli, con le sue invenzioni e brevetti, è sicuramente uno dei primi a superare, durante i primi anni del Novecento, la concezione con cui era utilizzato il 'Brevetto Hennebique', arrivando a risultati davvero innovativi. Maillart è un forte sostenitore dell'idea in base alla quale è meglio un progettista pratico, che basa le sue conoscenze sulle prove sui materiali e sull'esperienza di cantiere, piuttosto che una figura professionale che applichi rigidamente teorie e formule accademiche, come invece sostenevano molti altri docenti universitari. Posizione questa ribadita da Maillart nel 1909, in un contributo per la revisione della normativa svizzera sul cemento armato⁵³. L'ingegnere svizzero, nell'articolo *L'ingénieur et les autorités*⁵⁴, andando contro le *prescriptions*, ritiene che siano importanti l'esperienza e l'immaginazione del progettista che in quegli anni però, in diversi paesi d'Europa, è costretto a seguire norme restrittive e limitative. Sono disposizioni che nascono dall'intento di tutelare la sicurezza pubblica e che, per molto tempo, impediscono vere e proprie innovazioni.

Nel 1931, sempre in Svizzera, giunti ormai ad una revisione delle norme per il calcolo del c.a., Maillart si oppone vivamente al nuovo codice ritenendolo 'inaccettabile'. Nel 1934 esce, sul "Bulletin du Ciment" dell'associazione del Cemento Portland, un suo articolo in cui afferma che il codice del 1909 era 'semplice' e 'generoso' permettendo così il progresso della progettazione delle strutture in c.a., mentre quello del 1935, che sarebbe uscito a breve, era 'complesso' e 'restrittivo' e avrebbe portato all'imbalsamazione del progetto delle opere in calcestruzzo armato⁵⁵. Queste le sue parole durante una lettura, nel novembre 1937, per la Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti: "L'ingegnere deve liberarsi delle usuali forme della tradizione, nate per vecchi materiali e deve cercare la forma

⁵¹ *Ibidem*, p. 28.

⁵² T. IORI 2001, p. 70.

⁵³ F. GIOVANNARDI 2007; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

⁵⁴ R. MAILLART 1940; citato in M. BILL 1955.

⁵⁵ F. GIOVANNARDI 2007; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

ottimale per un utilizzo completo delle risorse dei nuovi materiali”⁵⁶. Maillart si è sempre opposto alle norme, considerandole vincoli imposti che bloccano la fantasia del progettista; le prescrizioni limitano l’audacia in favore della pubblica sicurezza⁵⁷ inducendo gli ingegneri ad accontentarsi delle prescrizioni come base per i loro studi⁵⁸. Le realizzazioni in Svizzera, Francia, Spagna e Russia, afferma sempre Maillart, hanno dato ottimi risultati per quanto riguarda l’economia ed il pieno utilizzo dello spazio grazie all’eliminazione delle travi. È stato solo dopo la Grande Guerra che i teorici si sono occupati del solaio a ‘fungo’, senza però raggiungere risultati soddisfacenti. Se invece di attenersi alle forme e ai metodi tradizionali, gli ingegneri avessero lavorato indipendentemente, dando spazio alla loro immaginazione, il solaio a ‘fungo’ sarebbe stato inventato molto prima⁵⁹.

Tornando alla situazione italiana dei primi anni del Novecento, il cemento armato ha giocato, tra le varie cose, un ruolo fondamentale nella ricostruzione delle città di Messina e Reggio Calabria, distrutte dal terremoto del 1908; questo nuovo prodotto sembrava avere, infatti, tutte le caratteristiche necessarie per intervenire nella ricostruzione: “leggero ma resistente, elastico ma monolitico, inattaccabile dal fuoco e non putrescibile”⁶⁰. Il materiale diventa così il migliore per la costruzione di edifici con telaio antisismico, ottenendo il primato con un concorso internazionale del 1909, bandito dalla Società Cooperativa Lombarda di Opere Pubbliche. Arturo Danusso⁶¹, laureato alla scuola di Guidi e ingegnere presso la ditta Porcheddu, diviene uno dei protagonisti del dibattito sulla ricostruzione con originali studi sull’ingegneria sismica. Tra i suoi lavori è nota anche la ricostruzione del campanile di S. Marco a Venezia; appartiene infatti a lui e alla ditta Porcheddu il progetto per la nuova struttura portante in c.a., più leggera e resistente.

⁵⁶ Lettura del 13 novembre 1937 per la Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti. Robert Maillart (1872-1940) in questa occasione fornisce una sintetica enunciazione delle basi matematiche del suo metodo di calcolo semplificato per le travi; *ibidem*.

⁵⁷ “empêcher d’être trop hardi et de mettre en cause la sécurité du public”; R. MAILLART 1940.

⁵⁸ “nombre d’ingénieurs se contentent de ces prescriptions comme base de leurs études”; *ibidem*.

⁵⁹ “Des réalisations en Suisse, en France, en Espagne et en Russie ont donné pourtant des résultats excellents quant à l’économie et à l’utilisation complète de l’espace en supprimant les poutres. Mais la technique officielle refusait de s’occuper du système, qui fut même prohibé en Allemagne grâce à l’opposition des «sommities» techniques. Ce n’est qu’après la grande guerre que les théoriciens s’occupèrent de la «dalle champignon» sans arriver cependant à des résultats satisfaisants. Si au lieu de s’en tenir aux formes et méthodes invétérées, les ingénieurs avaient travaillé en indépendance en laissant jouer leur imagination, la dalle champignon, ... eut été créée beaucoup plus tôt”; *ibidem*.

⁶⁰ *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011.

⁶¹ Arturo Danusso, anch’egli pioniere del c.a., realizza una serie di ponti originali ed arditi. Molte sono le sue esperienze teoriche e pratiche e numerosi gli articoli scritti sulla rivista “Il Cemento”, la prima specializzata nella nuova tecnica.

Il regolamento italiano del 1907 rimane in vigore fino agli anni Venti, periodo in cui, a causa della febbre edilizia, si ritiene necessaria una revisione delle norme. Nel 1922 viene organizzata la nona riunione dell'Associazione per gli Studi sui Materiali a Torino; le indicazioni emerse durante questa riunione vengono recepite nel 1925 dal Ministero dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale⁶². In queste si richiama l'attenzione su una sorveglianza attiva durante l'esecuzione delle opere piuttosto che solo nell'elaborazione dei calcoli, arrivando a controlli più rigorosi su progetti e cantieri.

Si tratta di un periodo caratterizzato da grande ricerca in ambito architettonico che interessa il rinnovamento formale e costruttivo dell'architettura tramite la sperimentazione del calcestruzzo armato; nella maggior parte dei casi, però, la struttura rimane ancora nascosta⁶³. Per il momento il nuovo materiale viene maggiormente utilizzato per l'edilizia industriale che necessita di grandi spazi privi di appoggi intermedi; si arriva così alle grandi strutture e alle coperture di grande luce.

Nel 1914, anno del “Manifesto dell'architettura futurista”, l'architetto Antonio Sant'Elia, a tale proposito, scrive: “L'uso del cemento armato e del ferro escludono l'*architettura* intesa nel senso classico e tradizionale. I materiali moderni da costruzione e le nostre nozioni scientifiche non si prestano assolutamente alla disciplina degli stili storici, e sono la causa principale dell'aspetto grottesco delle costruzioni *alla moda* nelle quali si vorrebbe ottenere dalla leggerezza, dalla snellezza superba delle putrelle e dalla fragilità del cemento armato, la curva pesante dell'arco e l'aspetto massiccio del marmo”⁶⁴.

Collins, verso la fine dell'Ottocento, evidenzia il fatto che gli architetti avevano profetizzato un grande futuro per il calcestruzzo armato, essi, infatti, “sostenevano la necessità di forme assolutamente originali che nulla dovessero al passato, ma derivassero la loro figurabilità dalla plasticità intrinseca del materiale”⁶⁵.

Nei primi anni del Novecento i progressi delle costruzioni in c.a. e lo sfruttamento delle possibilità artistiche acquistano compiutezza soprattutto in Francia, grazie ad una legislazione più flessibile, a differenza di quanto prefigurato negli altri paesi europei. Si ricordano Auguste Perret e la sua casa in Rue Franklin, 25 bis, a Parigi del 1903, caratterizzata dalla presenza di un'ossatura in cemento armato lasciata a vista, senza inganni e illusioni formali. Anche se in quest'opera traspare ancora la consueta inquietudine

⁶² T. IORI 2001, pp. 124-125.

⁶³ S. PORETTI 2007, p. 11.

⁶⁴ “Manifesto dell'architettura futurista”; citato in C. DI BIASE 2009, p. 30.

⁶⁵ *Ibidem*.

europea, a detta dello storico e critico di architettura Sigfried Giedion, essa rappresenta pur sempre la prima applicazione del c.a. quale mezzo di espressione architettonica⁶⁶. Ma è soprattutto Le Corbusier che riesce a mettere in atto tutte le possibilità formali del cemento armato quale strumento per esprimere la concezione di una ‘nuova architettura’⁶⁷.

Come già detto, la nuova tecnica viene insegnata nelle scuole di ingegneria e trasmessa quindi alle future generazioni di ingegneri. Non mancano però architetti che vorrebbero integrare i loro studi, di indirizzo esclusivamente artistico, con conoscenze tecniche e scientifiche. Nel 1919 un Regio Decreto istituisce le prime Scuole Superiori di Architettura in cui “ci si auspicava di fornire all’architetto una maggiore consapevolezza dei problemi statici”⁶⁸. In realtà la tecnica del cemento armato era appena entrata nei programmi dei corsi delle scuole di ingegneria e per il momento lo studio di questa nuova tecnica non era contemplata nella formazione dell’architetto; tanto che alcuni laureandi di Milano seguono di loro iniziativa alcuni corsi di ingegneria iniziando ad introdurre il calcestruzzo armato nel dibattito sull’architettura moderna. Tra questi un gruppo di architetti italiani, il Gruppo 7, rappresentati dal nascente Movimento Moderno, comprende l’importanza di tale nuovo ‘meraviglioso’ materiale svolgendo un’azione significativa per la definizione di un’espressione architettonica, anche se fino a quel momento la verità del materiale viene ancora nascosta sotto “rivestimenti fittizi”⁶⁹ ignorandone così le “straordinarie possibilità estetiche”⁷⁰.

Il Gruppo 7, nel 1926, aveva infatti iniziato ad evidenziare, nei vari articoli pubblicati nella rivista “Rassegna Italiana”, le “nuove forme dell’architettura”⁷¹ potenzialmente espresse dal nuovo materiale. L’associazione di architetti milanesi è ben consapevole che nel resto dell’Europa è già avvenuto un grande cambiamento e che in Italia il problema principale è rappresentato dalla formazione didattica e dall’impostazione professionale caratterizzata dalla separazione dei due ambiti, quello artistico e quello scientifico. La fondazione del Gruppo 7, afferma Sergio Musmeci, aveva come scopo la diffusione della nuova architettura ma si trattava di un inizio destinato ad esaurirsi presto; infatti “le difficoltà nascevano dal clima politico, che mentre in un primo tempo sembrò disposto ad

⁶⁶ S. GIEDION 2008, p. 318.

⁶⁷ *Ibidem*, p. 505.

⁶⁸ T. IORI 2001, p. 134.

⁶⁹ “Rassegna Italiana”, n. dicembre 1926; citato in *ibidem*, p. 136.

⁷⁰ *Ibidem*.

⁷¹ *Ibidem*, p. 134.

accettare le nuove idee [poi] finì col reprimere ogni tendenza innovatrice o anche soltanto aggiornata, tagliando fuori la cultura architettonica italiana da quella mondiale”⁷².

I giovani architetti, verso la fine degli anni Venti, iniziano ad adottare il cemento armato proprio quale simbolo del rinnovamento linguistico⁷³. Nel 1928 Adalberto Libera e Gaetano Minnucci organizzano la Prima Esposizione Italiana di Architettura Razionale, evento pubblicizzato da un manifesto su cui spicca in campo bianco, tra due bande di colore marrone, una colonna quadrata di cemento da cui sporge l'armatura⁷⁴. Da quello stesso anno la normativa darà la possibilità anche agli architetti di elaborare soluzioni progettuali per costruzioni in cemento armato.

⁷² S. MUSMECI 1980, p. 771.

⁷³ T. IORI 2010, p. 4.

⁷⁴ T. IORI 2001, pp. 135-136.

1.2 L'ITALIA E L'INGEGNERIA STRUTTURALE DEL SECONDO NOVECENTO

“Il cemento armato è il più bel sistema costruttivo che la umanità abbia saputo trovare fino ad oggi”

P. L. Nervi⁷⁵

Nonostante l'arretratezza che caratterizza l'Italia all'inizio del Novecento emergono alcuni significativi personaggi che daranno un forte contributo al progresso della nuova tecnica in ambito scientifico, didattico e progettuale. Grazie a loro e alle loro realizzazioni viene sancita l'unione tra ingegneria ed architettura, connessione che si era persa nel tempo. Fino alla fine del Settecento, infatti, in ambito architettonico prevale una sperimentazione tecnica di tipo intuitivo, in cui la figura del progettista comprendeva i ruoli dell'architetto e dell'ingegnere. La divisione dei ruoli ha inizio, verso fine Ottocento, con la Rivoluzione Industriale e la scoperta di nuove possibilità costruttive. L'ingegnere inizia a comprendere l'importanza del comportamento resistente dei materiali 'moderni' e il funzionamento statico delle strutture realizzate con essi; s'inizia un lungo periodo di sperimentazione strutturale in cui “si vengono a delineare nel panorama mondiale molte delle opere che oggi vengono considerate degne di nota”⁷⁶. Nel Novecento, questi nuovi impulsi di ricerca iniziano a concretizzarsi in quella che nel tempo viene definita 'architettura strutturale'⁷⁷.

Nel secondo Novecento, anche in Italia s'inizia finalmente a mettere in pratica tecniche e tecnologie che fino ad allora erano rimaste solo alla fase sperimentale. Vediamo quindi emergere “una nuova, inconfondibile identità, un'impronta originale”⁷⁸ che trova espressione nelle opere di Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Silvano Zorzi e Sergio Musmeci, per citarne solo alcuni tra i più rilevanti.

In Italia una svolta nel campo della sperimentazione sul cemento armato in forme 'nuove', che in Europa già erano presenti grazie a personaggi come Robert Maillart, Eugene Freyssinet e Franz Dischinger, inizia verso gli anni Quaranta del Novecento, periodo in cui viene imposto il regime autarchico; l'Italia nel 1935 invade l'Etiopia e le Nazioni Unite impongono pesanti sanzioni. In tale contesto il cemento armato viene accusato di essere un materiale poco 'nazionale' per via dell'utilizzo delle casseforme in legno ma soprattutto del

⁷⁵ P. L. NERVI 1945, p. 77.

⁷⁶ S. PALAORO, E. SIVIERO 2008, p. 671.

⁷⁷ E. SIVIERO, I. ZAMPINI 2006, p. 655.

⁷⁸ S. PORETTI 2005-2006, p. 6.

ferro che invece viene preferito per l'industria bellica, dato che le sanzioni imponevano limitazioni alla sua importazione. Due sono comunque le linee di ricerca che si sviluppano in questi anni e che avranno esiti interessanti soprattutto nel dopoguerra; la prima pensa ad una ripresa post-bellica del c.a. con l'utilizzo del ferro nazionale mirando, quindi, ad economizzare la quantità di armatura necessaria con metodi di calcolo più corretti ed una progettazione più attenta; l'altra prevede la sperimentazione, un po' utopica, di nuovi materiali, come il legno, il cemento-amianto o il bambù, al fine di sostituire il ferro⁷⁹. In questo clima di sperimentazioni scienziati come Arturo Danusso⁸⁰ e Gustavo Colonnati "indicano strade nuove e vincenti: rispettivamente quella seguita da Nervi, sulla mutazione radicale delle percentuali di armatura nel conglomerato e sull'utilizzo della resistenza per forma (che lo porteranno all'invenzione del ferrocemento) e quella seguita da Morandi, sull'impiego della presollecitazione per addestrare i materiali a resistere anche a sollecitazioni per cui sono naturalmente inadatti"⁸¹.

Nonostante i limiti imposti all'uso del c.a. i progettisti sono stimolati a sperimentare la nuova tecnica fino ad arrivare a risultati innovativi, tra questi le strutture sottili. Sono proprio questi gli anni in cui Nervi mette a punto il 'ferrocemento' che sperimenta nel padiglione alla Magliana a Roma (1944-1945), di sezione sottilissima, "sagomato in forme opportune ... in modo da divenire resistente per forma"⁸². Musmeci descrive questa splendida invenzione in cui, con spessori fino a 2 cm, vengono ottenuti elementi leggeri e identici che danno, con il loro assemblaggio, "tutta la varietà e la complessità voluta, [come] un'arte mai più eguagliata"⁸³.

L'altra grande innovazione è, come anticipato, il cemento armato precompresso, che in ambito internazionale è utilizzato da Freyssinet. Egli, con i tre ponti sul fiume Allier (1911), per la prima volta al mondo, sperimenta l'idea della tecnica della precompressione. Durante la loro fase di realizzazione, nel 1911, scopre il *fluage* del calcestruzzo; dopo la costruzione di uno dei tre ponti si inizia a notare un forte abbassamento in chiave. Freyssinet capisce

⁷⁹ T. IORI 2001, p. 157.

⁸⁰ È di Arturo Danusso l'invito ai progettisti a concepire forme in cemento armato complesse "senza lasciarsi condizionare dai limiti della teoria di calcolo, basandosi sull'intuizione empirica del comportamento statico, accontentandosi nella fase iniziale di rapide verifiche approssimative"; *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011.

⁸¹ T. IORI 2010, p. 4.

⁸² T. IORI 2009, p. 24.

⁸³ S. MUSMECI 1980, p. 774.

quindi che le attuali conoscenze sul nuovo materiale, secondo la normativa del tempo, non rispecchiano la realtà⁸⁴.

In Italia, Colonnetti, a differenza di altri, predilige il lato teorico a quello pratico; “da sempre convinto assertore della necessità di estendere l’indagine «al di là della teoria classica dell’elasticità», nel dominio plastico e in presenza di coazioni; persuaso poi che la tecnica della precompressione (eliminando il problema delle fessurazioni del calcestruzzo teso) sia la condizione indispensabile per il rilancio delle grandi strutture in cemento armato”⁸⁵. Egli non solo svolge un’opera di divulgazione delle esperienze sul precompresso, che negli anni Trenta si vanno conducendo all’estero, ma contemporaneamente elabora contributi originali la cui rilevanza è riconosciuta a livello internazionale. Tra gli altri che sperimentano la nuova tecnica della precompressione si ricorda anche Riccardo Morandi⁸⁶ e Carlo Cestelli Guidi. Quest’ultimo riesce ad unire teoria, sperimentazione e progettazione in una costante operazione di mediazione “mantenendo l’equilibrio tra tradizione ed innovazione, tra tecnologie tradizionali e nuove tecniche imposte dalle novità costruttive e dalla prefabbricazione”⁸⁷.

L’avvento della prefabbricazione, o della costruzione fuori opera, dei manufatti in c.a., afferma Giulio Pizzetti, ed il “rapidissimo affermarsi della tecnica della presollecitazione che invade ogni settore della costruzione nel giro del decennio 1950-1960 portano il cemento armato ad entrare in settori costruttivi che erano fino allora considerati esclusivi dell’acciaio e ad adottare tipologie costruttive, figure strutturali e tecniche di montaggio in opera tipiche della costruzione metallica”⁸⁸. Il cemento armato, diceva Freyssinet, “è *“il trionfo dell’assurdo”*”, il cemento precompresso significa il trionfo della ragione. Lavorare con il cemento precompresso significa lavorare col massimo rigore, senza possibilità di mentire. ... Il precompresso non concede occultamenti: per questo è così ricco di potenzialità in fatto di soluzioni estetiche. Col precompresso il cemento armato è un materiale nobile e durevole”⁸⁹.

⁸⁴ Freyssinet, inoltre, sperimenta, nell’ultimo dei tre ponti sul fiume Allier, un’innovativa tecnica per il disarmo della centina utilizzando martinetti inseriti tra centina e materiale; la rimozione della struttura, a quei tempi, costituiva una reale difficoltà tecnica nella realizzazione di opere in c.a.; F. GIOVANNARDI 2008a; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

⁸⁵ S. PORETTI 2005-2006, p. 7.

⁸⁶ Il ‘Brevetto Morandi’ del 1949 perfeziona il “Sistema Freyssinet”; per testare il dispositivo egli realizza un capannone sperimentale in cemento armato precompresso nel quartiere Testaccio a Roma.

⁸⁷ E. SIVIERO, I. ZAMPINI 2006, p. 660.

⁸⁸ G. PIZZETTI 1981, p. 31.

⁸⁹ A. FERNANDEZ ORDONEZ 1987, pp. 49-51.

Anche Riccardo Morandi, come altri, non si limita a concepire il cemento armato come puro materiale strutturale ma come vero e proprio mezzo di espressione architettonica. Egli, nonostante la formazione universitaria, non ha mai accettato impostazioni astratte o formaliste derivate rigidamente dal calcolo strutturale. Giorgio Boaga, nella monografia dedicata a Morandi, sottolinea con incisività come l'etichetta di 'strutturista' attribuita all'ingegnere sia molto limitativa in rapporto alla sua opera⁹⁰. La sua figura, infatti, "può rappresentare una concreta esemplificazione metodologica di quella ricerca di integrazione tra funzione, costruzione e immagine che rappresenta, da sempre, l'obiettivo ideale (dichiarato o non) di ogni architettura propriamente detta"⁹¹; inoltre nelle sue opere è "leggibile l'intimo nesso fra impostazione architettonica strutturale e funzionalità distributiva ed economica, ed è evidente l'assenza di una enfattizzazione formalista e gratuita del ruolo e dell'immagine delle membrature portanti"⁹². Morandi inizia negli anni Cinquanta con dei progetti sperimentali di piccola luce in c.a.p. fino al ponte ad arco⁹³ di grande luce sulla Fiumarella a Catanzaro (1958-1961), struttura che diviene fin da subito simbolo per la città; il suo nome, in ambito internazionale, è legato soprattutto al ponte sulla laguna di Maracaibo in Venezuela (1957-1962), degli stessi anni⁹⁴. In un articolo in cui Musmeci descrive le caratteristiche e le possibilità delle strutture in c.a. vengono menzionate entrambe le opere tra quelle che secondo Musmeci sono le "strutture più impegnative rese possibili dal cemento armato"⁹⁵ e che costituiscono, a metà del Novecento, dei veri e propri primati.

Nell'articolo per "L'industria Italiana del Cemento" del 1980, Musmeci, parlando dell'evoluzione delle costruzioni in c.a., descrive Nervi e Morandi come le personalità più significative in questo campo, l'ambito dell'invenzione formale⁹⁶. In quest'occasione cita lo stadio Berta a Firenze (1930-1931) di Nervi, "forse uno dei primi esempi di una vera

⁹⁰ Philip Johnson dichiara: "L'obiettivo di un ingegnere non è mai la forma... oh, sì, lo è in Robert Maillart, lo è in quello straordinario ingegnere italiano che è Riccardo Morandi, ingiustamente sottovalutato in questo paese anche se personalmente lo preferisco a Pier Luigi Nervi. Nervi è stato per me un grande progettista di coperture, le più belle coperture del mondo, ma Morandi ha più classe, una maggiore carica progettuale di base, e realizza dei magnifici ponti, delle strutture molto belle, bellissime"; G. BOAGA 1984, p. 12.

⁹¹ *Ibidem*, p. 8.

⁹² *Ibidem*.

⁹³ Riccardo Morandi, per i suoi ponti ad arco, prende come riferimento le opere di Robert Maillart.

⁹⁴ M. MARANDOLA 2005-2006, p. 27.

⁹⁵ S. MUSMECI 1969, p. 692.

⁹⁶ S. MUSMECI 1980, p. 772.

architettura del cemento armato”⁹⁷, e altre sue opere, la cui tematica strutturale gli ha permesso di affrancarsi dalle impostazioni retoriche dell’architettura ufficiale. Morandi, invece, rappresenta “l’uomo che con maggiore coraggio ha cercato di superare i limiti del materiale e delle forme strutturali. La leggerezza delle sue strutture e le loro stesse forme e proporzioni, sono la testimonianza di una continua ricerca di una utilizzazione intelligente del materiale fino ai limiti consentiti dalla sua natura”⁹⁸. Fra le sue realizzazioni cita anche il viadotto sul Polcevera a Genova che, come le strutture precedenti, è caratterizzato da una notevole carica espressiva del contenuto statico e costruttivo⁹⁹.

Tutte queste invenzioni e la presenza, soprattutto in Italia, di ingegneri capaci di sfruttare le qualità del calcestruzzo armato, portano ad un fiorente periodo dell’ingegneria strutturale intorno alla metà del XX secolo. D’altra parte il dopoguerra è stato per la storia dell’ingegneria italiana un periodo di sviluppo davvero eccezionale nel settore delle grandi strutture; momento in cui si conferma l’egemonia’ del cemento armato¹⁰⁰.

In quegli anni si assiste ad una serie di successi nel campo dell’ingegneria strutturale, merito di progettisti italiani, alcuni già citati, come Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Silvano Zorzi, Carlo Cestelli Guidi, Franco Levi, Arrigo Carè, Giorgio Giannelli, Sergio Musmeci ed altri. Nonostante l’Italia uscisse da un periodo difficile - guerre, autarchia e ricostruzioni post-belliche - che rende necessaria la ricostruzione di ben 2600 ponti distrutti dai bombardamenti, negli anni Sessanta viene riconosciuta internazionalmente come un’autorità nel settore dell’ingegneria strutturale¹⁰¹. Sono molte le occasioni in cui vengono realizzate opere di grande impegno strutturale: le Olimpiadi di Roma del 1960, i padiglioni per le celebrazioni di Torino del 1961, le reti autostradali, le aviorimesse per i nuovi aeroporti internazionali e così via¹⁰². Il palazzo del Lavoro a Torino (1961) di Nervi rappresenta un’importante esempio in cui “il cantiere e la sua organizzazione costituiscono l’aspetto più innovativo”¹⁰³. La soluzione modulare e la differenziazione dei due materiali, il c.a. e l’acciaio, consentono il progredire dell’esecuzione delle strutture e delle finiture e

⁹⁷ *Ibidem*, pp. 772-774.

⁹⁸ *Ibidem*, p. 774.

⁹⁹ “Una delle caratteristiche più evidenti dell’impianto strutturale delle opere di Morandi è l’introduzione di giunti e cerniere in alcuni punti chiave allo scopo di chiarire, sia funzionalmente che visivamente, il comportamento statico della struttura che guadagna in leggibilità e in forza espressiva”; *ibidem*, p. 775.

¹⁰⁰ S. PORETTI 2005-2006, p. 6-7.

¹⁰¹ T. IORI 2006, p. 1133.

¹⁰² S. PORETTI 2005-2006, p. 6.

¹⁰³ C. CHIORINO, C. OSTORERO 2006, p. 3.

circoscrivono il problema dei tempi di getto e di maturazione del calcestruzzo armato consentendo grande efficienza e rapidità esecutiva¹⁰⁴.

Tra gli anni Cinquanta e Sessanta si conclude la fase della ricostruzione e si dà il via ad un nuovo impulso di perfezionamento tecnico che porta alla costruzione delle autostrade. Tra queste vi è l'Autostrada del Sole (1956-1964); si tratta di una vasta opera che include una serie di ponti e viadotti "nella cui originalità e qualità si conferma l'emergere in questi anni di una vera e propria scuola italiana di progettazione strutturale"¹⁰⁵. Molti progettisti concorrono alla realizzazione di questa vasta opera infrastrutturale. Tra i migliori risultati raggiunti si ricordano i ponti sull'Arno di Zorzi, a Levante e a Incisa, e i ponti di Morandi sul Polcevera e Genova e sul Tevere a Roma in cui lo stesso progettista dimostra che la tecnica della precompressione consente di superare ampiamente i 100 m di luce¹⁰⁶; altrettanto fondamentali sono alcune strutture ad arco realizzate con il cemento armato ordinario, come il ponte sul Merrizzano, i viadotti sul Gambellato di Krall, di Poggettone e Pecora Vecchia di Carè e Giannelli ed sull'Aglio di Oberti.

Nonostante l'iniziale slancio creativo si arriva, purtroppo, ad un periodo di standardizzazione del tipo strutturale, dovuto soprattutto ad interessi economici e produttivi¹⁰⁷. Nel numero monografico di Casabella del 1981 dedicato al tema del ponte, come infrastruttura territoriale¹⁰⁸, Riccardo Morandi critica aspramente le 'speculazioni' a cui erano costretti i progettisti: "Ho dovuto lottare moltissime volte contro certe ottusità, al punto di dovermi ritirare, come sono rimasto profondamente ferito dall'incoscienza faciloneria con cui si sono sconciate, specialmente in Italia, parecchie splendide vallate con opere spesso grandissime in cui appare chiara la nessuna cura all'ambientazione ed alla modellazione dell'insieme e del dettaglio. Questo in nome non di un concetto di economia ... ma per particolari interessi speculativi. È triste doverlo constatare, ma qualche volta le proporzioni di una grande membratura di ponte di calcestruzzo armato discendono non da un pensiero di espressività formale (nei suoi rapporti con le necessità statiche e funzionali) ma dal fatto soprattutto che le casseforme costano molto care e quindi si impone al progettista che si prevedano strutture in cui il rapporto cubatura-superficie sia il più alto

¹⁰⁴ *Ibidem*.

¹⁰⁵ Il tracciato dell'Autostrada del Sole, di 434 km, viene articolato da Salvatore Ruiz e prevede il collegamento di Milano con Bologna, Firenze, Roma e Napoli. Nel disegno dei nuovi ponti prevale la soluzione a travata in cemento armato precompresso; *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011.

¹⁰⁶ S. PORETTI 2005-2006, p. 10.

¹⁰⁷ E. SIVIERO, I. ZAMPINI 2006, p. 660.

¹⁰⁸ *Il ponte: infrastruttura territoriale* 1981.

possibile!”¹⁰⁹. Nel caso dell’Autostrada del Sole si arriva alla ripetizione dello stesso tipo e all’unificazione del linguaggio strutturale con risultati poco distinguibili tra loro¹¹⁰.

Giulio Pizzetti, in un suo contributo, fa riferimento ad una ‘febbre della grande luce’ che coinvolge i grandi progettisti di ponti in quel periodo, “una febbre che più di una volta ha introdotto caratteri decisamente deformanti nella storia della evoluzione del ponte ma che - nella maggioranza dei casi - è responsabile di aspetti di autentica nobiltà e di indiscutibile poesia”¹¹¹. Egli afferma che il XX secolo è l’epoca, nel percorso dell’evoluzione del ponte, della “maturazione di concezioni di progetto, tecniche costruttive e sfruttamento dei materiali che ha come risultato un orientamento verso posizioni progettuali più consapevoli e più chiare”¹¹².

Anche Silvano Zorzi parla di quegli anni nel numero monografico di Casabella¹¹³; egli racconta l’entusiasmo di essere stato tra i primi ad interessarsi della nuova tecnologia del cemento armato precompresso che stava uscendo dalla fase sperimentale. Zorzi si descrive, infatti, come “appassionatamente ansioso di conoscere e di inventare nuovi schemi strutturali e nuovi congegni costruttivi”¹¹⁴. Egli non ritiene che un progettista debba seguire in modo passivo la tecnica costruttiva del momento ma, piuttosto, debba essere protagonista delle innovazioni. In questo stesso articolo viene sottolineato che è ormai finito il tempo della teoria consumistica delle opere infrastrutturali e che ora, tali opere, devono essere progettate per ‘durare’.

All’interno dello stesso articolo c’è anche uno spazio dedicato a Musmeci ma, a parlare al suo posto, è l’amico e collega Carlo La Torre; egli esamina brevemente alcune delle sue opere esemplificative, progettate e in alcuni casi anche realizzate; tra queste il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975), il ponte sullo Stretto di Messina (1969), il viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran (1975-1976), il ponte sul Niger ad Ajakouta in Nigeria (1977), il ponte urbano sul Talvera a Bolzano (1978-1980) e il viadotto sull’Appia Antica a Roma (1980). La Torre introduce il breve articolo con queste parole di Musmeci che sintetizzano il suo pensiero: “Se è vero che una forma strutturale può esprimere la sua realtà di evento

¹⁰⁹ R. MORANDI 1981, p. 34.

¹¹⁰ Vi sono però alcune eccezioni che sfuggono a questa perdita di identità, come il ponte sul Lao in Calabria, oggetto di un concorso nel 1964, vinto da Cestelli Guidi, De Miranda e Pellegrino Gallo ed eseguito da Morandi e Covre.

¹¹¹ G. PIZZETTI 1981, p. 27.

¹¹² *Ibidem*, p. 29.

¹¹³ *Il ponte: infrastruttura territoriale* 1981.

¹¹⁴ S. ZORZI 1981, p. 45.

tecnico e architettonico, solo nella misura nella quale si pone come fattore risolutivo del problema statico, è evidente che ciò che allora interessa è capire attraverso quali vie la forma può dare risultati in ordine alla utilizzazione strutturale della materia”¹¹⁵.

La presenza di queste figure nel campo dell'architettura strutturale ha determinato un vero e proprio *italian style*, come viene definito da Sergio Poretti e Tullia Iori in alcuni dei loro articoli. La collaborazione tra ingegneri ed architetti, inoltre, produce alcune tra le opere più importanti del periodo¹¹⁶, tra queste: il grattacielo Pirelli di Ponti, Nervi e Danusso, la torre Velasca di BBPR e Danusso e il palazzo della Regione a Trento di Libera e Musmeci. Non meno significative le opere infrastrutturali come l'ultimo ponte sul Tevere a Roma, ponte Pietro Nenni (1969-1972), che permette l'attraversamento, negli anni Sessanta, della linea metropolitana, espressione della collaborazione tra Moretti e Zorzi. Tuttavia, come afferma Musmeci, escluse le opere eccezionali, l'architettura strutturale “non è riuscita, nel suo complesso, a dare quel contributo allo sviluppo dell'architettura moderna, che forse ci si poteva aspettare”¹¹⁷.

Negli anni Settanta arriva il declino. Nel 1975 si ferma la costruzione di altre autostrade, a causa della crisi energetica mondiale del 1973; regresso che finirà per coincidere con la decadenza della produzione strutturale dell'ingegneria italiana¹¹⁸. “La cultura italiana contiene numerosi esempi, a volte tralasciati o dimenticati dai non addetti ai lavori, di opere d'arte stradale che sono di fondamentale importanza sociale e tecnica di come si siano sviluppate le strutture e le architetture nel Paese nel corso del secolo scorso. Salvo queste importanti eccezioni, i ponti degli ultimi decenni invece non mostrano particolare qualità e si presentano per lo più come mediocri realizzazioni con precoci segni di invecchiamento dovuti ai problemi di durabilità nel tempo, con i conseguenti elevati costi di manutenzione”¹¹⁹.

Nel 2006 vengono pubblicati, nella rivista “Casabella”, una serie di articoli che hanno come titolo riassuntivo *I bei tempi andati dell'ingegneria italiana*¹²⁰; affermazione questa che fa comprendere come oggi l'ingegneria italiana, ricca di innovazioni, non sia più ai livelli di un

¹¹⁵ C. LA TORRE 1981, p. 40.

¹¹⁶ L'ingegneria italiana assume, negli anni Sessanta, fama internazionale, dimostrata dalla grande presenza di opere italiane alla mostra “Twentieth Century Engineering” al Museum of Modern Art di New York del 1964; S. PORETTI 2005-2006, p. 10.

¹¹⁷ S. MUSMECI 1980, p. 781.

¹¹⁸ *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011.

¹¹⁹ S. PALAORO, E. SIVIERO 2008, 671-672.

¹²⁰ *I bei tempi andati dell'ingegneria italiana* 2005-2006, pp. 4-35.

tempo. Questo rapido declino della produzione strutturale italiana ha portato, come conseguenza, all'estinzione della figura del progettista strutturale¹²¹.

Lo stesso Musmeci, a differenza di molti altri grandi progettisti, è rimasto nell'ombra per molto tempo; solo nell'ultimo decennio ne viene riscoperta la figura e l'enorme contributo che ha dato con le teorie, i progetti e le realizzazioni. Anche la sua più grande opera, il ponte sul Basento a Potenza, in cui trovano concretizzazione le sue ricerche sul minimo strutturale e sulla forma ideale, non riesce ad aprirsi a “nuovi e immediati sviluppi strutturali”¹²², come egli stesso avrebbe voluto. A tale proposito Rinaldo Capomolla afferma: “semmai chiude il ciclo degli esperimenti sui gusci sottili”¹²³.

¹²¹ S. PORETTI 2005-2006, p. 6.

¹²² R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 13.

¹²³ *Ibidem*.

1.3 IL CALCESTRUZZO ARMATO E L'ARCHITETTURA DEL NOVECENTO IN EUROPA: L'OTTIMIZZAZIONE DELLA MATERIA

“La obra mejor es la que se sostiene por su forma”

E. Torroja¹²⁴

Nei primi anni del Novecento il ‘Brevetto Hennebique’ è ben diffuso in tutta l'Europa, compresa l'Italia. Questi sono anche gli anni decisivi per l'evoluzione costruttiva del calcestruzzo armato; alcuni grandi progettisti iniziano, infatti, a comprendere meglio le potenzialità che il nuovo materiale offre sperimentandolo in soluzioni innovative.

Questa rivoluzione nel modo di costruire, però, arriva in Italia relativamente tardi rispetto ad altri paesi europei che vantano già, negli anni Venti, realizzazioni innovative sul tema delle sezioni sottili. In alcuni paesi d'Europa si comincia a configurare presto la figura del progettista di grandi strutture “capace di concepire forme armoniose e strutture razionali in un unico processo creativo”¹²⁵.

In Germania, ad esempio, la sperimentazione sulle volte sottili in cemento armato ha inizio, nei primi anni Venti, con i planetari della Zeiss di Franz Dischinger¹²⁶ e Ulrich Finsterwalder che costituiscono un'esperienza davvero fondamentale “per la messa a punto delle tecniche esecutive e del metodo di calcolo delle cupole di spessore molto ridotto”¹²⁷ (fig. 1). Per la prima volta nella storia dell'umanità si costruiscono “coperture con spessori dell'ordine di 1/1.000 delle luci coperte”¹²⁸.

Musmeci spiega che “il comportamento statico di queste coperture è caratterizzato da sforzi contenuti nel piano tangente alla copertura (sforzi di membrana) il cui legame con i carichi agenti localmente sulla volta è isostatico”¹²⁹; nonostante egli ritenga che le volte sottili siano capaci di esprimere l'intera potenzialità statica ed espressiva del cemento armato, ammette anche che alla sua epoca, anni Settanta del Novecento, sono purtroppo

¹²⁴ <innovacioneducativa.upm.es>, marzo/2015.

¹²⁵ T. IORI 2001, p. 197.

¹²⁶ Gli studi sulle volte sottili in c.a. di Franz Dischinger vengono ripresi da Musmeci nel calcolo della semicalotta per l'abside costantiniana della Basilica di Massenzio. *Die Rotationsschalen mit unsymmetrischer Form und Belastung*, Bauingenieur 1935, p. 374; citato in ASMZZ, *Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici. Parte quinta cupola* 1961.

¹²⁷ I risultati raggiunti vengono presto estesi anche ad altri tipi strutturali tra cui le volte cilindriche; T. IORI 2001, p. 200.

¹²⁸ S. MUSMECI 1969, p. 692.

¹²⁹ *Ibidem*.

ancora ben lontane dall'aver raggiunto quell'aderenza fra forma e contenuto statico che dovrebbe essere "lo scopo ultimo di una buona progettazione"¹³⁰.

Il solaio a nervature isostatiche, brevettato da Nervi nel 1949, viene introdotto nell'ambito della progettazione ingegneristica ed architettonica dall'americano Turner già nel 1903 e, quasi contemporaneamente, viene perfezionato da Maillart in un brevetto del 1908. Quest'ultimo, in molte sue opere, conferisce ai pilastri forme che esprimono chiaramente il percorso delle forze. All'inizio del Novecento Maillart porta ad una innovazione radicale delle strutture in c.a. realizzate in quegli anni secondo il 'Sistema Hennebique'. Egli, grazie alle prove sui modelli, intuisce che è possibile concentrare gli sforzi del piano solamente sui pilastri, allargandone progressivamente la sommità in modo da assorbire meglio gli sforzi, eliminando così le travi secondarie¹³¹ (fig. 2-3). Il suo brevetto trova applicazione nel magazzino a Zurigo a Giesshubel (1910) anche se, già qualche anno prima, inizia a mettere in pratica parte delle sue idee eliminando le travi secondarie in una fabbrica a Pfenninger (1905). Maillart è innovativo anche nella disposizione dell'armatura di ferro all'interno del calcestruzzo; egli, infatti, si limita ad "appoggiarla a raggiera sopra i capitelli ... non facendole quindi attraversare da un estremo all'altro il solaio"¹³². Nel metodo costruttivo americano dei solai a 'fungo' di Turner, invece, questa viene disposta come una maglia continua su tutta la superficie. S'inizia così la nascita dei solai a 'fungo' che apre a nuove prospettive architettoniche.

Maillart è sicuramente uno dei primi a rendersi conto che il cemento armato del 'Brevetto Hennebique' è sempre stato impiegato nella forma classica delle strutture in acciaio e legno. Egli, intuendo la potenzialità del materiale, inizia ad usare il c.a. in forme 'nuove', diverse rispetto a quelle conosciute per i materiali 'tradizionali', forme che aumentano la resistenza riducendo la massa. Con il ponte sul Reno a Tavanasa (1904-1905) egli giunge infatti ad una configurazione diversa da quella dei ponti in pietra o in acciaio costruiti fino ad allora, forma possibile solo con un materiale duttile come il cemento armato¹³³ (fig. 4). L'esperienza di alcune sue precedenti realizzazioni, inoltre, come il ponte

¹³⁰ *Ibidem*.

¹³¹ Robert Maillart trae il suo approccio sperimentale sui modelli dagli insegnamenti di Karl Wilhelm Ritter, professore al Politecnico di Zurigo, che avrà una forte influenza sulla sua crescita professionale; F. GIOVANNARDI 2007; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

¹³² L'ingegnere giunge a questi risultati grazie ad alcuni esperimenti che confermano che "i ferri dell'armatura agiscono sulla superficie oltre la loro struttura materiale", come in un campo magnetico; *Das neue Frankfurt 1926-1931 e l'architettura della nuova Francoforte* 1975, p. 151.

¹³³ F. GIOVANNARDI 2007; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

di Zouz (1900-1901), e il constatare che in determinati punti sono solite formarsi crepe e fessurazioni gli permette di comprendere come parte del materiale, ad esempio quello vicino alle spalle, sia superfluo per la resistenza e la statica dell'insieme. I ponti di Maillart costituiscono, per gli strutturisti del secondo dopoguerra, un punto di riferimento. Proprio nel lavoro di Musmeci, nelle sue prime esperienze progettuali¹³⁴, si possono riscontrare dei riferimenti ai ponti di Maillart. Tali strutture riescono a raggiungere, secondo le parole di Musmeci, “una perfetta integrazione fra efficienza statica ed espressione formale”¹³⁵. Inoltre, “i suoi archi sottili, protetti dalla flessione dalla rigidità dell'impalcato, sono stati i primi archi puri nella storia dell'architettura e hanno dimostrato ciò che è possibile ottenere dal cemento armato impiegato secondo la sua natura”¹³⁶.

In Italia, le coperture ad ‘ombrello’ di Giorgio Baroni arrivano solo alla fine degli anni Quaranta del Novecento. Il suo brevetto, del 1936, trova infatti realizzazione nel magazzino a Tresigallo (1940) (fig. 5). In un clima di autarchia per l'Italia Baroni, come pochi, indirizza i suoi studi sul tema delle superfici sottili a doppia curvatura in c.a. dimostrando come sia possibile realizzare ampie coperture con spessori molto ridotti e conseguente risparmio di ferro e calcestruzzo. Egli, con la sperimentazione sugli ‘ombrelli’ a falde di *hypar*, anticipa le celebri coperture di Felix Candela.

Anche Nervi brevetta i solai isostatici, ma solo nel 1949, realizzando il magazzino seminterrato del lanificio Gatti (1951), stabilimento industriale realizzato insieme a Cestelli Guidi. Si tratta di una delle prime applicazioni del solaio a nervature isostatiche di Nervi¹³⁷; da ogni pilastro si diramano una serie di nervature che conferiscono la caratteristica forma a ‘fungo’ che “corrisponde al naturale andamento delle linee isostatiche di flessione di una piastra sottoposta a carichi”¹³⁸. Nervi dispone così il materiale lungo quelle “linee dove meglio saprà collaborare alla resistenza”¹³⁹ (fig. 6).

Come già detto in precedenza, verso fine Ottocento Anatole de Baudot, utilizzando il ‘Sistema Cottancin’, anticipa tali studi; nelle sue opere è possibile riscontrare delle similitudini con i solai isostatici di Nervi. Quest'ultimo è senza dubbio uno dei primi, in

¹³⁴ Ponte sull'Autostrada del Sole (1950), ponte sull'Astico a Vicenza (1956).

¹³⁵ S. MUSMECI 1977b, p. 80.

¹³⁶ *Ibidem*.

¹³⁷ In quegli anni Nervi sperimenta lo stesso sistema costruttivo anche per la manifattura Tabacchi a Bologna (1951-1953). Sono peraltro gli stessi anni in cui Musmeci svolge il suo tirocinio professionale presso la Nervi & Bartoli.

¹³⁸ T. IORI 2009, p. 46.

¹³⁹ *Ibidem*.

Italia, ad aver messo in pratica con opere sorprendenti le potenzialità del cemento armato che egli stesso definisce come “il materiale più rivoluzionario di tutta la storia del costruire”¹⁴⁰, grazie alla sua adattabilità a qualsiasi forma e alla capacità di resistere alle tre sollecitazioni principali. Egli inizia la sua carriera negli anni Venti; neoingegnere viene assunto dalla SACC di Attilio Muggia, suo professore a Bologna, concessionario e agente del ‘Brevetto Hennebique’ per l’Italia centrale¹⁴¹. Egli, nel corso della sua carriera, riesce ad andare oltre gli insegnamenti della scuola di Bologna in cui era frequente, nella didattica universitaria, l’incomunicabilità tra lo scheletro costruttivo e le facciate architettoniche. In seguito Nervi criticherà tale insegnamento in nome della ‘verità costruttiva’ e dello ‘stile di verità’ che faranno parte di tutta la sua carriera¹⁴². Negli anni Trenta realizza lo stadio Berta a Firenze (1930-1931) nel quale concepisce forme complesse che ben si adeguano al comportamento statico della struttura lasciata a vista. Nervi “riusciva a trasformare il cemento armato, fino ad allora rigido e inarticolato, in una materia viva, fluida, dove le forze naturali erano espresse in modo diretto e semplice. Per Nervi le leggi della natura dovevano essere esplorate, comprese e poi espresse nella maniera più diretta e veritiera possibile. Per lui, come per il poeta John Keats, la verità era bellezza, la bellezza, verità”¹⁴³.

Queste le parole di Nervi: “Calici di fiori, foglie lanceolate, canne, gusci di uova e di insetti, conchiglie, ventagli, paralumi, carrozzerie di automobili, vasi di vetro e perfino oggetti di vestiario, quali cappelli femminili, sono altrettanti esempi di resistenza per forma, ed è certamente molto importante che un nuovo mezzo costruttivo ci permetta, per la prima volta, di estendere queste strutture a grandi e grandissime dimensioni”¹⁴⁴.

Anche il matematico D’Arcy Thompson sembra precorrere i solai isostatici grazie ai suoi studi sulle strutture ossee degli animali. Egli dimostra come la distribuzione della materia ossea segua precisi canali statici¹⁴⁵ (fig. 7-8). Nel Novecento si iniziano infatti a considerare sempre di più i contributi di studiosi di biologia, fisica, matematica che si riflettono sulla ricerca strutturale. Tutte queste discipline sono “accumunate da

¹⁴⁰ P. L. NERVI 1955, p. 115.

¹⁴¹ Il rapporto con il suo professore, però, si rovina in pochi anni quando Nervi, dopo essersi messo in proprio, chiede una lettera che attesti le sue reali capacità lavorative e la sua autonomia negli anni svolti presso la SACC ma Muggia non riconosce appieno i meriti e le responsabilità che ha avuto; C. GRECO 2010, p. 218.

¹⁴² *La lezione di Pier Luigi Nervi* 2010.

¹⁴³ R. EINAUDI 2010, p. 49.

¹⁴⁴ P. L. NERVI 1955, p. 116.

¹⁴⁵ A. TURSÌ 2004, p. 72.

un'attenzione per la forma intesa come insieme di rapporti tra le parti”¹⁴⁶. Anche l'interesse di Musmeci è prima di tutto scientifico; non è solo ingegnere ma anche esperto matematico e appassionato di astronomia e scienze di ogni genere e conosce in maniera approfondita i contributi di studiosi come D'Arcy Thompson¹⁴⁷. Il suo interesse, infatti, “si traduce in ricerca applicata alla progettazione strutturale”¹⁴⁸.

Negli anni Cinquanta, Candela diviene famoso per le coperture a guscio in calcestruzzo armato dalla forma di paraboloide iperbolico¹⁴⁹. Egli rimane affascinato fin da giovane da personaggi come Dischinger, Freyssinet, Torroja ed altri. La sua ricerca consiste nello studiare altre possibilità per dimensionare e progettare questo tipo di strutture attraverso metodi di calcolo semplificati¹⁵⁰. L'opera che lo rende conosciuto in molti paesi è il pabellon de Rayos Cosmicos a Città del Messico (1951) in cui utilizza una volta sottilissima a doppia curvatura a forma di paraboloide iperbolico (*hypar*) (fig. 9); egli spiega che questa forma permette di realizzare una copertura rigida di minimo spessore. Negli anni Cinquanta realizza anche il primo prototipo di ‘ombrello’: una copertura quadrangolare composta da quattro timpani di *hypar* sostenuti da un pilastro centrale, struttura che ha molto successo specialmente per stazioni di servizio ed edifici industriali¹⁵¹ (fig. 10).

Eduardo Torroja, riferendosi alle coperture ad ‘ombrello’ di Candela, ne descrive la complessità formale e matematica: “Fra le superfici sghembe, la più utilizzata è il paraboloide iperbolico che presenta il vantaggio di potersi iscrivere in un quadrilatero formato da 4 bordi rettilinei. In regime di membrana questa superficie esercita sui bordi soltanto delle azioni tangenziali, senza provocarvi delle flessioni. Tali bordi devono essere molto rigidi in senso longitudinale e molto leggeri, per non alterare lo stato membranale.

¹⁴⁶ *Ibidem*.

¹⁴⁷ Tuttavia gli studi di D'Arcy Thompson (1860-1948), a detta di Musmeci, sono rimasti sempre a livello teorico e qualitativo pertanto una vera e propria teoria delle forme-limite non era mai stata elaborata prima; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹⁴⁸ A. TURSÌ 2004, p. 72. Anche secondo Nervi la “forma architettonica doveva essere in armonia con le leggi fisiche”, infatti “la fluidità delle forme delle sue strutture non era il risultato di un'inventiva fine a se stessa, ma di un processo dove la meta era la scoperta di una realtà fisica”, R. EINAUDI 2010, p. 47.

¹⁴⁹ Felix Candela già nel 1936, subito dopo la laurea, vince una borsa di studio dell'Accademia di Belle Arti di San Fernando con la tesi dal titolo *L'influenza delle nuove tendenze nella tecnica del Cemento Armato sopra la Forma Architettonica*; F. GIOVANNARDI 2006, p. 3; <www.giovannardierontini.it>, marzo/2015.

¹⁵⁰ *Ibidem*, p. 5.

¹⁵¹ Fabbrica Celestino Fernandez (1954-1955) Gasolinera Pemex (1957), Gasolinera Pemex (1965), stazione metro Candelaria (1967).

Tali flessioni sono comunque inevitabili e assumono notevole importanza nelle strutture di grandi dimensioni”¹⁵².

Tra le opere di Sergio Musmeci, realizzate e non, è possibile ritrovare diverse sperimentazioni di queste tecniche costruttive. Tra le sue prime esperienze progettuali vi è il palazzo della Regione a Trento (1955-1962) progettato da Adalberto Libera ma che subisce l'influenza del giovane ingegnere. Per l'edificio della Giunta era infatti previsto un classico schema a telaio, ma Musmeci lo trasforma in una costruzione originale con due pilastri in c.a. a forma di iperboloide iperbolico con sezione orizzontale ellittica (fig. 11), e due coppie di puntoni obliqui che attraversano lo spazio del portico con funzione di stabilizzazione¹⁵³, che portano il peso dell'intero edificio, costituito da un enorme trave-parete di spina. Quest'ultimo elemento, spesso 50 cm e alto 8 m, viene alleggerito da ampie aperture disposte in accordo con il flusso delle sollecitazioni¹⁵⁴. Nel palazzo Assessorati inserisce invece un telaio con ramificazioni ad 'albero'; Musmeci con questa soluzione riesce a diminuire il numero di pilastri da quarantotto a dodici utilizzando dei sostegni ad 'albero'¹⁵⁵ (fig. 12). La stessa soluzione la troviamo nelle palazzine in via Vallombrosa a Roma (1958-1959) dove sono presenti pilastri a quattro 'braccia' (fig. 13-14). Nel capannone industriale della Società Arrigoni a Cesena (1964) sperimenta una soluzione con una serie di tronchi di piramide ottaedrica dove l'elemento 'ombrello', a 'fungo' o a 'calice'¹⁵⁶, viene ripetuto un numero imprecisato di volte fino a costituire la copertura del capannone; lo spazio viene suddiviso, quindi, in elementi prefabbricati in cemento armato dalla forma curva al fine di essere autoportanti (fig. 15). Già altre volte Musmeci affronta il tema della copertura di grandi spazi e il progetto, mai realizzato, per la Società Arrigoni viene da lui considerato un punto di arrivo per le sue teorie, in quanto ritiene la soluzione ben equilibrata, leggera e staticamente efficiente¹⁵⁷.

Negli stessi anni si occupa delle strutture per la nuova Biblioteca Nazionale di Roma (1965-1971); viene infatti chiamato dal gruppo vincitore di Annibale Vitellozzi che lo coinvolge nella progettazione strutturale. Egli si occupa soprattutto della sala conferenze

¹⁵² E. TORROJA 1966, p. 143.

¹⁵³ Adalberto Libera e Sergio Musmeci, *Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali* 2007, p. 182.

¹⁵⁴ *Ibidem*, p. 180.

¹⁵⁵ Si tratta di grandi pilastri cilindrici di 135 cm di diametro sui quali si innestano quattro braccia tronco-coniche con un diametro variabile da 95 a 70 cm; S. MUSMECI 1976, p. 242.

¹⁵⁶ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁵⁷ *Ibidem*.

per cui elabora una struttura a travi incrociate, una 'rete di travi'¹⁵⁸, però nascosta dal controsoffitto; si tratta di una sala quadrata (30 x 30 m) con quattro pilastri a sostegno della struttura di pavimento e della copertura¹⁵⁹ (fig. 16). Nel progetto per una piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma (1973) utilizza, ancora una volta, una 'rete di travi' ottenuta accostando elementi prefabbricati in c.a. che si sviluppa "in modo da convogliare i carichi verso gli appoggi nel modo che appariva più naturale"¹⁶⁰; al centro della copertura si viene a creare "un comportamento a cupola nervata capace di alleggerire ... la flessione"¹⁶¹ (fig. 17). Lo stesso tipo strutturale viene applicato anche per il palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954) e viene realizzato per la chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960).

Analizzando la volta sottile realizzata per la stazione di servizio "Aquila" a Bologna (1958), in collaborazione con Giuseppe Vaccaro, si possono notare diverse similitudini con le opere di Torroja. Si tratta di una volta sottile, formata da doppie mensole, sorretta da quattro pilastri¹⁶² (fig. 18). L'opera richiama, in scala minore, le tribune dell'ippodromo di Madrid (1935) di Torroja costituite da una copertura a guscio iperbolico-paraboidale in cui "settori di iperboloidi ... danno la soluzione meccanicamente più soddisfacente"¹⁶³ (fig. 19); in sezione si percepisce che lo spigolo è più accentuato sui pilastri, dove le flessioni sono più elevate, mentre è minimo alle estremità dello sbalzo. Di quest'opera ne viene fatto un modello a grandezza naturale caricato fino alla rottura.

La verifica della resistenza di una struttura tramite modelli sarà una costante anche per Nervi che, negli anni Trenta e Quaranta, collabora con il laboratorio di Danusso a Milano per la verifica delle sue famose aviorimesse tramite modelli in celluloide. Anche Musmeci, per il ponte sul Basento a Potenza, utilizza un modello di due campate in scala 1:10 preparato all'ISMES di Bergamo (Istituto Sperimentale Modelli e Strutture), sottoposto a prove elastiche e a rottura.

In Spagna, Torroja progetta coperture a guscio veramente rivoluzionarie rispetto alle semplici strutture voltate. Lo stesso, alcuni anni dopo, pubblica *Razon y ser de los tipos*

¹⁵⁸ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁵⁹ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁶⁰ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁶¹ *Ibidem*.

¹⁶² In questo caso però Musmeci afferma che la soluzione progettuale appartiene a Vaccaro mentre lui si è limitato al calcolo delle quote per la definizione della sagoma esatta; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁶³ E. DE MEDIO 1962, p. 406.

*estructurales*¹⁶⁴, tradotto in Italia da Franco Levi con il titolo *La Concezione Strutturale*¹⁶⁵. Secondo Levi questo testo “reca un contributo decisivo all’impostazione di una moderna «filosofia strutturale», nell’ambito della quale l’interpretazione intuitiva del comportamento statico delle strutture dovrebbe costituire la base dei metodi didattici, la fonte d’ispirazione dell’attività progettuale”¹⁶⁶. Torroja, nel suo scritto, cerca di spiegare in termini più semplici, specialmente per gli allievi della facoltà di Architettura, i complessi schemi che stanno alla base della progettazione strutturale. Anche Torroja, come pochi altri in quel periodo, in un mondo ancora troppo conservatore in quanto a tecniche costruttive, capisce le vaste possibilità d’impiego del calcestruzzo armato, materiale molto “sensibile a piegarsi e adattarsi alle forme più diverse. I tradizionali materiali costruttivi ... potevano dirsi sostituiti da un elemento che insieme secondava e suggeriva nuove forme”¹⁶⁷. Egli afferma che fra tutti i materiali solo il cemento armato è capace “di resistere con piccoli spessori, formando la superficie avvolgente con inesauribili possibilità di forma”¹⁶⁸.

Gli hangar gemelli di Orly (Parigi, 1923) di Freyssinet degli anni Venti, distrutti durante la Grande Guerra, rappresentano un salto di qualità per le coperture di edifici, “non solo per le dimensioni ..., bensì per i quantitativi minimi, in metri cubi, di cemento impiegato per volume utile di costruzione”¹⁶⁹. Questi sono costituiti da una serie di archi parabolici di sezione sottilissima, di 9 cm, che collegati tra loro generano una sezione corrugata di ottima resistenza (fig. 20-21). Le volte di Orly sono le prime strutture piegate del mondo e “la loro concezione è stata utilizzata fino alla sazietà, applicata a ogni tipo di struttura. ... Freyssinet non solo agisce sulla qualità del cemento e diminuisce progressivamente il rapporto fra il peso della struttura e la resistenza, mentre risolve i problemi di resistenza mediante la forma stessa - specialmente a Orly - dando alle lastre un margine di rigidità alla flessione per resistere ai carichi variabili”¹⁷⁰. In quegli anni il cemento armato è “disprezzato e sconosciuto tranne che a pochi specialisti. Freyssinet poté dimostrare, fra il 1914 e il 1929, le sue possibilità universali”¹⁷¹.

¹⁶⁴ E. TORROJA 1955.

¹⁶⁵ E. TORROJA 1966. Musmeci prende come riferimento questo testo per le sue lezioni presso la facoltà di Architettura, nel corso “Ponti e Grandi Strutture”, ASMZZ, *Appunti dal corso di Ponti e Grandi Strutture (facoltà di architettura 1973-74)* 1973-1974.

¹⁶⁶ E. TORROJA 1966, p. VI.

¹⁶⁷ E. DE MEDIO 1962, p. 390.

¹⁶⁸ *Ibidem*, p. 403.

¹⁶⁹ A. FERNANDEZ ORDONEZ 1987, p. 51.

¹⁷⁰ *Ibidem*.

¹⁷¹ *Ibidem*, pp. 51-53.

Musmeci, specialmente durante i primi anni di attività professionale, progetta varie coperture pieghettate. La peculiarità di questo sistema costruttivo consiste nella resistenza della sottilissima soletta in c.a., di pochi centimetri di spessore, garantita dalla particolare forma pieghettata che assorbe le sollecitazioni flessionali; si tratta di un vero e proprio espediente per ottimizzare la materia. Egli adotta questo sistema non solo per la progettazione di coperture ma anche per le passerelle del foyer del teatro Regio di Torino (1966-1970), realizzazione più matura del sistema costruttivo riuscendo a coniugare contemporaneamente bellezza e struttura. Il teatro Regio di Torino viene progettato da Carlo Mollino; Musmeci interviene fin dalle prime fasi di progetto occupandosi delle strutture speciali, cioè quelle strutture che presentano implicazioni architettoniche o particolare rilevanza tecnica¹⁷²; egli realizza un sistema di passerelle caratteristico che crea un particolare spazio architettonico articolato a vari livelli (fig. 22-24): “la statica e tradizionale sovrapposizione di livelli visivamente non comunicanti, risulta squarciata e sostituita dal fluire continuo e dinamico dello spazio. ... In questo contesto architettonico si inserisce la soluzione strutturale, completamente espressa dalle superfici in cemento armato lasciate a faccia vista”¹⁷³. Nei grafici è evidente in che modo si passa da una semplice soletta nervata, in a), ad una struttura scatolare portante per forma (fig. 25); nella soluzione b) si cerca di dare alla soletta, tramite il corrugamento, una capacità portante abolendo le travi, dove si hanno sforzi di tensione negli spigoli inferiori e di compressione in quelli superiori; in c) vengono introdotti dei tratti orizzontali di soletta in cui si verifica uno sforzo di compressione costante, buona per il cemento armato; si passa poi alla soluzione d) per ottenere una superficie calpestabile¹⁷⁴.

Il progetto di Musmeci per il monumento ai Mille a Marsala (1960) ricorda molto i gusci di Heinz Isler che sono però posteriori (fig. 26-27): si tratta di una grande volta a vela sottile, di 80 m di luce, con tre ‘cunei’ di cui uno immerso nell’acqua (fig. 28). Sia Isler che Musmeci utilizzano spesso modelli di studio per ottimizzare la materia: “il primo a sostituire la compressione con la trazione in modelli fatti ... da fili tesi è stato Antonio Gaudi”¹⁷⁵ con i suoi sistemi antifunicolari e molti anni dopo, contemporaneamente a Musmeci, anche Isler e Frei Otto si dedicano agli stessi studi sui modelli. Isler disegna i gusci con modelli ribaltati di tessuto mentre Otto sperimenta le pellicole di sapone

¹⁷² S. MUSMECI 1977a, p. 885.

¹⁷³ *Ibidem*, p. 890.

¹⁷⁴ *Ibidem*, pp. 890-891.

¹⁷⁵ S. MUSMECI 1979, p. 44.

nell'Istituto per le Strutture Leggere di Stoccarda (fig. 29-30). Musmeci invece utilizza fogli di pellicola saponosa e membrane in gomma tesa (neoprene), materiali idonei a simulare le strutture sottili (fig. 31). Egli spiega che in tutti questi modelli “anziché tensioni di compressione, si hanno tensioni di trazione [ma] la forma che ne consegue è la stessa”¹⁷⁶. Tra i tanti risultati dell'attività di Musmeci emergono le ‘membrane a compressione uniforme’ che derivano proprio dagli studi sui modelli e che troveranno la maggiore esemplificazione nel ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) (fig.32).

I casi brevemente descritti rappresentano solo una minima parte dell'evoluzione delle strutture avvenuta nel corso del Novecento. Nei suoi scritti Torroja avverte che qualcosa sta cambiando: “Tali costruzioni sono come il presagio della rivoluzione che sta per manifestarsi in campo architettonico con l'adozione di un linguaggio di forme plastiche più aperto e più ampio, caratterizzato da una fecondità immaginativa che non si ritrova in nessun periodo della storia della costruzione”¹⁷⁷. Anche Musmeci auspica una sorta di rivoluzione nel campo della progettazione strutturale; nel suo caso, però, il desiderio è quello di arrivare a sviluppare una teoria delle ‘forme-limite’ o forme strutturali grazie alla quale i giovani progettisti possano arrivare a impostare forme ‘nuove’ e ‘moderne’, tali da non possedere alcun tipo di denominazione. La sua, spiega Musmeci, è una tendenza “a una teoretica basata sulla produzione di forme [che] sempre siano nuove, imparagonabili a quelle precedentemente già adottate”¹⁷⁸. L'obiettivo dell'ingegnere è, quindi, soprattutto un'organica espressività architettonica¹⁷⁹. La struttura, attraverso la sua forma, deve rivelare “con immediatezza i flussi delle forze interne che la percorrono e che non sono dunque rinchiusi e nascosti entro il volume di una morfologia concepita astrattamente, secondo pregiudizi estetici in cui gran parte della materia e dello spazio impiegati è del tutto superflua”¹⁸⁰. Ad un giovane progettista raccomanderebbe “di analizzare a fondo le possibilità tecnico-architettoniche di qualunque forma, di tutte le forme che gli possono venire in testa, per poter fare poi in questo campo una scelta e poter operare con un linguaggio veramente moderno”¹⁸¹. Nonostante esistano metodi di calcolo anche

¹⁷⁶ “Superfici minimali con bordi soggetti a sforzi normali puri, si ottengono facendo formare le pellicole liquide fra bordi costituiti da fili perfettamente flessibili, come fili di seta o di cotone. Si realizza così un sistema spaziale di minimo strutturale di grande interesse”; S. MUSMECI 1977b, p. 81.

¹⁷⁷ E. TORROJA 1966, p. 145.

¹⁷⁸ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹⁷⁹ M. NICOLETTI 1999, p. 5.

¹⁸⁰ *Ibidem*.

¹⁸¹ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

abbastanza sofisticati per dimensionare strutture già progettate, manca ancora una vera e propria teoria delle forme strutturali che aiuti a definirle¹⁸². Secondo Musmeci, infatti, uno degli aspetti più insoddisfacenti nell'uso della scienza delle costruzioni dipende dalla sua “esclusiva vocazione a verificare soltanto il grado di sicurezza di una costruzione che sia definita, non importa come, in ogni sua parte, mentre non gli si richiede quasi nulla che possa aiutare nella fase di scelta progettuale”¹⁸³.

Levi, nel testo tradotto di Torroja, afferma che non bisogna sopravvalutare la funzione dei calcoli statici in quanto può ledere le capacità creative degli allievi. In questo modo gli studenti scientificamente dotati potrebbero convincersi che la chiave della progettazione risieda nelle formule e sacrificano ogni idea originale per il rigore analitico. Mentre quelli più orientati verso l'irrazionale e l'intuitivo, che sono la maggioranza, tendono a spingere come anti-formativo ogni motivo scientifico e considerano la scienza delle costruzioni come un peso: “là dove Torroja afferma che: ... «Il tecnico privo di formazione e di senso artistici commette altrettante sciocchezze quante ne possono nascere dall'immaginazione dell'artista impreparato o privo di senso tecnico», oppure quando condanna l'originalità ricercata come un fine, invece che come giusta tendenza ad applicare principi sempre validi a problemi nuovi, egli sintetizza gli aspetti essenziali di una corretta ed equilibrata impostazione dei problemi legati al difficile connubio tra tecnica e arte”¹⁸⁴.

Musmeci arriva a definire l'idea di una vera e propria “filosofia della progettazione strutturale ben diversa da quella che generalmente presiede al lavoro dello strutturista”¹⁸⁵. Si tratta, quindi, di assumere appieno il controllo dell'intero processo progettuale. Lo strumento matematico, anziché semplice strumento di verifica, dovrebbe essere utilizzato come un mezzo per aiutare le scelte progettuali in modo da renderle più consapevoli e razionali. Queste le sue parole: “Vogliamo in definitiva meritare ed utilizzare la nostra libertà di progettisti; non la libertà di chi può andare dovunque ma non sa dove, ma quella di chi sa quello che vuole e sa pure come e dove andare a trovarlo. È in vista di questo che assume significato il lavoro di Maillart, di Torroja, di Le Ricolais, di Nervi, di Morandi, di Fuller, di Otto”¹⁸⁶.

¹⁸² ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁸³ *Ibidem*.

¹⁸⁴ E. TORROJA 1966, p. IX.

¹⁸⁵ S. MUSMECI 1979, p. 38.

¹⁸⁶ *Ibidem*, p. 40.

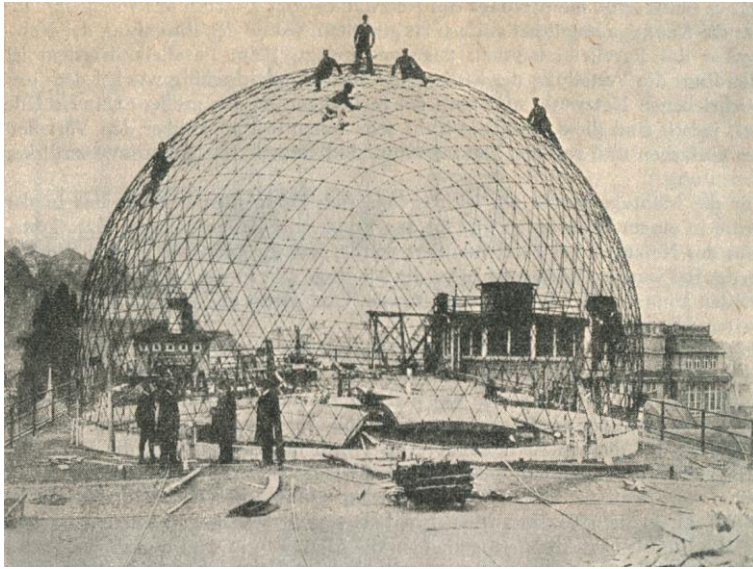


fig. 1 - F. Dischinger, cupola del planetario Zeiss, 1922 (G. GUNSCHER 1966)

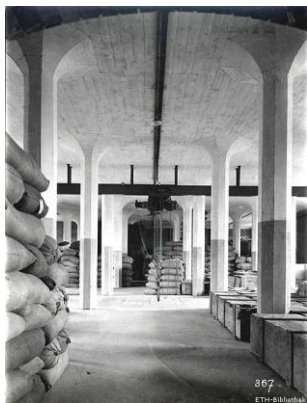


fig. 2 - R. Maillart, magazzino, Giesshubel, Zurigo, 1910
(<https://it.pinterest.com/pin,marzo/2015>)

fig. 3 - R. Maillart, magazzino, San Pietroburgo, 1912
(<https://it.pinterest.com/pin,marzo/2015>)



fig. 4 - R. Maillart, ponte sul Reno, Tavanasa, 1904-1905
(<http://www.engineering-timelines.com>, marzo/2015)



fig. 5 - G. Baroni, magazzino, Tresigallo, 1940 (*150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese* 2011)



fig. 6 - P. L. Nervi, C. Cestelli Guidi, lanificio Gatti, Roma, 1951 (<http://www.idnn.es>, marzo/2015)

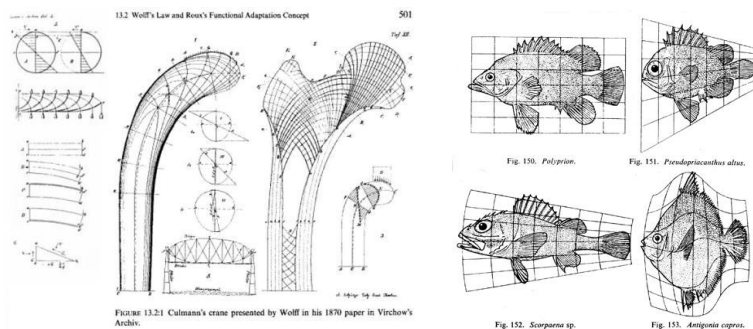


fig. 7-8 - D'Arcy Thompson, studi sulle strutture ossee (<https://spacesymmetrystructure.wordpress.com> e <http://www.iaacblog.com>, marzo/2015)



fig. 9 - F. Candela, pabellon de Rayos Cosmicos, 1951
(<http://revistapicnic.com>, gennaio/2015)

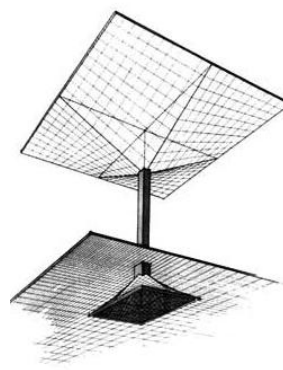


fig. 10 - F. Candela, prototipo di 'ombrellino', 1950 (F. GIOVANNARDI 2006)

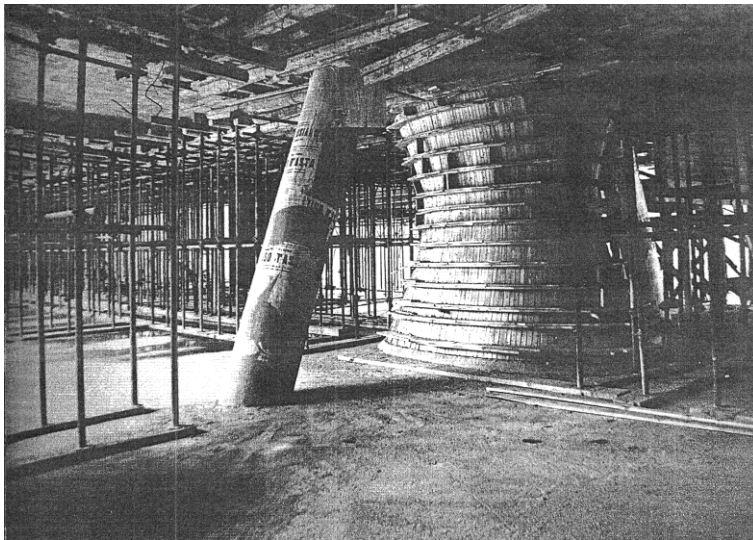


fig. 11 - S. Musmeci, pilastro a forma di iperboloide iperbolico a sezione ellittica nell'edificio della Giunta del palazzo della Regione, Trento, 1955-1962 (*Adalberto Libera, Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali* 2007)



fig. 12 - S. Musmeci, pilastro ad 'albero' nel palazzo Assessorati del palazzo della Regione, Trento, 1955-1962
(<http://www.vitatrentina.it>, novembre/2013)

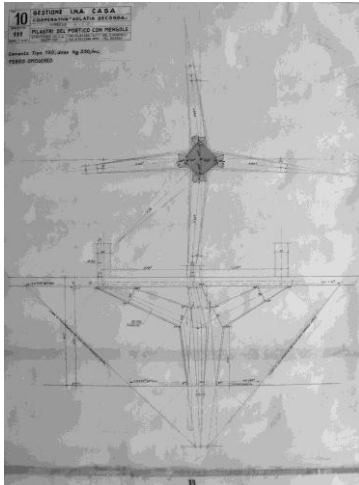


fig. 13 - S. Musmeci, pilastro a quattro 'braccia' nelle palazzine in via Vallombrosa, Roma, 1958-1959 (ASMZZ, *Tav. 10 - Pilastrì del portico con mensole*, disegno 4 31304 1)



fig. 14 - S. Musmeci, palazzine in via Vallombrosa, Roma, 1958-1959

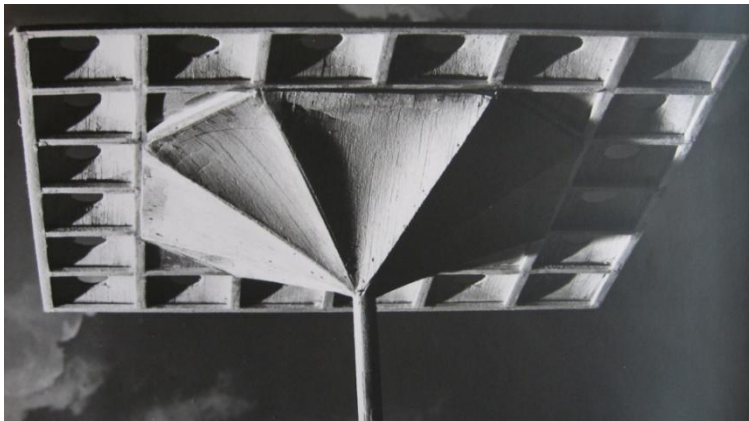


fig. 15 - S. Musmeci, pilastro ad 'ombrello' per il progetto del capannone industriale della Società Arrigoni, Cesena, 1964 (ASMZZ, foto F18515)



fig. 16 - S. Musmeci, la 'rete di travi' della sala conferenze della Biblioteca Nazionale, Roma, 1965-1971 (ASMZZ, foto F18493)

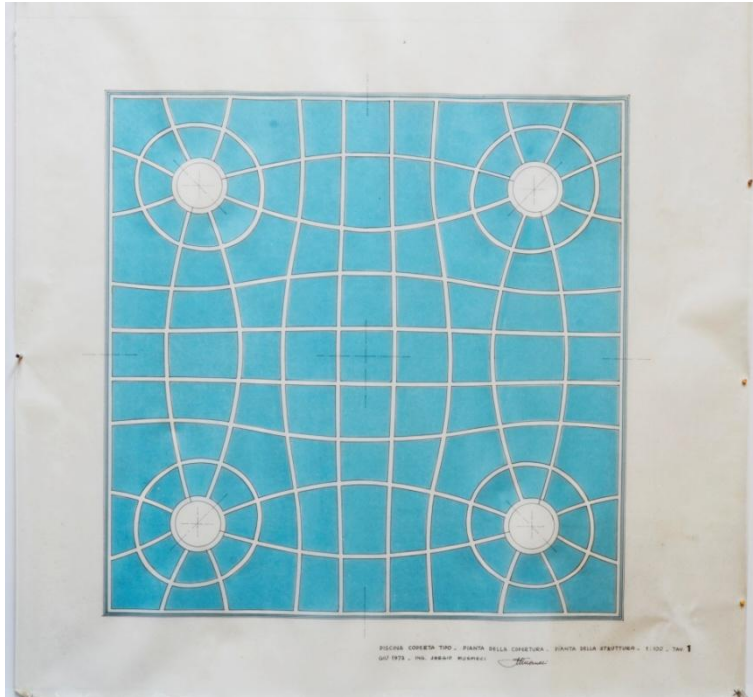


fig. 17 - S. Musmeci, progetto della piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale, Roma, 1973 (ASMZZ, *Piscina Coperta Tipo - Piana della copertura - Piana della struttura - 1:100 - Tav. 1*, disegno 31378)



fig. 18 - S. Musmeci, stazione di servizio "Aquila", Bologna, 1958 (ASMZZ, foto F009587)



fig. 19 - E. Torroja, tribune dell'ippodromo, Madrid, 1935 (<http://www.arch.mcgill.ca>, gennaio/2015)

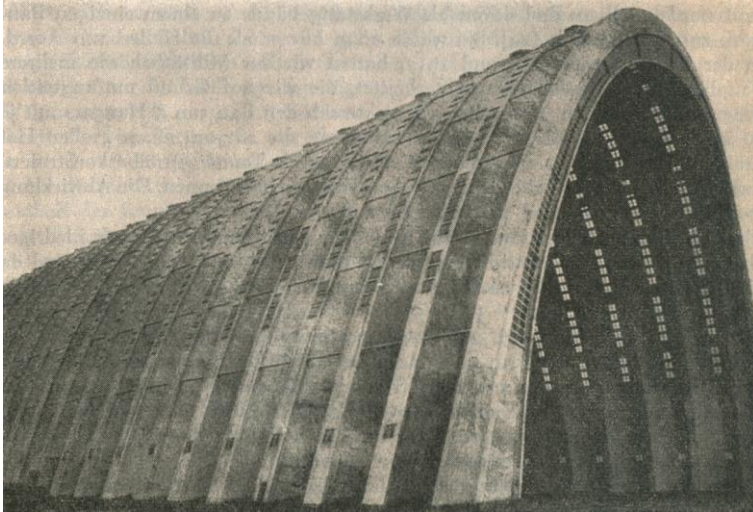


fig. 20 - E. Freyssinet, hangar gemelli di Orly, Parigi, 1923 (G. GUNSCHER 1966)

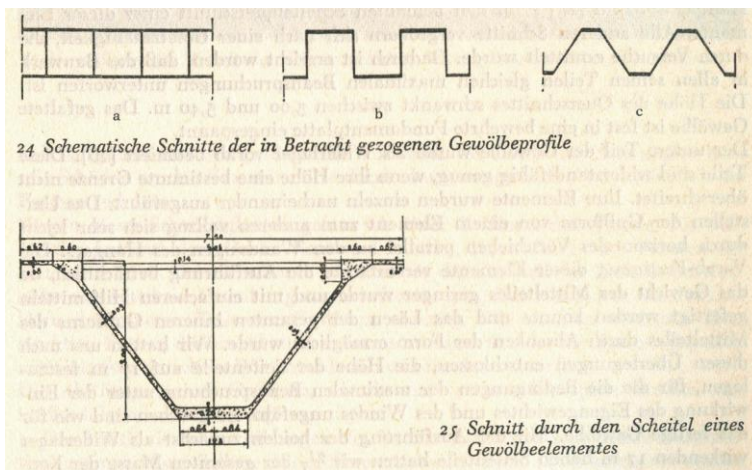


fig. 21 - E. Freyssinet, hangar gemelli di Orly, Parigi, 1923 (G. GUNSCHER 1966)

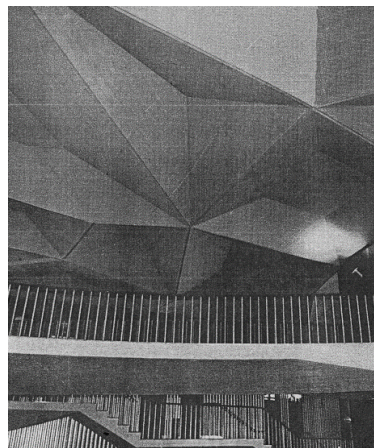
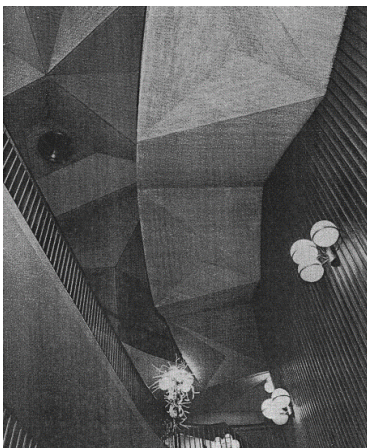


fig. 22-23 - S. Musmeci, passerelle del foyer del teatro Regio, Torino, 1966-1970 (S. MUSMECI 1977a)

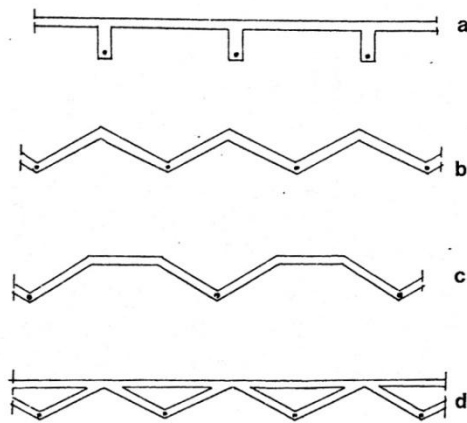
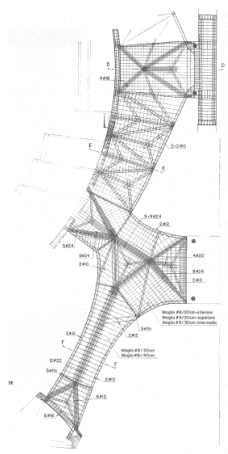


fig. 24 - S. Musmeci, passerelle del foyer del teatro Regio, Torino, 1966-1970 (S. MUSMECI 1977a)

fig. 25 - S. Musmeci, genesi delle passerelle del foyer del teatro Regio, Torino, 1966-1970 (S. MUSMECI 1977a)



fig. 26 - H. Isler, laboratorio di ricerca, Svizzera, 1968 (<http://www.panoramio.com>, marzo/2015)



fig. 27 - H. Isler, centro sportivo, Svizzera, 1982 (<https://fckestructural.wordpress.com>, marzo/2015)

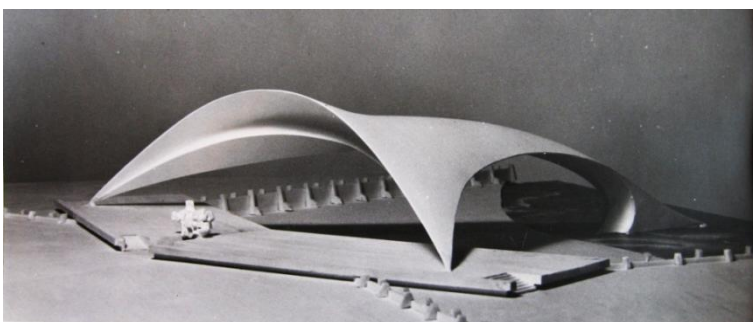


fig. 28 - S. Musmeci, progetto del monumento ai Mille, Marsala, 1960 (ASMZZ, foto F18511)

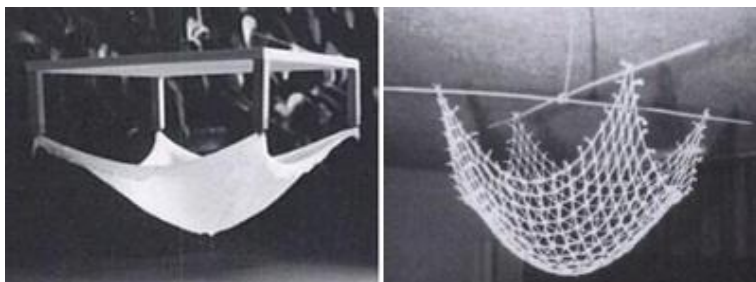


fig. 29 - H. Isler, esempi di modelli ribaltati di tessuto (<http://livemodern.com>), marzo/2015)

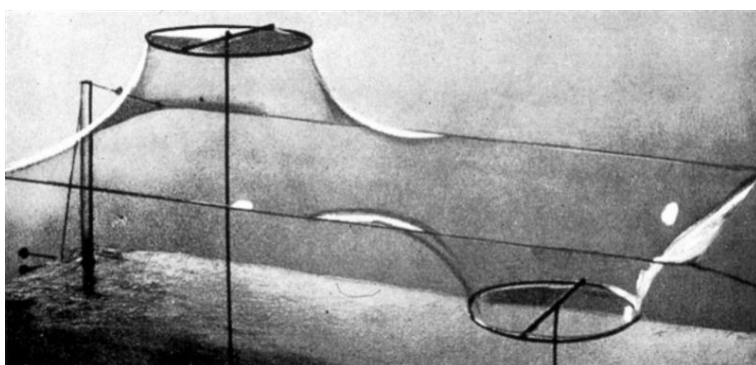


fig. 30 - F. Otto, esempio di modello in pellicola di sapone (<http://versdusilence.blogspot.it>, marzo/2015)

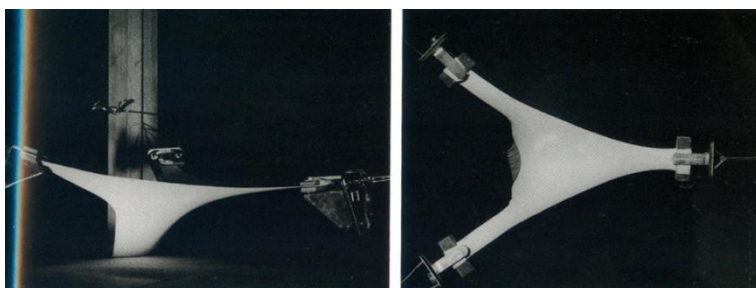


fig. 31 - S. Musmeci, modello in gomma tesa per il progetto del ponte sul Tevere a Tor di Quinto, Roma, 1957-1959 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

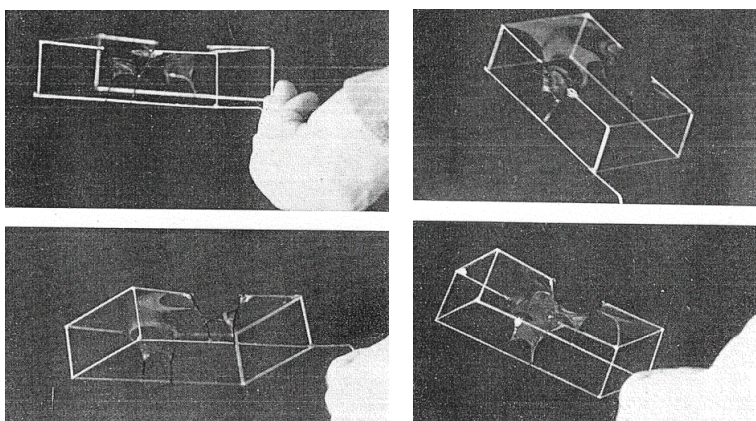


fig. 32 - S. Musmeci, modello in pellicola di sapone per il progetto del ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (S. MUSMECI 1977b)

- Capitolo Secondo -

**SERGIO MUSMECI: TRENT'ANNI DI RICERCHE ED ATTIVITÀ
PROFESSIONALE (1950-1980)**

2 PREMESSA

“Il risultato più importante del processo di progettazione di una struttura è essenzialmente una forma, che, mentre risolve il problema tecnico, diviene il mezzo di espressione del processo creativo che ha organizzato il materiale strutturale nello spazio”

S. Musmeci¹

In questo secondo capitolo viene descritta l'attività di Sergio Musmeci con particolare attenzione al ruolo che ha avuto nella sperimentazione del calcestruzzo armato attraverso la definizione di forme sempre 'nuove' e 'moderne'. La sua figura emerge negli anni immediatamente successivi a quelli trattati nel precedente capitolo, anche se rimane comunque ancora parzialmente in ombra rispetto ad altri protagonisti del Novecento. Il suo profilo professionale è breve ma intenso, a causa di un male incurabile che lo porta a scomparire prematuramente, all'età di cinquantquattro anni; attività però impegnativa perché costituita da trent'anni ininterrotti di ricerche, studi, progetti e realizzazioni.

Tra le principali sue elaborazioni teoriche si ricorda quella del 'minimo strutturale' e la ricerca di forme minimali ovvero soluzioni in grado di assolvere il ruolo strutturale impiegando una ridottissima quantità di spazio e materia; è proprio all'interno di questa ricerca che ritroviamo “il suo inedito impegno di strutturista”². Gli studi sulla forma ideale costituiscono il “frutto dello sforzo compiuto dall'ingegnere per inserirsi coerentemente nella modernità, metabolizzare la carica innovativa del pensiero scientifico novecentesco e rifletterne il portato nell'architettura; un compito verso cui egli si sente orientato proprio in virtù della «matrice scientifica» della sua formazione”³.

¹ S. MUSMECI 1974, p. 1.

² M. NICOLETTI 1999b, p. 5.

³ A. BRODINI 2013a, p. 309.

2.1 FORMA E STRUTTURA: LE FORME MINIMALI DI SERGIO MUSMECI

“Credo che qualunque strutturista che si rispetti ... deve rischiare: se non rischia, infatti, vuol dire che sta imitando, oppure ripetendo. Se vuole invadere un campo nuovo, deve necessariamente affrontare l'ignoto”

S. Musmeci⁴

Musmeci, più di altri, ha tentato di aprire nuove strade alla progettazione architettonica e strutturale attraverso l'impostazione di forme inedite, nuove configurazioni che, con le loro caratteristiche statiche ed espressive, potessero generare un vasto campo di possibilità. Strutture nate per dar vita ad una nuova fase dell'architettura moderna.

Per Musmeci la vera incognita è la forma che egli definisce il risultato più importante nel processo di progettazione di una struttura; a tale proposito, egli scrive: “La libertà dell'atto progettuale è una condizione ineliminabile per la genesi di una forma strutturale organica. Bisogna comprendere che il compito specifico di chi progetta una struttura non è quello di adottare una tipologia buona a tutti gli usi e verificarne poi con il calcolo il dimensionamento, bensì quello di produrre una forma che rappresenti la risposta più puntuale e coerente al contesto di dati e di obiettivi tecnici che ogni volta rinnovano la sfida dell'immaginazione”⁵.

Musmeci inizia i suoi approfondimenti sul tema sin dal suo percorso universitario con una tesi di laurea sulle volte sottili, strutture che resistono per forma alle sollecitazioni esterne; questo argomento lo interesserà per tutta la vita tanto da allontanarlo dai suoi ‘maestri’, Pier Luigi Nervi e Riccardo Morandi, per i quali, invece, la forma costituiva il dato intuitivo di partenza⁶, così come per la maggior parte dei progettisti del Novecento⁷.

⁴ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁵ S. MUSMECI 1974, p. 1.

⁶ M. NICOLETTI 1999b, p. 7.

⁷ Si tratta di una concezione ‘moderna’ del comportamento delle strutture diversa da quella di Nervi, di Morandi e degli altri progettisti a lui contemporanei; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

2.1.1 LA FORMAZIONE PROFESSIONALE

Sergio Musmeci (Roma 1926 - Roma 1981) è uno fra i più importanti ingegneri del panorama italiano, ma la sua figura professionale non è ancora riuscita ad emergere del tutto rispetto a quella di tanti altri protagonisti del Novecento. È soprattutto grazie al ponte sul Basento a Potenza (1967-1975), dichiarato nel 2003 monumento d'interesse culturale dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e dalla Soprintendenza Regionale della Basilicata⁸, che la figura di Musmeci inizia ad incuriosire e ad essere considerata dagli studiosi di architettura contemporanea. Egli, con le sue ricerche e sperimentazioni, vuole dare un nuovo inizio alla progettazione delle strutture. Alcuni suoi articoli, infatti, contengono precisi riferimenti per una nuova 'filosofia della progettazione strutturale' che "comporta anzitutto la riappropriazione del progetto. Non si tratta più di svolgere un servizio tecnico, ma di assumere il controllo del processo progettuale"⁹.

Secondo l'ingegnere, fino ad allora, la maggior parte dei progettisti del Novecento ha utilizzato il calcolo principalmente come verifica di strutture comunque assegnate anziché come mezzo per sintetizzare le forme¹⁰. Egli non comprende, infatti, "la ragione per la quale le incognite debbano essere sempre le tensioni interne e non per esempio i parametri geometrici che definiscono la forma stessa della struttura. ... Con questo metodo si può giungere alla sintesi di forme inedite e ricche di carica espressiva. È evidente che un tale risultato diviene massimo quando forma e contenuto praticamente coincidono"¹¹. Musmeci ritiene che, nonostante l'avvento del cemento armato abbia aperto numerose strade e reso possibili strutture di forma qualsiasi, siano andate "perse molte occasioni, limitando la scelta a forme geometricamente elementari come cilindri, sfere, conoidi o al massimo paraboloidi iperbolici. Gli architetti non controllavano la geometria differenziale e gli ingegneri che affrontarono negli anni trenta e quaranta il problema del calcolo delle volte sottili, si attardarono appunto sulle forme più semplici e non arrivarono mai a fornire indicazioni valide per la scelta delle forme in un ambito più vasto e più libero"¹².

È proprio questo che Musmeci 'rimprovera' ai progettisti del Novecento che, nella maggior parte dei casi, si sono adeguati a scelte progettuali 'semplici' e 'classiche' senza

⁸ C. PETRIZZI 2004, p. 65.

⁹ S. MUSMECI 1979d, p. 38.

¹⁰ S. MUSMECI 1980a, p. 784.

¹¹ *Ibidem*.

¹² S. MUSMECI 1979a, p. 40.

approfondire, studiare o creare forme veramente ‘moderne’¹³, quelle che l'ingegnere sperimenta e ricerca per tutto il suo percorso professionale. Egli nota che, nel corso del Novecento, vi è stata la tendenza ad elaborare schemi statici sempre più semplificati che, in alcuni casi, hanno guadagnato in essenzialità ed eleganza; l'ingegnere evidenzia, però, che nella maggior parte dei casi si è arrivati ad una “eccessiva riduzione delle possibilità di esprimere i fatti strutturali in atto nello spazio; in alcuni casi si può parlare di una totale rinuncia all'architettura”¹⁴.

Musmeci spiega che “non si può essere soddisfatti di un metodo progettuale che confini l'uso di strumenti razionali al solo processo di verifica, lasciando l'invenzione della forma ad atti progettuali gratuiti o assistiti solo dall'intuizione o dall'esperienza”¹⁵. Egli ritiene quasi ‘ridicolo’ tenere conto, al momento della verifica, del ritiro, della viscosità, delle variazioni termiche, della resistenza dei materiali e così via, e di non ricorrere ad una metodologia ‘razionale’, come quella con cui si effettuano le verifiche, per mettere in atto le scelte progettuali di base.

Gli ultimi due secoli, spiega Musmeci, sono stati caratterizzati da uno sviluppo senza precedenti delle conoscenze scientifiche, in seguito alla rivoluzione galileiana. Il risultato del progresso metodologico introdotto da Galileo, e sviluppato da Newton e dai loro successori, è stato “la graduale demolizione di millenarie abitudini mentali e pregiudizi, nel senso di sostituire a ciò che è ovvio, simmetrico e immobile ciò che è inaspettato, dissimmetrico e in movimento. ... Se il centro dell'universo non è la terra, si scoprirà presto che neppure il Sole lo è e che in realtà non vi è nessun centro in nessun luogo. L'universo non somiglia ad un palazzo simmetrico e “ordinato”, ... ma somiglia piuttosto ad un edificio organico, asimmetrico, dissonante e non finito”¹⁶. Pertanto, continua Musmeci, “se l'architettura moderna è caratterizzata dall'asimmetria e dalla rappresentazione sensibile di problemi più che di soluzioni, può dirsi che si tratta di caratteri in linea con gli analoghi caratteri del pensiero scientifico”¹⁷. Secondo l'ingegnere, quindi, i rapporti tra architettura e

¹³ “Questo dipende dal fatto che la maggior parte degli strutturalisti lavora, cioè inventa delle forme, sulla base di intuizioni e poi le verifica sulla base del calcolo. Generalmente ... pensando che non ci siano alternative in una casistica di forme classiche già acquisite”; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁴ S. MUSMECI 1980a, p. 775.

¹⁵ S. MUSMECI 1979d, p. 40.

¹⁶ S. MUSMECI 1979a, p. 38.

¹⁷ *Ibidem*.

pensiero scientifico esistono ed hanno radici profonde ma sono, al momento, solo potenziali¹⁸.

Quando si progetta ci si dovrebbe chiedere se una struttura, una forma, uno schema statico d'insieme possa essere considerato veramente moderno, cioè del XX secolo¹⁹. Musmeci definisce il suo ponte sul Basento, a Potenza, una costruzione veramente 'moderna', ma non riesce ad essere della stessa idea riguardo a qualsiasi altro ponte, costruito fino ad allora, o edificio, come ad esempio il palazzetto dello Sport, di Nervi, che egli ritiene una 'semplice' cupola, o il salone di "Torino Esposizioni", dello stesso progettista, che ritiene una 'classica' volta a botte²⁰. Questa sorta di 'classicità' che egli riscontra nelle opere di Nervi viene però in parte giustificata dalla sua formazione universitaria: "Questo, naturalmente, egli lo fa in parte per formazione (ricordiamo che si era laureato nel 1913) ma, in parte, per il desiderio di rendere più chiaro, leggibile quello che aveva fatto Questa semplificazione dello schema statico da parte di Nervi è compensata ampiamente dal procedimento costruttivo, che poi rimane denunciato nello spazio e che rappresenta il suo principale contributo all'architettura strutturale. Resta comunque tipica di Nervi un'impostazione d'insieme molto classica, che poi passa di colpo al dettaglio costruttivo, connesso alla prefabbricazione strutturale"²¹.

Quando Musmeci si riferisce a Maillart, invece, afferma che l'importante contributo che ha dato si è però fermato allo stato bidimensionale, mentre se si pensa al campo tridimensionale si possono trovare un'infinita possibilità di soluzioni formali: "L'idea statica di concentrare la resistenza a pressione nell'impalcato, per esempio correggendo l'arco dalla pressione, è un espediente costruttivo che si manifesta fino ad un certo punto nella realtà. Cioè si vede quest'arco sottile e si pensa che sia tutto dovuto al fatto che l'impalcato è molto resistente. In realtà, il marchinegno che protegge l'arco dalla pressione è abbastanza nascosto. ... Invece io penso che una struttura debba denunciarsi tutta e ogni parte che si vede deve essere della stessa importanza visiva del fenomeno fisico che rappresenta"²².

¹⁸ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹⁹ *Ibidem*.

²⁰ "Il ponte di Potenza, secondo me, è una struttura moderna, e non certo perché l'abbia fatta io, mentre non mi sento di considerare nello stesso modo moderno il palazzo dello sport di Roma o anche qualsiasi ponte costruito fino ad oggi. ... Se prendiamo il padiglione dell'automobile a Torino vediamo che si tratta di una struttura che nel suo complesso è classica (volta a botte)"; *ibidem*.

²¹ *Ibidem*.

²² Musmeci per i suoi progetti iniziali prende come riferimento i ponti di Maillart ma, a distanza di anni, ne critica alcuni aspetti. I suoi primi ponti, tra cui quello sull'Astico, "avevano il difetto che la forma delle volte era comandata dall'esigenza di irrigidirla, che è un fatto importante ma non importantissimo. Assumerlo a

Dalle sue parole si può facilmente scorgere una vena critica nei confronti dei progettisti del suo tempo; infatti, “escluse le opere eccezionali, si deve comunque dire chiaramente che l'architettura strutturale non è riuscita, nel suo complesso, a dare quel contributo allo sviluppo dell'architettura moderna, che forse ci si poteva aspettare e ciò non solo in Italia”²³.

Per comprendere come Musmeci sia arrivato alle sue teorie e convinzioni è necessario riferirsi alla sua formazione culturale e professionale. In un'intervista Carlo La Torre si chiede, infatti, se il suo modo innovatore di affrontare la progettazione delle strutture sia venuto a delinearsi durante la fase universitaria. Musmeci risponde negativamente: nella scuola di ingegneria si “partiva dall'ipotesi che la struttura fosse assegnata [e bisognava solo] inventare un metodo per calcolarla”²⁴. I problemi da risolvere erano di carattere puramente matematico e, secondo lui, non lasciavano quasi mai spazio all'invenzione di forme ‘alternative’. Ne è esempio la sua tesi di laurea che, anche se affronta il tema delle volte sottili, esamina però “aspetti strettamente tecnici da un punto di vista matematico che non lasciavano molto margine alla fantasia”²⁵. La passione per la ricerca di forme ‘nuove’, con rendimento ottimale, non nasce, quindi, dall'insegnamento impartito nelle scuole.

Musmeci spiega a La Torre che solo successivamente inizia a capire, “lavorando con Nervi e con Morandi, che c'erano altri aspetti della progettazione molto importanti”²⁶. Egli inizia, quindi, a sviluppare la sua particolare capacità progettuale subito dopo la laurea quando comincia a lavorare proprio presso i loro studi professionali. Dopo qualche anno, prima presso Morandi (1948-1950) e successivamente presso Nervi (1950-1953), si mette in proprio insieme alla moglie Zenaide Zanini iniziando un autonomo percorso professionale. Si distacca quindi dai suoi ‘maestri’ non solo professionalmente ma anche nel metodo progettuale da loro adottato ed affronta il tema della progettazione da un punto di vista decisamente ‘diverso’.

Musmeci ricorda con Manfredi Nicoletti come siano stati i suoi lavori iniziali: “Credo che i miei inizi siano stati tutti dovuti all'incoscienza della gioventù. Per esempio dovevo fare la copertura di un cinema²⁷ ed ho fatto una struttura ad archi incrociati, con sagome

protagonista della forma può sembrare eccessivo. C'è un certo squilibrio, in quel ponte, fra il significato delle parti e i ruoli che rappresentano”; *ibidem*.

²³ S. MUSMECI 1980a, pp. 780-781.

²⁴ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

²⁵ *Ibidem*.

²⁶ *Ibidem*.

²⁷ Si riferisce al cinema Araldo a Roma (1955).

non tradizionali Quando si trattò della palestra di Formia²⁸, ricordo benissimo che Nervi disse: “No, così non si può fare, non si regge”. Io partii (era quello il mio viaggio di nozze) e quando tornai trovai che i disegni non erano stati consegnati all'impresa; io, però, conoscevo già abbastanza il comportamento delle strutture per non tener conto dell'opinione di Nervi, sia pure autorevole: i disegni vennero mandati e vennero eseguiti. Se fu incoscienza o coraggio non lo so; comunque, secondo me, ogni strutturista deve avere una dose di coraggio non indifferente. Chi ce l'ha in sommo grado è Morandi: l'ho visto lavorare e ho potuto constatare che egli spinge le cose fino al limite della sua capacità di dominio sulla materia e che solo allora - quando ha raggiunto questo limite - si ferma”²⁹.

Musmeci viene definito dai suoi contemporanei un ‘genio’. La sua personalità e le sue capacità emergono fin da giovanissimo, tanto da raggiungere il diploma di maturità classica a soli 17 anni³⁰. Era il 1943, e nonostante tutte le difficoltà del periodo, sono gli anni della Grande Guerra (1940-1945), egli riesce comunque a studiare autonomamente le materie del biennio universitario comune a tutte le facoltà scientifiche³¹; queste le sue parole: “Ricordo che, quand'ero giovane, per via della guerra, ho dovuto aspettare un anno prima di entrare all'Università e, in quell'anno, ho studiato un po' “alla Rousseau”: mi sono procurato dei libri - magari a caso - di matematica e altro, e li ho letti traendone un succo mio personale senza limiti di tempo e di disciplina; ti assicuro che è stata un'esperienza formativa favorevole”³².

La passione, in comune con il fratello Alberto, per i corpi celesti e le leggi che governano l'universo si manifesta fin dall'adolescenza tanto da voler indirizzare i suoi studi verso l'astronomia; ma è il padre a spingere i due fratelli a frequentare la facoltà di Ingegneria, a quel tempo una delle discipline più ambite che offriva numerose possibilità professionali e lavorative³³. Nel 1944, finita l'occupazione tedesca, si iscrive alla facoltà di Ingegneria e, in un solo anno, conclude tutti gli esami del biennio. Frequenta così il triennio della Scuola di Applicazione per Ingegneri laureandosi, nel 1948, a soli 22 anni con una tesi

²⁸ Si riferisce alla palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (1953-1955).

²⁹ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

³⁰ Grazie alla madre Elide, Sergio salta la prima elementare alla scuola comunale Principessa Mafalda e prende la licenza elementare in soli tre anni; F. GIOVANNARDI 2010, p. 2; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

³¹ Da settembre del 1943 a giugno del 1944 Sergio rimane chiuso in casa per il pericolo delle retate causate dall'occupazione tedesca; *ibidem*, p. 3.

³² ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

³³ F. GIOVANNARDI 2010, p. 3; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

sulle volte sottili di tipo scatolare³⁴. È proprio in questi anni universitari che egli percepisce l'ambito di studio che caratterizzerà le sue ricerche future, quelle sulle forme minimali. Egli ricorda che, quando era studente, si era 'divertito' a determinare la forma dell'arco limite realizzato con la minima quantità di calcestruzzo non armato, cioè una struttura voltata che porta solo se stessa, ha uniforme resistenza, dato che sfrutta ogni cm^3 della materia, ed è costituito da una certa sagoma³⁵.

Come già anticipato, il giovane Musmeci, subito dopo la laurea, avvia la propria attività professionale in due studi dell'ingegneria italiana di grande prestigio: prima presso Riccardo Morandi e poi a fianco di Pier Luigi Nervi. Nel 1948 inizia a lavorare presso lo studio dell'ingegnere Morandi dove conosce Zenaide Zanini che sposa nel 1953; in questo breve periodo sono in corso i progetti per alcuni ponti³⁶, la centrale termoelettrica S.R.E. in zona San Paolo a Roma, il cementificio Calci e Cementi Segni a Scafa San Valentino e il cinematografo Espero in via Nomentana a Roma. Agli inizi del 1950 chiude il rapporto di collaborazione con Morandi ed inizia a lavorare per la Nervi&Bartoli; durante questo periodo sono in corso i seguenti progetti: il salone del casinò Kursaal ad Ostia, i magazzini per il sale di Tortona, il ponte sul Reno a Sasso Marconi, la manifattura Tabacchi a Bologna, il lanificio Gatti a Roma, la copertura delle terme di Chianciano e il palazzo dello Sport di Vienna. Nel 1953 intraprende, per un breve periodo, un rapporto professionale con l'architetto Antonio Nervi, figlio di Pier Luigi Nervi; insieme organizzano uno studio che, con la chiusura della Nervi&Bartoli, viene successivamente acquisito dallo stesso Nervi, che in precedenza era stato loro consulente. Tuttavia dalle ricerche è emerso che le prime opere attribuite a Musmeci risalgono agli anni Cinquanta e che, negli anni precedenti (1948-1950), non sembra esserci traccia di un legame professionale con Morandi; probabilmente il rapporto di collaborazione tra i due si limitava esclusivamente alla verifica delle strutture progettate da Morandi. Durante il periodo trascorso presso la Nervi&Bartoli

³⁴ Era una tesi molto tecnica e matematica redatta in parallelo ad un suo collega di università che invece stava studiando le volte cilindriche; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

³⁵ La luce limite è risultata di circa 1600 m mentre la forma è simile a quella di una parabola molto rialzata: "prendiamo un calcestruzzo normale, o quasi, che abbia per esempio una resistenza utile di 400 kg/cm^2 e che abbia un peso specifico di 2500 kg/m^3 . Se si calcola il rapporto fra la resistenza e il peso specifico, la luce limite risulta di 1600 m. Naturalmente occorre fare un arco molto rialzato"; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

³⁶ Ponte detto del Grillo sul Tevere presso Roma, ponte sul Fortore presso Serracapriola, ponte sull'Elsa presso Empoli.

(1950-1953), invece, egli elabora sei progetti³⁷, ma di questi lavori nessuno risulta essere impostato in collaborazione con Nervi; i relativi documenti d'archivio sembrano evidenziare che si tratta di incarichi esterni allo studio, frutto dell'attività privata di Musmeci o di collaborazioni con altri professionisti proprio negli anni in cui, però, collabora con Nervi.

Analizzando i documenti presenti in archivio, ed in particolare le due interviste rilasciate pochi mesi prima della sua scomparsa, quella di Carlo La Torre, del 7 Ottobre 1980, e quella di Manfredi Nicoletti, dell'11 Novembre 1980, emergono alcune specifiche indicazioni sul suo interesse per le forme minimali. Egli ribadisce più volte come le sue teorie siano iniziate grazie alla conoscenza e al lavoro svolto presso lo studio Nervi e lo studio Morandi. Musmeci spiega le ragioni della sua 'diversa' impostazione progettuale e costruttiva ricordando spesso che Nervi e Morandi sono stati i primi ad avergli fatto capire "come le forme delle strutture possano ... essere in accordo con gli equilibri statici, che occorre sapere dominare"³⁸. Prosegue spiegando che "in realtà ciò che si progetta non è la forma della struttura, ma l'equilibrio statico della struttura, dal quale la forma discende"³⁹.

Quando Musmeci parla di Nervi dice che: "il suo materiale preferito era il cemento armato, «il più bel sistema costruttivo che l'umanità abbia saputo trovare», e si è sempre battuto contro qualsiasi architettura che privilegiasse l'apparenza rispetto alla sostanza: «non si può dividere la bellezza dalla salute del corpo» diceva. Per lui la progettazione non poteva essere ricerca formale, ma lo sforzo cosciente di aderire ad una verità materiale fatta di equilibri statici e di processi costruttivi"⁴⁰. Egli riconosce a Nervi di aver avuto il merito di aver concepito delle 'sofisticate' prefabbricazioni strutturali in cemento armato, ma contestualmente ne critica le forme definendole 'neoclassiche'⁴¹. Spiega inoltre che Nervi, specialmente all'inizio della sua attività, "era molto interessato a ricercare equilibri statici inediti e ricchi di un potenziale di comunicazione visuale, [ma] ha più spesso, in seguito, preferito connotare con gli aspetti costruttivi le sue invenzioni strutturali: l'impianto statico d'insieme era volutamente semplice e spesso classico, mentre tutta l'invenzione risiedeva

³⁷ Ponte sull'Autostrada del Sole (1950), sala pubblica della Cassa di Risparmio a L'Aquila (1950-1953), ponte a Sasso Marconi (1950), mercato del pesce e scuola Professionale Marittima a Pescara (1951), ponte sull'Arno a Firenze (1953) e il palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954).

³⁸ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

³⁹ Egli ricorda che per diversi anni era "rimasto in bilico su questo concetto: siccome l'equilibrio è un fatto di forze e momenti, non [vedeva] come la geometria potesse poi intervenire. Invece la geometria interviene perché queste forze ... stanno in una certa posizione nello spazio"; *ibidem*.

⁴⁰ S. MUSMECI 1979b, pp. 5-6.

⁴¹ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

nella scomposizione della struttura in un gioco sapiente di elementi prefabbricati e quindi assemblati in opera secondo una logica completamente espressa nella luce”⁴².

Nel caso di Morandi, invece, siamo “generalmente in presenza di progetti caratterizzati da invenzioni strutturali di tipo statico; è l’equilibrio statico che viene pensato come il tema più importante”⁴³. Per quanto riguarda l’opera di Morandi ne evidenzia, quale punto di forza, la chiarezza espressiva e la leggibilità sottolineate dai nodi di attacco o da cerniere che rappresentano dei riferimenti per le intuizioni di chi osserva e dalla semplicità dei sistemi statici⁴⁴. La lettura delle sue opere è pertanto spesso facilitata dall’introduzione di questi elementi di nodo o connessione (cerniere o appoggi speciali) “che chiariscono il comportamento statico sottolineandone i caratteri più importanti”⁴⁵.

Musmeci spiega, invece, che la sua operatività è caratterizzata da forme ‘complesse’, “che non vengono capite, ma intuite”⁴⁶, secondo lui, le vere forme ‘moderne’. La sua ambizione è quella “di proporre forme per le quali non esistono ancora delle denominazioni, proprio in quanto nuove”⁴⁷. Cita, come esempio, il progetto per la copertura del cinema Araldo a Roma (1955), uno dei progetti giovanili, spiegando che questo genere di coperture a compressione uniforme appartengono ad una categoria di strutture non classificabili in modo ‘classico’⁴⁸. La struttura della copertura del cinema è caratterizzata da un sistema di archi equicompressi (fig. 1-2); gli archi, incrociandosi in un unico sistema collaborante, collegano in varie direzioni i punti sul perimetro dove erano previsti gli elementi di sostegno. I nodi di incrocio vengono ridotti al minimo grazie ad “opportune calibrature dei rapporti geometrici che caratterizzano la posizione dei sostegni”⁴⁹. Per la determinazione delle quote altimetriche, e quindi per la definizione della forma della copertura, Musmeci ribalta il procedimento per il calcolo della spinta dei vari archi. Viene, così, stabilito un valore identico per tutte le spinte (sistema equicompresso) ricavando le quote dei nodi come conseguenza di questa condizione. È risultata così “una forma d’insieme per l’intera copertura, assai più interessante e significativa di quella di una

⁴² S. MUSMECI 1980a, p. 780.

⁴³ *Ibidem*.

⁴⁴ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁴⁵ S. MUSMECI 1980a, p. 780.

⁴⁶ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁴⁷ *Ibidem*.

⁴⁸ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

⁴⁹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

volta tradizionale”⁵⁰. Si capisce, così, che la copertura del cinema Araldo, mai realizzata, è una forma ‘moderna’, per nulla assimilabile alle volte di tipo ‘tradizionale’⁵¹.

Musmeci cita più volte il palazzetto dello Sport, opera nota di Nervi, realizzato in occasione delle Olimpiadi di Roma del 1960⁵². Si tratta di una volta sottile costituita da piccoli tavelloni romboidali che costituiscono un’ottima cassaforma per il getto in opera del calcestruzzo rendendo così l’intera struttura come un’opera monolitica costruita in soli quattordici mesi. Musmeci ritiene, però, questa forma ‘classica’ e ‘tradizionale’, come già affermato in precedenza, infatti si tratta semplicemente di una ‘cupola’⁵³. Egli, qualche anno prima di Nervi, lavora personalmente ad un progetto di massima per la copertura del palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954). Nel suo archivio sono presenti alcuni elaborati grafici tra cui uno schizzo della sezione dell’intero complesso e la carpenteria di copertura che ben evidenzia il relativo sistema costruttivo (fig. 3-4); si tratta di una cupola in cemento armato con nervature disposte secondo tre famiglie di curve a spirale, che seguono il tracciato della *spira mirabilis*⁵⁴. Durante l’intervista con La Torre, Musmeci afferma che tali disegni derivano da uno schema di Annibale Vitellozzi, anche se in principio il suo progetto prevedeva “una forma della volta più rialzata con tendenza ad arrivare quasi verticale all’attacco”⁵⁵; tale sistema doveva creare una struttura non spingente, grazie al sistema di nervature che consentivano un comportamento a membrana completo. Era quindi presente l’idea di realizzare una forma a rendimento ottimale. Confrontando la proposta di Musmeci con quella realizzata di Nervi si nota come quest’ultimo potrebbe aver ripreso e modificato il progetto di Musmeci del 1953; si tratta, infatti, sempre di una calotta nervata ma con due sole famiglie di curve (fig. 5).

Musmeci durante l’incontro con Nicoletti ci tiene, però, a chiarire che le sue strutture si situano solo “in una posizione del tutto a se, anche rispetto alle più belle e certamente superiori realizzazioni di Nervi e di Morandi. ... Il ponte di Maracaibo di Morandi è una cosa enorme, importantissima; il ponte di Potenza è una proposta carina in cui l’interesse sta più nella proposta stessa che nel risultato. E la proposta è quella di tentare una via veramente moderna per la progettazione strutturale. Per moderna [intende] che una

⁵⁰ *Ibidem*.

⁵¹ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

⁵² Nervi in questo suo progetto utilizza quelle che sono state le sue invenzioni del dopoguerra sperimentate durante l’autarchia: il ‘ferrocemento’ e la prefabbricazione strutturale (brevetto 1939); T. IORI 2009, p. 24.

⁵³ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁵⁴ La *spira mirabilis*, ovvero la spirale meravigliosa, viene definita così dal matematico Jacob Bernoulli.

⁵⁵ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

persona che la vede possa dire: sì, questo è il risultato di un sistema di conoscenze caratteristico del XX secolo”⁵⁶.

Musmeci per spiegare la sua progettualità spiega quindi che, per progettare strutture di minimo volume, bisogna introdurre delle particolari equazioni la cui incognita è la forma della struttura ed i cui termini noti sono le forze esterne e la tensione massima che si intende adottare. “Queste equazioni servono per decidere in che direzione bisogna tracciare le linee strutturali. Così facendo, infatti, si ottiene il minimo”⁵⁷.

Tra le sue opere giovanili si possono contare diversi tentativi di ottimizzare la materia ma si tratta di tentativi ancora lontani dal fine che intende davvero ottenere e che sentirà di aver raggiunto solo con il viadotto di Potenza.

Musmeci parlando delle superfici membranali pieghettate, o corrugate, spiega che il pensiero statico “da cui sono scaturite tutte le realizzazioni di questo tipo (volte sottili curve o scatolari) è l’idea elementare che una soletta ondulata o corrugata è irrigidita in modo tale da divenire *autoportante* o, come anche si dice, *resistente per forma*”⁵⁸. Ma questa è una idea generica e vaga da non poter rappresentare una base per la progettazione della forma strutturale. “Il corrugamento, o ondulamento, è quindi solo la giustificazione della possibilità di un’intera categoria di strutture”⁵⁹. Da questo si capisce, spiega Musmeci, perché le volte sottili, che sono considerate fra le strutture più moderne e più aderenti alle possibilità del cemento armato, “difficilmente siano occasione per una vera architettura strutturale, intesa come architettura che trovi i propri mezzi espressivi unicamente o prevalentemente nel fatto statico”⁶⁰. Se si pensa, ad esempio, al tema della progettazione dei ponti, spiega Musmeci, si tratta di un tema strutturale allo stato puro e “come tale capace di stimolare una continua ricerca di nuove soluzioni anche sul piano dell’espressività formale”⁶¹. Nonostante ciò egli ritiene che abbiano svolto un ruolo sfavorevole le condizioni storiche in cui si sono trovati ad operare i maggiori progettisti del Novecento.

⁵⁶ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁵⁷ Si tratta di equazioni differenziali abbastanza complesse che hanno un altro termine noto ... : la quantità minima di materiale necessario a reggere quel sistema di forze” e, tale quantità, rappresenta un’invariante. Purtroppo, spiega Musmeci, i procedimenti utilizzati per la progettazione architettonica e strutturale adottati fino ad allora “sono ancora quelli dell’Ottocento: intuizione e poco più, dopo di che si instaura un processo di verifica di forme ormai già scelte, forme che però non possono essere molto diverse da quelle concepibili dall’architetto di un secolo fa, con l’unica differenza della disponibilità di mezzi d’opera e di materiali migliori”; *ibidem*.

⁵⁸ S. MUSMECI 1960, p. 711.

⁵⁹ *Ibidem*, p. 712.

⁶⁰ *Ibidem*.

⁶¹ S. MUSMECI 1980a, p. 775.

Infatti “le prevalenti ragioni di organizzazione industriale delle imprese, ... e in genere fattori di tipo strettamente economico, ... hanno quasi sempre finito con il condizionare le scelte progettuali introducendo una notevole rigidità nei riguardi delle innovazioni”⁶².

Nel 1953 Musmeci viene chiamato a prestare servizio militare frequentando il corso di ufficiale in aeronautica; si iscrive nuovamente all'università prendendo la sua seconda laurea in ingegneria aeronautica. Nel 1954, appena ventottenne, inizia a lavorare in proprio insieme a Zenaide Zanini, che aveva sposato l'anno precedente; questi sono gli anni in cui Musmeci, ancora giovanissimo, ottiene i primi incarichi importanti e realizza alcune strutture che evidenziano fin da subito il suo bisogno di dare alla materia una forma che sia in accordo con il contenuto statico della struttura.

Dall'intervista con La Torre emergono numerosi aspetti riguardanti i rapporti di collaborazione con alcuni dei principali architetti dell'epoca; tra questi sono spesso descritti i rapporti di collaborazione con Annibale Vitellozzi, Giuseppe Vaccaro, Adalberto Libera e Carlo Mollino. Alcuni di loro avevano grande stima delle sue potenzialità e cercavano di trarre il massimo dalle sue idee, come egli stesso afferma nell'intervista: “I miei colleghi architetti ... cercavano di utilizzare al massimo le mie capacità di invenzione strutturale”⁶³.

Riguardo le collaborazioni con Giuseppe Vaccaro vengono da lui descritte come degli incontri in cui si scambiavano una serie di idee, ‘abbastanza feconde’, che poi l'architetto tramutava in disegni architettonici⁶⁴. La maggior parte delle loro collaborazioni si collocano tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio del Sessanta, che sono i primi anni di attività in proprio di Musmeci. Dalle ricerche però non è emerso niente di particolarmente rilevante riguardo l'apporto che l'ingegnere può aver dato ai vari progetti; si è trattato quasi sempre di consulenze strutturali o di calcolo delle strutture. Tuttavia le collaborazioni con Vaccaro vengono definite da Musmeci come dei ‘casi limite’; la maggior parte delle cose erano definite dall'architetto in ogni dettaglio oppure, nella migliore delle ipotesi, si trattava di incontri in cui si scambiavano delle idee che poi Vaccaro trasformava in disegni⁶⁵. Tra

⁶² *Ibidem*.

⁶³ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

⁶⁴ Musmeci descrive Vaccaro come una persona molto riflessiva e razionale mista ad un lato poetico. Egli ricorda di come Vaccaro gli avesse spiegato che “la lettura di un'architettura avviene attraverso degli schemi geometrici invarianti rispetto ai movimenti nello spazio, per cui gli allineamenti per esempio sono importanti ... in quanto sono delle costanti che ... permettono la lettura dello spazio”. Vaccaro tra tutti è stato, secondo Musmeci, un architetto particolarmente sensibile a queste tematiche; *ibidem*.

⁶⁵ Musmeci racconta di come Vaccaro, prima di disegnare un progetto, avesse dei colloqui con lui “dai quali poi tirava fuori delle conseguenze, le disegnava e [gliel]e sottoponeva”, solo a quel punto Musmeci si occupava dei calcoli strutturali; *ibidem*.

queste opere si cita il nucleo sud del quartiere Ponte Mammolo a Roma (1957-1962) per il quale si occupa del progetto strutturale. Vi è poi la stazione di servizio “Aquila” a Bologna (1958), già citata nel primo capitolo. Si tratta di una volta sottile formata da doppie mensole bilanciate su pilastri per la quale Musmeci afferma che si tratta di un'opera in cui l'architettura e la struttura si identificano (fig. 6). Il progetto architettonico è di Vaccaro ma il contributo di Musmeci è stato quello di fornire le sagome esatte e le quote di tutti i punti della struttura⁶⁶. Nel 1960 Musmeci partecipa ad un concorso per la Biblioteca Nazionale di Roma (1960-1961) insieme a Vaccaro, Nicoletti ed altri; il loro progetto ottiene il primo premio per l'urbanistica ed il secondo premio ex aequo per l'architettura. Anche in questo caso Musmeci viene chiamato per occuparsi della progettazione strutturale. L'ultima collaborazione è costituita dall'ultima opera di Vaccaro; si tratta della chiesa di S. Gregorio Barbarigo a Roma (1970-1972), disegnata quando Vaccaro è già malato e completata dal suo allievo Gualtieri. La chiesa, aperta su una grande strada, la via Laurentina, viene chiusa all'esterno da ampie pareti di calcestruzzo (fig. 7); anche in questo caso Musmeci si è occupato dei calcoli strutturali.

La prima collaborazione con Annibale Vitellozzi, invece, ha riguardato il progetto di massima, già citato, per il palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954). In quegli stessi anni Musmeci realizza, insieme all'architetto, la copertura pieghettata per la palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (1953-1955). Questa struttura presenta una copertura a soletta sottile portante per forma, di 10 cm di spessore, formata da una serie di falde piane inclinate alternativamente in un senso e nell'altro (fig. 8). Quest'opera giovanile rappresenta un episodio particolarmente importante per la sua formazione professionale; Musmeci infatti racconta un aneddoto secondo il quale, seguendo il cantiere di quest'opera, rimane affascinato dal “disegno dei ferri disposti in modo da seguire le variazioni degli sforzi”⁶⁷. Purtroppo il getto di calcestruzzo “avrebbe in seguito nascosto quel disegno così significativo e questa circostanza [gli fa] comprendere che la forma della volta non seguiva abbastanza l'andamento naturale delle forze interne per poterlo esprimere visibilmente”⁶⁸. Nasce così, in lui, l'idea di “tradurre nella forma i contenuti statici, perché fossero espressi, denunciati”⁶⁹. Insieme a Vitellozzi partecipa anche al

⁶⁶ Musmeci si definisce, qui, uno strutturista e ritiene che questa collaborazione possa aver avuto riflessi successivi nel suo lavoro; *ibidem*.

⁶⁷ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁶⁸ *Ibidem*.

⁶⁹ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

progetto per i Mercati Generali di Roma (1958-1960); in questo caso il suo contributo è consistito nella progettazione di “alcuni punti di importanza strutturale notevole”⁷⁰ riguardanti il mercato del pesce e i plateatici per il mercato della verdura e della frutta; qui Musmeci progetta una volta sottile in cui la forma raggiunge un limite di efficienza grazie all'utilizzo di una soluzione a ‘membrana a compressione uniforme’ (fig. 9). Per il progetto per la copertura del ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma (1959) Musmeci studia anche qui una struttura corrugata, come quella di Formia, ma “completata da un sovrastante solaio orizzontale”⁷¹ che riprende successivamente per le passerelle del teatro Regio di Torino (1966-1970). Infine, viene chiamato da Vitellozzi, facente parte del gruppo vincitore del concorso per la Biblioteca Nazionale di Roma (1965-1971), per occuparsi del progetto delle strutture della biblioteca, già citato nel primo capitolo, in cui progetta, per la sala conferenze, una struttura a travi incrociate.

Riguardo le collaborazioni con Carlo Mollino si contano solo due progetti di cui uno realizzato. Il progetto per il concorso del palazzo del Lavoro a Torino (1959-1960), in cui ottengono il secondo premio, è la prima occasione di incontro con l'architetto. Su consiglio di Bruno Zevi si associano per quel concorso e presentano proposte diverse per la copertura. In particolare il progetto di Musmeci è basato sull'uso di volte sottili in calcestruzzo armato, di 8 cm di spessore, che consentono di ottenere sezioni sufficientemente rigide per forma⁷². Musmeci definisce il loro incontro come “un incontro molto fattivo, di collaborazione piena e di reciproca soddisfazione”⁷³. Il nuovo teatro Regio di Torino (1966-1970) invece, già citato nel capitolo precedente, vede Musmeci coinvolto nel progetto delle strutture speciali, quelle che presentano implicazioni architettoniche o particolare rilevanza tecnica⁷⁴. Gli architetti chiedono di poter usufruire della collaborazione di uno strutturista fin dalle prime fasi del progetto. Musmeci progetta “un sistema di passerelle volanti, che si librano nello spazio senza che vi siano pilastri di sostegno”⁷⁵ eccetto quelli disposti lungo il perimetro. Tale sistema di passerelle rappresenta “una caratteristica architettonica molto particolare del teatro e crea uno spazio inusuale molto

⁷⁰ *Ibidem*.

⁷¹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁷² “Date le dimensioni notevoli questo sistema di volte sottili si articolava con squarci e aperture per l'illuminazione”; la forte spinta della volta centrale era invece parzialmente contrastata da un sistema di tiranti in acciaio; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

⁷³ *Ibidem*.

⁷⁴ S. MUSMECI 1977b, p. 885.

⁷⁵ *Ibidem*, p. 890.

articolato e ricco di effetti prospettici”⁷⁶ (fig. 10-11). In questo caso la forma della struttura esprime in modo esplicito l'articolarsi delle soluzioni strutturali divenendo così il linguaggio che ne comunica il significato⁷⁷.

Una collaborazione particolarmente importante è quella avuta con Adalberto Libera per la realizzazione del palazzo della Regione a Trento (1955-1962), già citato. Musmeci, allora giovanissimo, riesce a progettare una serie di soluzioni strutturali che caratterizzano ancora oggi l'edificio ideato da Libera (fig. 12-13). Nella pubblicazione di Pogacnik si legge che Musmeci inizia ad essere coinvolto da Libera già dal 1955 quando questi inizia a lavorare al secondo progetto di massima. “La collaborazione tra i due progettisti deve essere stata caratterizzata dalla disponibilità di entrambi a mettersi al servizio delle idee dell'altro senza per questo rinunciare a delle vere e proprie incursioni nel campo disciplinare avversario in quanto il ruolo di Musmeci non fu semplicemente quello di dimensionare e calcolare strutture definite dall'architetto”⁷⁸. Appartengono infatti a Musmeci alcune soluzioni strutturali, descritte nel capitolo precedente, che hanno modificato l'idea iniziale. Queste le parole di Musmeci: “Nel complesso questa esperienza è servita a dimostrare, forse per la prima volta in una realizzazione di rilevante importanza architettonica, che il contributo del contesto strutturale, ... come espressione di equilibri statici non banali e di notevole impegno, può essere assunto come fattore determinante di un'architettura priva di complessi formali”⁷⁹.

⁷⁶ *Ibidem*.

⁷⁷ “È su questa filosofia, delle possibilità di una «architettura strutturale», che sono state basate le scelte progettuali che caratterizzano le passerelle”; *ibidem*.

⁷⁸ Adalberto Libera e Sergio Musmeci. *Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali* 2007, pp. 32-34.

⁷⁹ S. MUSMECI 1976, pp. 246-250.

2.1.2 IL MINIMO STRUTTURALE E LA RICERCA DELLA FORMA IDEALE

L'intera opera di Musmeci può essere sintetizzata in un unico obiettivo: la ricerca della forma⁸⁰. L'interesse di Musmeci è sempre stato rivolto “ai modi secondo i quali possono generarsi forme capaci di risolvere da sole i problemi progettuali”⁸¹. La forma diviene il mezzo con il quale trova soluzione il vero problema della progettazione “che è quello di conciliare l'insieme caotico dei dati in un unicum coerente ossia in definitiva in un organismo. Nello stesso tempo la forma diviene anche la rappresentazione sintetica della raggiunta soluzione. La forma è quindi insieme fattore risolutivo sul piano tecnico e veicolo di comunicazione sul piano espressivo; le due cose sono talmente connesse che ciò può spiegare perché realmente non si ottiene mai o quasi mai l'una senza l'altra”⁸².

Durante gli incontri con Nicoletti e La Torre, Musmeci espone alcuni concetti fondamentali da cui è partito per sviluppare la sua particolare progettualità. Nei suoi primi anni da progettista, quando è ancora molto giovane, avverte la presenza di un ‘paradosso’ nel modo di progettare comune. La maggior parte degli strutturisti, infatti, inizia la fase progettuale scegliendo a priori una geometria che poi viene verificata con i metodi di calcolo della scienza delle costruzioni; tale forma costituisce quindi un dato di partenza generato solo per intuizione ed esperienza. Musmeci ritiene quasi ‘irrazionale’ “affidare all'abitudine o anche alla semplice intuizione, la scelta della forma della struttura per poi passare all'impiego di metodi di calcolo molto sofisticati solo per determinare i dettagli e valutare il grado di sicurezza della struttura”⁸³.

Tutto ciò, ad esempio, non è stato compreso negli anni Venti e Trenta quando si sono costruite le prime volte sottili: “le forme venivano scelte tra le più semplici forme geometriche [senza trarre] le dovute conseguenze dai risultati dei calcoli che mettevano in evidenza distribuzioni di tensioni interne molto squilibrate, con disturbi flessionali di bordo, chiara denuncia della scarsa aderenza fra forma e regime statico”⁸⁴. Secondo Musmeci la geometria della struttura è la caratteristica più importante da ricercare e attraverso la quale la forma stessa può assolvere all'intero compito statico⁸⁵.

⁸⁰ M. NICOLETTI 1999b, p. 5.

⁸¹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁸² *Ibidem*.

⁸³ S. MUSMECI 1980a, p. 785.

⁸⁴ *Ibidem*, pp. 784-785.

⁸⁵ *Ibidem*, p. 785.

A Musmeci interessa in primo luogo la forma, o meglio la 'struttura limite', cioè "quando la resistenza della materia tende all'infinito e gli sforzi interni tendono a zero. Allora si ha una forma-limite che non dipende altro che dal sistema di forze esterne"⁸⁶ che deve essere assegnato.

Nicoletti inizia la sua intervista chiedendo a Musmeci di parlare dei suoi contributi alla scienza delle costruzioni. Musmeci racconta di come le sue ricerche siano iniziate, fin da giovane, con l'analisi delle equazioni cardinali della statica; tali equazioni dicono che, per un sistema in equilibrio, sia la risultante delle forze esterne che il loro momento, rispetto a qualsiasi polo, risultano pari a zero⁸⁷. È proprio questo sistema di forze esterne il punto di partenza per una progettazione razionale; la configurazione che il sistema di forze assume nello spazio, infatti, non è arbitraria ma deve rispondere ad una legge riassunta proprio nelle equazioni cardinali⁸⁸.

La vera incognita è come questo flusso di forze possa distribuirsi nello spazio e attraversare la materia della struttura plasmandone la forma; la vera incognita, l'elemento cruciale della progettazione strutturale, quando si cerca la minima quantità di materiale da impiegare, è la forma⁸⁹. Secondo Musmeci esiste "una sola *quantità minima di una determinata materia* con cui ogni struttura può essere realizzata, una volta definito il sistema delle forze esterne"⁹⁰ e tale caratteristica di 'invariante' si ricollega proprio al concetto di 'minimo strutturale'.

Musmeci introduce poi il concetto di 'azione statica', fattore molto importante per la determinazione delle soluzioni strutturali. Si consideri, ad esempio, un sistema formato da due soli punti che stanno ad una certa distanza. "Nelle equazioni cardinali alla statica, se si fa trasferire una forza lungo la sua retta d'azione, non cambia nulla"⁹¹, in questo modo, però, il sistema di forze viene trasformato in un altro sistema di forze, una struttura quindi diversa. "Se le due forze stanno ad una certa distanza [si può] introdurre una struttura con una certa quantità di materia. Se le due forze sono più vicine o più lontane, la quantità di materia richiesta è diversa"⁹²; è proprio dalla disposizione delle forze che attraversano la materia nello spazio, cioè dalla loro distanza, che dipende la quantità di materia necessaria

⁸⁶ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁸⁷ *Ibidem*.

⁸⁸ *Ibidem*.

⁸⁹ M. NICOLETTI 1999b, p. 8.

⁹⁰ *Ibidem*, p. 9.

⁹¹ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁹² *Ibidem*.

da impiegare e da cui quindi discende la forma della struttura. Questo concetto viene definito da Musmeci come 'azione statica' che è il prodotto della forza per la lunghezza lungo la quale viene trasferita da un punto all'altro. L'azione statica è quindi "proporzionale alla quantità di materia che viene richiesta per fare una struttura che occupa una certa regione dello spazio [ed] introduce anche un'idea di invariante"⁹³.

Musmeci, nell'articolo dal titolo *Premesse per una scelta razionale delle soluzioni strutturali*, propone una definizione per l'azione statica presente in una struttura e "mostra come questa grandezza traduca in termini quantitativi il concetto di utilizzazione strutturale della materia"⁹⁴. Musmeci cerca di dimostrare che l'azione statica dipende solo dal sistema delle forze esterne e non dalla forma della struttura; in conclusione "l'azione statica di un particolare sistema di forze in equilibrio, ha un ruolo di base nella determinazione di molte importanti proprietà statiche per le varie possibili strutture con cui si può pensare di sostenerlo, ed interessa quindi la teoria della progettazione, intesa come scelta ed invenzione di forme strutturali"⁹⁵.

Durante il colloquio con Nicoletti si sofferma, poi, sul concetto del 'minimo strutturale': partendo dal concetto di azione statica, tutte le strutture vengono distinte in due grandi categorie, "a) le strutture che possono essere realizzate con materiale solo compresso, o solo teso, e per le quali qualunque soluzione strutturale è equivalente perché questa quantità è una invariante; b) le strutture che hanno necessariamente e contemporaneamente materia compressa e materia tesa. In questo caso l'invariante è la differenza fra le due. Pertanto [si può] ridurre la quantità totale di materia, impegnata nella struttura, agendo o sull'una o sull'altra, poiché la differenza di esse rimane sempre costante"⁹⁶. Le strutture in cui si verifica la condizione di materia 'tutta compressa' o 'tutta tesa', cioè le strutture omogenee, non sono molte. La ricerca del 'minimo strutturale' diviene particolarmente importante per tutte quelle strutture, non omogenee, che invece

⁹³ Musmeci spiega che questi suoi contributi di carattere scientifico hanno un'azione indiretta sulla capacità progettuale: "quando si progetta una struttura, non si fa altro che distribuire nello spazio questa azione statica. ... è molto interessante osservare che, dato un sistema di forze da reggere con una struttura, esiste una regione dello spazio nella quale si viene a situare "la struttura di minimo": tutto quello che è fuori non serve"; *ibidem*.

⁹⁴ Musmeci, in particolare, giunge alla definizione dell'efficienza statica di ogni possibile soluzione strutturale, una volta assegnate le forze esterne da sostenere; S. MUSMECI 1966, p. 412.

⁹⁵ *Ibidem*, p. 414.

⁹⁶ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

presentano entrambe le sollecitazioni⁹⁷. Musmeci riesce a dimostrare quindi che, in tali strutture, “la differenza fra la materia compressa e quella tesa costituisce anch’essa un’«invariante»”⁹⁸, conoscendo il materiale da utilizzare.

Musmeci in diversi articoli di carattere scientifico spiega le sue teorie ed illustra quali sono le proprietà che devono caratterizzare le soluzioni di minimo volume; arriva così ad ottenere le equazioni dalle quali possono essere dedotte tali soluzioni qualora siano assegnate le forze esterne da sostenere⁹⁹. Musmeci ci tiene, però, a sottolineare che non è possibile fornire delle regole di validità universale per la soluzione del problema della progettazione strutturale, ma che è però legittimo ricercare delle basi concettuali che possano aiutare a rendere la progettazione delle strutture più consapevole e razionale; si tratta di spostare verso le radici del contenuto statico l’atto di invenzione e di scelta progettuale.

Quello che afferma Musmeci richiede quindi un “rovesciamento dell’attuale punto di vista del calcolo strutturale: il compito del calcolo non dovrebbe più essere quello (o solo quello) di fornire gli sforzi originati da date forze esterne in strutture di data forma, ma quello di indicare e addirittura produrre le forme che necessariamente conseguono a determinate scelte fatte sugli sforzi”¹⁰⁰. Musmeci, in questi articoli, riesce quindi a formulare in termini matematici il problema della determinazione delle strutture di minimo volume per un assegnato sistema di forze esterne. Il desiderio di Musmeci è che “la graduale soluzione di questi problemi, [porti] alla costruzione di una vera *teoria della progettazione strutturale* capace di contribuire alla scoperta o all’invenzione di nuove forme per le strutture”¹⁰¹.

Tutte queste teorie sulla ricerca di una ottimizzazione della forma geometrica della struttura si ricollegano, in un certo senso, al concetto di ‘rendimento’¹⁰². “Può sorprendere - afferma Musmeci - il fatto che fino ad oggi nessuno abbia mai sollevato questioni di questo genere, visto che in tutta la tecnica il motivo dominante è sempre quello del rendimento e

⁹⁷ Musmeci chiarisce che è solo quest’ultimo tipo di struttura “che solleva il grosso problema del minimo strutturale, trovare cioè la forma a cui corrisponde il minimo della materia compressa e il minimo della materia tesa”; *ibidem*.

⁹⁸ M. NICOLETTI 1999b, p. 12.

⁹⁹ S. MUSMECI 1968a, p. 407.

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 407.

¹⁰¹ Altri personaggi, prima di lui, hanno trattato la teoria del minimo strutturale, tra questi Maxwell (1869), Michell (1904), Foulkes (1953), Cox (1958) e Hemp (1958); *ibidem*, p. 414.

¹⁰² Il rendimento di una struttura viene definito da Musmeci come il rapporto tra la quantità di materia impegnata da questa struttura e quella minima indispensabile; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

della riduzione dei mezzi in funzione di un certo scopo. Invece, nel campo della progettazione strutturale, tutto questo è stato sempre assente. ... Il che può sembrare perfino ridicolo ad un esperto di un'altra disciplina. Sarebbe come se qualcuno dicesse: "Abbiamo studiato la termodinamica, l'abbiamo approfondita tutta, però non sappiamo dire qual'è il migliore rendimento di una macchina per un determinato sistema". In tutta la tecnica si parla sempre di rendimento: la tecnica, anzi, è appunto il modo di utilizzare razionalmente i mezzi a disposizione. Ebbene, nel campo della progettazione strutturale, tutto questo è assente"¹⁰³.

Un altro concetto, ugualmente importante, è quello della 'dimensione-limite' o 'forma limite' di una struttura; ogni materia possiede, infatti, delle dimensioni limite e, secondo Musmeci, tale tematica dovrebbe essere "parte integrante di qualsiasi teoria delle strutture"¹⁰⁴. Nicoletti, nella monografia su Musmeci, spiega inoltre che "se un edificio o un essere umano, mantenendo le loro proporzioni, venissero ingigantiti di due o tre volte, essi crollerebbero per effetto del loro stesso peso cui non corrisponde una forma adeguata"¹⁰⁵. Questo fatto è abbastanza chiaro osservando la natura, ad esempio gli alberi, e anche Galileo aveva espresso il fatto che ogni tipo di struttura ha un suo limite¹⁰⁶. Il processo progettuale, che è proprio di Musmeci, "è molto affine a quello che noi pensiamo sia l'operare della natura. Nella loro estrema varietà, infatti, le specie viventi esprimono sempre con chiarezza la loro funzione e la loro genesi formale utilizzando quantità indispensabili di materia. Questa è anche la ragione del loro spontaneo approdo a oggetti di intrinseca bellezza"¹⁰⁷.

Durante tutta la sua attività Musmeci ha tentato di dare qualche contributo in questa direzione sviluppando una "teoria del minimo strutturale fino alle equazioni che reggono la strutturazione dello spazio nel caso limite nel quale siano conosciute le forze esterne da sostenere"¹⁰⁸. Tale teoria non è però applicabile agevolmente per i casi più complessi che risultano di difficile schematizzazione.

¹⁰³ *Ibidem*.

¹⁰⁴ Musmeci chiarisce che il campo gravitazionale della Terra pone dei limiti dimensionali: "Supponiamo di dover usare una materia che pesa tot a m³. Nasce, allora, il discorso molto interessante delle dimensioni-limite. In un campo di gravità come quello della terra non si può fare un ponte grande quanto ti pare"; *ibidem*.

¹⁰⁵ M. NICOLETTI 1999b, p. 13.

¹⁰⁶ Galileo diceva che "se gli uomini fossero alti, per esempio, quindici metri, avrebbero avuto ovviamente una struttura completamente diversa"; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹⁰⁷ M. NICOLETTI 1999b, p. 5.

¹⁰⁸ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

Per Musmeci l'ideale sarebbe quello di “scrivere un libro sulle nuove forme strutturali che provengono da considerazioni di minimo”¹⁰⁹; in tal modo sarebbe possibile iniziare ad intravedere un procedimento razionale di produzione di forme ottimali da prendere come base concettuale per scelte in parte affidate all'intuizione.

Bisogna ricordare che Musmeci, oltre che ingegnere e progettista è stato, per diversi anni, professore incaricato presso la facoltà di Architettura dell'Università di Roma¹¹⁰. Un professore appassionato che teneva molto ai suoi studenti e che ha dedicato alla didattica gran parte delle sue energie¹¹¹ come testimoniano le parole del figlio Paolo: “Credo che sia interessante analizzare il suo modo di insegnare a noi progettisti ma anche come si rivolgeva a noi allievi, colleghi, amici, figli e anche nipoti, attraverso la sua appassionata attività didattica e divulgativa o semplicemente dispensatrice di educazione intellettuale. A metà degli anni '70 esistevano a Roma nella Facoltà di Architettura tre “aree” di studio per l'approccio al complesso tema della progettazione: i corsi degli istituti di composizione architettonica, i corsi degli istituti scientifici di Scienza, Tecnica e Tecnologia delle costruzioni e il corso (direi di teoria della progettazione) di Sergio Musmeci. ... Le proiezioni di immagini di opere o eventi creati in natura era una costante durante le lezioni. ... Si proiettavano: conchiglie, foglie, alberi, bolle di sapone, liquidi colorati in movimento per vedere le forme generate dalla loro interazione”¹¹².

Durante gli anni universitari, però, i rapporti di Musmeci con l'ambiente accademico risultano molto difficili. Solo Bruno Zevi, professore di “Storia dell'Architettura” e grande critico e studioso, gli starà sempre vicino offrendogli un posto all'Istituto di Critica Operativa. In un articolo per “L'Espresso” Zevi testimonia le difficoltà di Musmeci di inserirsi nell'ambiente universitario: “La corporazione universitaria, barricata nel conformismo delle “competenze” e indifferente a qualsiasi scandalo, lo respingeva in un recente concorso a cattedra. Accusa paradossale “troppo artista”. In sostanza rappresentava

¹⁰⁹ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹¹⁰ Da alcuni brevi cenni sulla sua carriera accademica si è potuto apprendere che dal 1956, quando è agli inizi della sua attività professionale, diviene docente nella facoltà di Architettura dell'Università di Roma, inizialmente con il ruolo di assistente del professor Tedone, alla cattedra di “Statica Grafica” e “Meccanica Razionale”. Dal 1968 ottiene l'incarico di insegnamento di “Meccanica Razionale” e l'anno dopo quello di “Ponti e Grandi Strutture”; F. GIOVANNARDI 2010, p. 10; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

¹¹¹ M. NICOLETTI 1999b, p. 28.

¹¹² P. MUSMECI 2004, p. 53-55.

un pericolo sia per gli ingegneri legati ad anacronistiche formule di calcolo, sia per gli architetti evasivi, necrofili, rifugiati nei trastulli post-moderni”¹¹³.

Dall'analisi di un documento d'archivio¹¹⁴, più precisamente un blocco di appunti dell'A.A. 1973-1974, appunti presi probabilmente da uno dei suoi allievi di Architettura, è possibile evincere come egli spieghi ai suoi studenti quelle stesse teorie sul 'minimo strutturale' e sulla 'forma ideale' che porta avanti nella sua attività professionale da anni; si percepisce quindi la passione per quello che studia e applica e la voglia che ha di trasmettere il suo sapere agli allievi. Qui si osserva che Musmeci, oltre a trattare argomenti di carattere scientifico e matematico, cerca di trasmettere questa nuova filosofia progettuale affinché i suoi allievi arrivino a scelte progettuali più consapevoli e razionali. In questi appunti, inoltre, sono presenti alcuni dei suoi progetti che illustra come ausilio per spiegare il modo in cui egli stesso affronta la ricerca della forma, cercando di risolvere i problemi caso per caso. Il desiderio di Musmeci è quello di formare gli studenti affinché siano veri e propri progettisti, intendendo per progettista quella figura professionale creatrice edotta sui fattori statici e pienamente cosciente delle ragioni che danno forma ad un progetto; ciò si può ottenere attraverso l'unione del sapere architettonico e di ingegneria civile¹¹⁵.

Torroja anticipa, in un certo senso, i desideri di Musmeci; ciò è chiaro nel suo testo, già citato nel primo capitolo, dal titolo *Razon y ser de los tipos estructurales*. Anche Torroja, proprio come Musmeci, vuole dare agli studenti di Architettura un nuovo metodo per la progettazione architettonica. Secondo Franco Levi questo testo reca infatti un contributo decisivo all'impostazione di una moderna 'filosofia strutturale'¹¹⁶. Tutta la letteratura tecnica d'ingegneria civile, spiega Torroja, “annovera centinaia di opere sul calcolo delle strutture; rari sono invece i volumi dedicati all'illustrazione dei caratteri generali dei vari tipi strutturali, allo studio delle ragioni fondamentali che li determinano o dei criteri sui quali deve fondarsi la scelta della soluzione più adatta. Mancano, in altri termini, dei trattati nei quali siano raccolte le idee direttrici che devono guidare il progettista all'inizio del suo lavoro, quando egli si accinge ad applicare i principi che la sua mente ha faticosamente assimilati, e sul contenuto dei quali egli si sofferma raramente a riflettere. ... Il calcolo non è

¹¹³ B. ZEVI 1981b; in F. GIOVANNARDI 2010, p. 10; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

¹¹⁴ ASMZZ, *Appunti dal corso di Ponti e Grandi Strutture (facoltà di architettura 1973-74)* 1973-1974.

¹¹⁵ “Solo così si può sperare che i più dotati di immaginazione possano intravedere nuove vie e nuove soluzioni, senza le quali tutta l'attività progettuale è destinata a stagnare o a regredire verso l'accademia e il conservatorismo”; S. MUSMECI 1980a, p. 783.

¹¹⁶ E. TORROJA 1966, p. VI.

che uno strumento atto ad accertare se le forme e le dimensioni di una costruzione, semplicemente immaginata o già realizzata, sono atte a sopportare i carichi ai quali essa sarà sottoposta. Esso è soltanto una tecnica operativa che consente di passare, dalla concezione astratta del fenomeno resistente, al risultato numerico e concreto che risolve un particolare problema”¹¹⁷. Torroja, nel suo testo, parla di una lacuna di cui soffre la letteratura moderna e forse questa sua trattazione potrebbe essere l’inizio per indurre altri a parlare e scrivere sul tema. Si nota, quindi, come il suo pensiero sia molto affine all’idea di Musmeci di “arrivare a produrre una teoria delle strutture che sia la base della progettazione”¹¹⁸. Il testo di Torroja viene ripreso proprio da Musmeci per le sue lezioni ad Architettura per il corso “Ponti e Grandi Strutture”, come è testimoniato negli appunti del corso¹¹⁹.

Musmeci, riprendendo un’affermazione di Carlo Mollino che definisce la storia dell’architettura “un’illustre guerra contro il peso della materia”¹²⁰, accenna al fatto che fin dal passato si è sempre cercato di raggiungere un alleggerimento della materia strutturale. Pensando in particolare all’architettura gotica, nelle cattedrali l’utilizzo della pietra compressa impiega il materiale lapideo sin quasi al suo limite di rottura ed è proprio la forma stessa a giocare un ruolo primario¹²¹. Il guadagno rispetto al peso strutturale è stato, quindi, una costante della storia e del progresso costruttivo¹²²; i contenuti strutturali, infatti, durante tutta la storia dell’architettura hanno sempre svolto “un ruolo determinante sulla sintesi delle forme”¹²³. “Se si ripercorre tutta la storia dell’architettura rilegendola dal punto di vista della componente statica, se ne trae l’impressione di un’unica grande esperienza nella quale l’umanità si è impegnata attraverso i secoli, a volte consapevolmente e più spesso inconsapevolmente, nella creazione di forme capaci di esaltare le possibilità struttive della materia seguendo un’antica e profonda vocazione umana, l’intelletto e

¹¹⁷ *Ibidem*, p. 1.

¹¹⁸ ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹¹⁹ ASMZZ, *Appunti dal corso di Ponti e Grandi Strutture (facoltà di architettura 1973-74)* 1973-1974.

¹²⁰ Musmeci è convinto del fatto che “se dovesse rinascere un architetto del passato, a cominciare da Ictino in poi, probabilmente in una intervista ci parlerebbe molto più dei suoi problemi di carattere costruttivo e statico che della scelta nella scanalatura delle colonne!”; ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

¹²¹ “I caratteristici archi ogivali sono infatti più adatti di quelli a tutto sesto a trasmettere sollecitazioni semplici di compressione anche sulle colonne portanti, tendendo a riportare sulla verticale la risultante delle forze, e così sono gli archi rampanti che, assorbendo le spinte laterali, mantengono il sistema essenzialmente soggetto a sforzi di pura compressione”; M. NICOLETTI 1999b, p. 14.

¹²² Nella storia della progettazione strutturale una costante è sempre stata la ricerca di soluzioni con volume di materia sempre minore ed un utilizzo più efficiente del materiale; vi era quindi il desiderio di controllare con consapevole intelligenza l’impiego della materia; S. MUSMECI 1968a, p. 407.

¹²³ S. MUSMECI 1980a, p. 781.

l'immaginazione hanno cercato per migliaia di anni di attingere forme limiti sempre più raffinate secondo le quali vincere nello spazio il peso inerte della materia. Si è passati dal menhir al dolmen, e al tempio architravato, dall'arco alla volta, alle cupole e ai sistemi di volte, dalle capriate ai telai, e i reticoli spaziali, alle volte sottili, alle cupole geodetiche, alle tensostrutture. Ad ogni progresso della capacità di dominare equilibri sempre più complessi, il tema statico si è riproposto come stimolo di nuove forme e dunque come occasione di architettura”¹²⁴.

Già in passato, quindi, “gli elementi linguistici più importanti e tipici dell'architettura hanno quasi sempre avuto una matrice statica”¹²⁵. Oggi invece, afferma Musmeci, il peso relativo della componente statica si è decisamente ridotto per l'ampliarsi degli interessi materiali, sociali e culturali e per la tendenza a ricercare elementi linguistici di facile acquisizione, di impiego immediato e di rapido consumo. La conseguenza è stata “una perdita di chiarezza sul piano linguistico, una certa gratuità di molte scelte progettuali e, spesso, una minore accessibilità critica dei significati”¹²⁶.

¹²⁴ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹²⁵ *Ibidem*.

¹²⁶ *Ibidem*.

2.2 LE RICERCHE E L'ATTIVITÀ PROFESSIONALE

“Qui vorrei, più modestamente, mostrare alcuni tentativi da me fatti, per mettere a punto processi progettuali di vario tipo ed importanza, aventi però tutti in comune una particolare scelta di fondo: ... ho cercato di produrre delle forme partendo sempre da scelte fatte sulle forze e sulle tensioni”

S. Musmeci¹²⁷

Nonostante la scomparsa prematura all'età di cinquantquattro anni, l'attività professionale di Musmeci risulta molto ricca e intensa. Se contiamo i primi progetti elaborati autonomamente durante il periodo di apprendistato nello studio Nervi (1950-1953), in particolare il progetto di un ponte sull'Autostrada del Sole (1950), possiamo affermare che la sua carriera è durata esattamente trent'anni, dal 1950 fino al 1980, anno in cui gli viene diagnosticato il tumore al cervello che lo porterà alla morte il 5 marzo 1981.

Per comprendere meglio l'enorme attività professionale di Musmeci è stata elaborata una tabella dei progetti e dei lavori realizzati indicandone l'anno, il luogo, la tipologia dell'opera, il tipo d'intervento, i professionisti con cui ha collaborato ed i committenti¹²⁸.

Dall'analisi effettuata è emerso che l'attività professionale di Musmeci conta più di centoquaranta lavori di cui circa cinquanta effettivamente realizzati. Tali progetti interessano quasi tutto il territorio nazionale e sono numerose le tipologie da lui progettate; l'elenco delle sue opere comprende trentacinque edifici residenziali (palazzine in via Vallombrosa a Roma (1958-1959), villa Russo a Forio d'Ischia (1961-1965), villa Musmeci a Formello (1973-1975)), venticinque opere infrastrutturali (ponte sull'Autostrada del Sole (1950), ponte sull'Astico a Vicenza (1956), ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959), ponte sul Lao a Laino Borgo (1964), ponte sul Basento a Potenza (1967-1975), ponte sullo Stretto di Messina (1969), ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano a Latina (1975-1976), ponte urbano sul Talvera a Bolzano (1978-1980), viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980)), trentaquattro edifici terziari (palazzo della Regione a Trento (1955-1962), stazione di servizio “Aquila” a Bologna (1958), Mercati Generali di Roma (1958-1960), palazzo del Lavoro a Torino (1959-1960)), dieci edifici per lo sport (palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954), palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (1953-1955), palestra del CONI a Frosinone (1958), ristorante

¹²⁷ S. MUSMECI 1979d, pp. 40-42.

¹²⁸ La tabella sull'attività professionale di Musmeci si trova negli “Apparati”.

dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma (1959), palazzo dello Sport a Firenze (1965-1966), palazzo dello Sport a Milano (1969), piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma (1973)), dieci edifici religiosi (cappella dei Ferrovieri a Vicenza (1957-1958), chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960), tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste (1960-1967), chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972)), undici edifici industriali (stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta (1956), capannone industriale della Società Arrigoni a Cesena (1964)), sette edifici per lo spettacolo (cinema Araldo a Roma (1955), cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore (1957), passerelle del foyer del teatro Regio di Torino (1966-1970)), quattro edifici di carattere culturale (sala conferenze della Biblioteca Nazionale di Roma (1965-1971), padiglione italiano per l'EXPO 70 di Osaka (1969-1970), padiglione Oikos a Bologna (1978-1980)), tre monumenti (monumento ai Mille a Marsala (1960), monumento alla Resistenza a Cuneo (1962)) e un intervento su un'architettura monumentale riguardante la semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio a Roma (1961-1962). Tra questi solo quindici progetti sono stati elaborati fuori dall'Italia; si tratta principalmente di ponti e viadotti, tra cui il viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran (1975-1976) e il ponte sul Niger ad Ajaokuta in Nigeria (1977), ed alcuni edifici come l'auditorium del Centro Atomico di Bombay in India (1960-1961), il progetto per il palazzo dell'Aria e dello Spazio a Parigi (1967) ed il progetto del grattacielo Elicoidale a New York (1970).

In un documento di archivio, un testo dattiloscritto¹²⁹ negli ultimi anni della sua vita, Musmeci seleziona alcune sue opere, realizzate e non, appartenenti alla sua intera attività professionale. Come egli stesso spiega nell'introduzione di questo testo, dal titolo *Struttura e Forma*, la scelta delle seguenti opere è motivata dal fatto di voler trasmettere ai posteri, tramite alcuni esempi, il frutto della sua particolare e personalissima progettualità. Le opere da lui selezionate e classificate in cinque categorie rispecchiano le sue ricerche in campo architettonico e strutturale che lo hanno portato a differenziarsi nettamente dalla cultura architettonica e dai progettisti del suo tempo.

“La ragione per la quale si pubblicano le immagini che formano questo libro - spiega Musmeci - risiede nel desiderio di comunicare a mezzo loro le idee che sul mio lavoro ho maturato negli anni nella speranza che, in un ambito più vasto di interlocutori, esse possano essere verificate e, se valide, svilupparsi ed evolversi. Guardando indietro, ai trent'anni trascorsi da quando ho incominciato, credo di poter dire di aver sentito, spesso

¹²⁹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

inconsapevolmente, che un obiettivo che valeva la pena cercare di raggiungere, fosse quello di testimoniare attraverso le forme progettate, quel particolare retroterra culturale di matrice scientifica che la mia storia personale mi aveva dato, così diverso peraltro dalla cultura architettonica corrente”¹³⁰.

Tutti i suoi progetti, realizzati e non, hanno in comune una particolare scelta di fondo: produrre delle ‘forme’ partendo da scelte fatte sulle forze e sulle tensioni. Queste ultime sono considerate, per quanto possibile, dati di progetto mentre le variabili geometriche che definiscono la forma della struttura sono le vere incognite da ricavare¹³¹. Quello che succede solitamente, invece, è considerare come ‘note’ tutte le grandezze che descrivono la geometria della struttura mentre le incognite da ricercare diventano le tensioni e le deformazioni. In realtà, spiega Musmeci a sostegno della sua tesi, “i risultati che interessano sono i valori massimi delle tensioni e, a volte, i valori massimi di alcune deformazioni. Questi valori debbono essere inferiori a certi valori assegnati e quindi già noti, ed è però auspicabile, per ragioni di economia, che si avvicinino ad essi il più possibile. Il calcolo di una struttura è, in questo senso, un calcolo di verifica”¹³². Pertanto “le nostre incognite sono delle ben strane incognite, dato che già ne conosciamo in partenza i valori e dato che il calcolo che sviluppiamo serve a verificare che effettivamente esse abbiano proprio quei valori”¹³³. Invece le vere incognite dovrebbero essere considerate “i dati geometrici che descrivono il dimensionamento della struttura; sono loro che debbono essere calibrati fino a ottenere le tensioni che si sono prefissate”¹³⁴.

Le sue opere vengono di seguito classificate sulla base di caratteristiche costruttive comuni che rispecchiano proprio le sue ricerche. Musmeci suddivide questo testo in una serie di capitoli intitolati in base alla classificazione che egli dà alle opere da lui selezionate: volte corrugate, reti di travi, sistemi equitensionali, membrane a compressione uniforme e strutture reticolari spaziali.

¹³⁰ *Ibidem*.

¹³¹ S. MUSMECI 1979d, pp. 40-42.

¹³² *Ibidem*, p. 38.

¹³³ *Ibidem*.

¹³⁴ *Ibidem*.

2.2.1 LE VOLTE CORRUGATE

La prima classificazione riguarda le ‘volte corrugate’, che sono quelle superfici membranali pieghettate che caratterizzano le sue prime realizzazioni. La loro caratteristica principale, come già esposto in precedenza, è che la resistenza della sottilissima soletta in calcestruzzo armato è garantita dalla particolare forma corrugata che assorbe le sollecitazioni flessionali; la soletta piegata viene, quindi, irrigidita in modo tale da divenire autoportante, cioè resistente per forma¹³⁵.

La prima copertura pieghettata, progettata da Musmeci, è quella della palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (1953-1955) realizzata insieme a Vitellozzi; successivamente viene progettato lo stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta (1956) con Calini e Montuori, il cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore (1957) con Ortolani e Cattaneo, il ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma (1959) con Vitellozzi e Del Debbio e, molti anni dopo, le passerelle del foyer del teatro Regio di Torino (1966-1970) con Mollino.

In queste realizzazioni, che si susseguono anno dopo anno, Musmeci sperimenta e migliora la sua tecnica progettuale; inizia, infatti, con la copertura di Formia che “è semplicemente l’idea di corrugare una superficie e basta”¹³⁶, fino ad arrivare a Pietrasanta e a Montecchio Maggiore dove tenta di trovare la forma necessaria per l’impiego ottimale della materia così che la forma si adegui al contenuto statico della struttura. Le passerelle del foyer del teatro Regio di Torino costituiscono invece una realizzazione più matura del sistema costruttivo.

La palestra per la scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (1953-1955), già citata all’inizio del capitolo, è costituita da una copertura a soletta sottile piegata autoportante, di spessore molto sottile, formata da una serie di falde piane inclinate “su una luce di 20 metri alle estremità della quale [poggia] su due grandi telai reticolari”¹³⁷ (fig. 14). Ci sono quindi due diversi sistemi costruttivi che presentano caratteristiche distinte; “la copertura autoportante è caratterizzata dalla continuità e dalla diffusione degli sforzi su tutta la superficie, mentre i telai reticolari rappresentano il risultato di una concentrazione di sforzi e di una specializzazione delle varie parti (tese o compresse)”¹³⁸. Tale copertura può

¹³⁵ S. MUSMECI 1960, p. 711.

¹³⁶ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹³⁷ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹³⁸ G. VACCARO 1956, p. 90.

essere assimilata, come schema strutturale, ad una volta sottile scatolare, che funziona in lunghezza come una trave appoggiata. In realtà, si tratta di una volta sottile con funzionamento a membrana. Questa struttura è pienamente efficiente proprio grazie alle pieghe che si alternano vicendevolmente in modo da auto-spingersi l'una contro l'altra, garantendo in tal modo il mantenimento della forma. “In ogni spigolo le reazioni di appoggio si scompongono secondo l'inclinazione delle falde e vengono quindi sostenute da queste con un comportamento a trave-parete sulla luce di circa 20 m. Il ferro destinato a sostenere gli sforzi di trazione speciali è stato disposto secondo linee curve che seguono l'andamento delle isostatiche”¹³⁹. Come già detto in precedenza, Musmeci racconta un aneddoto, relativo alla realizzazione dell'opera, ovvero il momento in cui diviene consapevole del fatto che la bellezza data dalla disposizione dei ferri di armatura, una volta eseguito il getto di calcestruzzo, sarebbe stata nascosta; è proprio grazie a questo episodio che matura in lui l'idea di tradurre nella forma i contenuti statici della struttura¹⁴⁰.

Quando ne ha avuto occasione, nei successivi lavori, Musmeci ha cercato di ‘piegare’ le solette in calcestruzzo armato “in modo da far variare l'ampiezza del corrugamento in sintonia con la variazione naturale degli sforzi”¹⁴¹ così che tutta la carica espressiva fosse trasferita alla particolare forma corrugata della struttura¹⁴².

Musmeci continua, così, le sue ricerche progettando circa due anni dopo lo stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta (1956), realizzato in collaborazione con Leo Calini ed Eugenio Montuori¹⁴³ (fig.15). Per lui quest'opera costituisce “un primo esempio e forse il più significativo di questo modo di dare forma visibile ai momenti flettenti”¹⁴⁴. Egli fa una specie di ‘esperimento’: “vedere fino a che punto una volta sottile può esprimere con la sua forma il suo stesso equilibrio statico”¹⁴⁵. La copertura, che doveva essere costruita con rapidità e spesa ridotta, è formata da una soletta sottile in calcestruzzo

¹³⁹ *Ibidem*.

¹⁴⁰ “Quando andai a vedere i ferri di armatura mi accorsi che erano stati messi secondo questo disegno, e che questo disegno era piuttosto bello e allora mi resi conto che però era una bellezza che poi andava nascosta. Fatto il getto non si sarebbe più vista”; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁴¹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁴² “In altre parole il risultato delle determinazioni quantitative prodotte dalla progettazione era trasferito da quantità invisibili a quantità evidenti nella forma, e in questo si accresceva decisamente il grado di esplicitazione della natura della struttura”; *ibidem*.

¹⁴³ L'ingegnere Leo Calini e l'architetto Eugenio Montuori avevano pensato ad un semplice progetto con delle travi parallele; in quell'occasione viene chiesto a Musmeci di ideare qualcosa di originale; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁴⁴ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁴⁵ S. MUSMECI 1960, p. 712.

armato, di 10 cm di spessore, gettato in opera su cassaforme in legno e destinata a restare completamente a vista. “La prima idea che si è seguita per avvicinarsi alla forma definitiva della struttura è stata che, se il corrugamento della soletta deve servire a metterla in grado di resistere a certe sollecitazioni, è logico e naturale che questo corrugamento vari e sia più o meno accentuato al variare di queste sollecitazioni da una sezione all'altra”¹⁴⁶. Oltre a dosare l'ampiezza del corrugamento in accordo con le variazioni degli sforzi flettenti, si è introdotta anche “l'idea di mantenere rettilinei e continui gli spigoli tesi in modo da costituire una specie di riferimento rigido che contribuisce a rendere più chiara la percezione della forma”¹⁴⁷. Inoltre l'intuizione che lungo le linee della copertura corra una tensione “contribuisce a *fixare* la forma della volta, togliendole il senso dell'arbitrarietà”¹⁴⁸. Queste caratteristiche, spiega Musmeci, sono essenziali perché corrispondono ad un enorme arricchimento di possibilità tecniche ed architettoniche.

Successivamente vengono progettati il cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore (1957) e la palestra del CONI a Frosinone (1958) in cui lo schema d'insieme è quello di una “struttura semplicemente appoggiata su luce costante nel caso della palestra e variabile nel caso del cinema”¹⁴⁹. La copertura del cinema, realizzata in collaborazione con Sergio Ortolani e Antonio Cattaneo, è costituita da una sottile volta poliedrica in calcestruzzo armato ed è composta da una serie di lastre piane triangolari che si incontrano secondo diverse inclinazioni, debolmente armate da una rete di tondini di piccolo diametro e barre di rinforzo lungo gli spigoli¹⁵⁰ (fig.16).

Alla categoria delle superfici corrugate appartiene anche la cappella dei Ferrovieri a Vicenza (1957-1958) progettata con Ortolani e mai realizzata. In questo progetto la struttura in soletta sottile è portata fino a terra e la forma segue l'andamento dei momenti flettenti di un telaio a tre cerniere (fig. 17).

Successiva è la copertura realizzata per il ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma (1959) con Annibale Vitellozzi ed Enrico Del Debbio in cui la struttura corrugata è

¹⁴⁶ *Ibidem*, pp. 712-713.

¹⁴⁷ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁴⁸ S. MUSMECI 1960, p. 712.

¹⁴⁹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁵⁰ “Le armature principali proseguono senza alcuna frattura per tutta la loro lunghezza; i ferri non vengono interrotti né piegati sulle solette a sostenere sforzi di taglio. Ciò è conseguenza del variare della sezione resistente offerta dall'ondulazione della soletta in quasi completo accordo col variare del momento flettente globale. Nella scelta della forma si è cercato infatti di seguire il più possibile il regime degli sforzi interni; l'ondulazione risulta così più accentuata in corrispondenza dell'asse del cinema, dove la rigidità richiesta dai momenti flettenti globali è massima”; G. MORGAN 1961, p. 165.

completata da un solaio orizzontale sovrastante. “In questa struttura lo schema che è quello di una struttura appoggiata con sbalzi di estremità, è articolato dalla necessità di far confluire le linee di tensione verso gli appoggi puntiformi rappresentati dai pilastri”¹⁵¹.

Tale schema viene ripreso per le passerelle del foyer del teatro Regio di Torino (1966-1970), già citato in precedenza, che rappresenta l'ultimo esempio in ordine di tempo di questo tipo di strutture. Nel 1936 il vecchio teatro Regio, opera di Benedetto Alfieri del Settecento, viene distrutto da un incendio; resta in piedi solo la facciata su piazza Castello¹⁵². Il nuovo teatro viene collegato “tramite una galleria coperta, attraversata da ponti di comunicazione, con l'antica costruzione dell'Alfieri che è rimasta come facciata sulla Piazza Castello, completamente ristrutturata all'interno in modo da servire come ampliamento dei foyer del teatro”¹⁵³. In questa occasione Musmeci, come già detto, è il progettista delle strutture speciali; egli realizza un sistema di passerelle che vanno a formare la copertura del foyer del teatro, dove la superficie corrugata fornisce una forte espressività creando uno spazio davvero articolato e suggestivo (fig. 18). Lo stesso tipo strutturale, considerato molto efficiente dal costruttore nonostante le difficoltà costruttive, viene adottato anche per i collegamenti a ponte che uniscono il nuovo teatro con il preesistente edificio settecentesco dell'Alfieri. “Il metodo che si è seguito nel progettare queste strutture è sostanzialmente basato sul programma di rendere evidente gli aspetti e le circostanze più importanti che caratterizzano il comportamento statico, servendosi a questo scopo della forma stessa della struttura che diviene così il mezzo con cui le idee insite nel progetto strutturale possono essere comunicate”¹⁵⁴. Come nel caso precedente per la copertura del ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto, anche in questo caso le strutture corrugate sono completate da una soletta orizzontale sovrastante per formare i piani di calpestio. “Le linee di spigolo si compongono nello spazio collegando i punti di appoggio ... in una rete individuata dalle direzioni preferenziali secondo le quali si incanalano naturalmente gli sforzi”¹⁵⁵. Non sono, infatti, presenti pilastri eccetto lungo il perimetro; come appoggi vengono utilizzati la struttura perimetrale della sala e quella degli scaloni.

¹⁵¹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁵² Nel 1938 viene quindi indetto un concorso nazionale e l'incarico di costruire un nuovo teatro viene affidato all'architetto Morbelli. Molti anni dopo si decide di dare al progetto del teatro un'impostazione radicalmente nuova e, dopo la morte di Morbelli, l'incarico viene affidato nel 1963 all'architetto Carlo Mollino; S. MUSMECI 1977b, p. 885.

¹⁵³ *Ibidem*, p. 890.

¹⁵⁴ *Ibidem*.

¹⁵⁵ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

Queste le parole di Musmeci: “Credo che appaia chiaro come in tutte queste realizzazioni il risultato dipenda in modo decisivo dallo schema d’insieme; quando questo è troppo semplice e simmetrico la forma risulta evidentemente meno espressiva e crea uno spazio meno significativo. Per questo penso che l’esempio più interessante è forse l’ultimo in ordine di tempo”¹⁵⁶.

¹⁵⁶ *Ibidem*.

2.2.2 LE RETI DI TRAVI

Dopo qualche anno di esperienze con le superfici corrugate Musmeci ha occasione di tentare per altre vie la sintesi di forme strutturali. È questo il caso della tipologia strutturale definita da lui 'reti di travi'.

Tale tipologia è applicata, per la prima volta, nella copertura dell'auditorium del Centro Atomico di Bombay in India (1960-1961) con Leo Calini ed Eugenio Montuori. L'auditorium è coperto da una struttura a forma di piramide esagonale ribassata (fig. 19). Questa struttura è costituita da una maglia triangolare di nervature ed è completata da un sistema di travi-parete perimetrali sostenute da quattro grandi pilastri¹⁵⁷. Riguardo il comportamento statico "ciascuna falda è un graticcio piano di travi poggiate sugli spigoli, dove le reazioni di appoggio si scompongono in un sistema di sforzi normali che fluiscono verso il perimetro. Il forte ribassamento della struttura e la deformabilità dei vincoli sul perimetro, consentono solo in parte questo comportamento a cupola piramidale, che così coesiste con un comportamento puramente flessionale a piastra esagonale nervata"¹⁵⁸. Musmeci, vista la complessità dei calcoli strutturali, progetta l'opera con alcune semplificazioni e schematizzazioni; nonostante ciò gli vengono richiesti dai consulenti dell'ufficio tecnico Atomic Energy Commission Indiana calcoli più esaurienti che prendessero in considerazione tutte le caratteristiche della struttura. Tutto ciò portò ad un lavoro che durò circa un mese e che lo fece arrivare ad un sistema di 121 equazioni in 121 incognite quasi impossibile da risolvere con i mezzi di calcolo disponibili all'epoca¹⁵⁹. Come soluzione al problema l'ingegnere Calini preferì ripiegare sulla sperimentazione di due modelli in metacrilato, uno con sei pilastri e uno con quattro, come previsto dal progetto di Musmeci. La soluzione adottata fu la seconda dato che le prove sui modelli confermarono le sue previsioni iniziali. "Nessun progetto - afferma Musmeci - mi ha mai più richiesto uno sviluppo di calcolo così pesante da essere lontanamente paragonabile a quello che affrontai, in fondo inutilmente, per l'Auditorium di Bombay"¹⁶⁰; tuttavia "quell'esperienza è servita per chiarirmi il ruolo della intuizione nella progettazione strutturale e nella preparazione degli stessi schemi di calcolo o modelli matematici"¹⁶¹.

¹⁵⁷ *Ibidem*.

¹⁵⁸ *Ibidem*.

¹⁵⁹ ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁶⁰ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁶¹ *Ibidem*.

È dello stesso anno la chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960), realizzata insieme a Ortolani e Cattaneo, definita come una delle sue “prime ricerche geometriche di un certo impegno”¹⁶². La pianta è “tracciata secondo un sistema di spirali equiangolari (o spirali logaritmiche)”¹⁶³ che qualche anno prima aveva pensato per il progetto di massima del palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954). Sia il disegno della pianta che della copertura vengono realizzati seguendo le forme della *spira mirabilis*, la ‘spirale meravigliosa’. Musmeci in quest’opera introduce tre famiglie di spirali per ottenere una rete a maglie triangolari con triangoli il più possibile simili alla forma equilatera; da qui deriva il disegno dei muri che sostengono la copertura e le nervature che la costituiscono (fig. 20-21). La ‘rete di travi’ si va addensando verso il centro e “ciò corrisponde bene al graduale passaggio da un comportamento prevalentemente a flessione ad uno a membrana”¹⁶⁴. Le dimensioni delle travi, quindi, diminuiscono proporzionalmente alla distanza dal centro in buon accordo con la graduale riduzione degli sforzi di flessione “che caratterizzano la parte perimetrale della struttura, protesa a sbalzo oltre l’appoggio sui muri, a mano a mano che ci si avvicina alla cuspide centrale dove invece prevale un comportamento a membrana caratterizzato da sforzi normali di compressione”¹⁶⁵.

“Questa aderenza alla natura ed entità degli sforzi da parte del disegno di una rete di travi, sia come disposizione degli elementi che come dimensionamento delle sezioni resistenti, è stata ricercata sistematicamente in altre realizzazioni anche molto diverse fra loro”¹⁶⁶.

Si cita il deposito Italtubi a Roma (1963-1965) in cui Musmeci realizza una struttura in acciaio con travi incrociate a sezione reticolare variabile, sostenute “da stralli ancorati in cima a tre piloni anch’essi a sezione variabile studiata in modo da sopportare validamente il carico di punta e la pressoflessione”¹⁶⁷ (fig. 22).

Successiva è la già citata sala conferenze della Biblioteca Nazionale di Roma (1965-1971) dove la struttura, nascosta dal controsoffitto, ha un disegno che ripete quello della ‘rete di travi’ (fig. 23).

Nella proposta, già menzionata, per una piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma (1973) la ‘rete di travi’ è ottenuta accostando elementi prefabbricati in

¹⁶² ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁶³ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁶⁴ S. MUSMECI 1979d, p. 44.

¹⁶⁵ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁶⁶ *Ibidem*.

¹⁶⁷ *Ibidem*.

cemento armato e si sviluppa “in modo da convogliare i carichi verso gli appoggi nel modo che appariva più naturale [sfruttando] nello stesso tempo l'inerzia delle grandi sezioni ad arco di cerchio degli elementi di sostegno per creare al centro della copertura un comportamento a cupola nervata capace di alleggerire notevolmente la flessione”¹⁶⁸ (fig. 24).

In questa seconda tipologia di opere sviluppate da Musmeci si dimostra come “l'impiego statico proposto dalla flessione possa essere affrontato calibrando le sezioni resistenti e, ancora meglio, disponendo le travi secondo una particolare rete che ne esalti le possibilità di collaborazione nello spazio ed eventualmente ne arricchisca la funzione statica con un comportamento caratterizzato anche da sforzi normali”¹⁶⁹.

¹⁶⁸ *Ibidem.*

¹⁶⁹ *Ibidem.*

2.2.3 I SISTEMI EQUITENSIONALI

Dalle ‘reti di travi’ deriva la terza tipologia strutturale approfondita da Musmeci nel corso della sua attività professionale: i ‘sistemi equitensionali’. “Se una rete di travi o di archi o di cavi tesi è formata da elementi equivalenti, aventi la stessa sezione resistente è naturale cercare di ottenere che lo sforzo sia identico in tutti e pari al massimo consentito dalla sezione. Questo principio di intrinseca economicità si traduce in una forma di organizzazione strutturale fortemente espressiva proprio perché efficiente”¹⁷⁰.

È questo il caso, ad esempio, di una delle opere giovanili, la copertura per il cinema Araldo a Roma (1955), già citata in precedenza. Si tratta della prima occasione in cui Musmeci prova a disegnare un sistema di archi equicompresi, cioè di uguale spinta¹⁷¹ (fig. 25). Gli elementi resistenti sono archi poligonali, di sezione triangolare cava (la più semplice compatibile con una certa rigidezza torsionale oltre che flessionale), i cui spigoli si trovano proprio dove avvengono le loro intersezioni. Da ciascuno dei quattro punti di appoggio si irradiano gli archi verso il lato opposto¹⁷². Per fare questo sono necessari particolari rapporti fra le distanze che permettono di individuare la posizione dei punti di appoggio; sono proprio tali rapporti a regolare tutta la geometria del sistema di linee. Ne consegue che gli archi più lunghi assumono un “andamento molto particolare con un’inversione di curvature verso gli appoggi grazie alla quale riuscivano, prima di giungervi, ad appoggiarsi agli archi più corti da essi incrociati”¹⁷³. Il funzionamento statico dell’intera struttura è “caratterizzato dalla proprietà che *la spinta degli archi poligonali è la stessa per tutti*. Ciò è il risultato di una opportuna scelta ... delle quote dei punti di intersezione delle nervature. L’eguaglianza fra le spinte dei vari archi giustifica l’adozione della stessa sezione per tutti e permette la massima efficienza statica”¹⁷⁴.

È un ‘sistema equitensionale’ anche la struttura composta da cavi tesi progettata, molti anni dopo, per il concorso nazionale per il palazzo dello Sport a Firenze (1965-1966). In questo caso la compressione viene sostituita dalla trazione, visto che si tratta di cavi di

¹⁷⁰ *Ibidem*.

¹⁷¹ Tra i vari presupposti utilizzati da Musmeci per la progettazione del cinema vi è quello di “ridurre il numero degli appoggi su cui concentrare il peso e la spinta della copertura, in modo da poterli sostenere con pochi elementi strutturali appositamente studiati [e di] disporre gli elementi resistenti principali in ogni direzione in modo da portarne a contatto il maggior numero possibile”; S. MUSMECI 1956, p. 880.

¹⁷² “Obbedendo ad un criterio di semplicità e di ordine sia costruttivo che formale si è introdotta la condizione che fosse minimo il numero delle intersezioni sull’asse di simmetria”; *ibidem*, p. 881.

¹⁷³ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁷⁴ S. MUSMECI 1956, p. 882.

acciaio; inoltre “la forma della rete di cavi è stata ricavata da una condizione di eguaglianza delle tensioni e non dalle sole componenti orizzontali. Questa condizione produce, insieme alla disposizione dei vincoli, l'intera forma della struttura”¹⁷⁵. La struttura consiste in due piloni dai quali si diparte l'intreccio dei cavi d'acciaio in tensione che consentono l'incredibile oggetto al di sopra delle rampe di accesso del pubblico¹⁷⁶ (fig. 26). La disposizione dei cavi di acciaio equitensi richiama il tracciato della *spira mirabilis*¹⁷⁷. La forma, spiega Musmeci, può essere ottenuta per via sperimentale costruendo un modello formato da elastici: “poiché questi sono ... allungabili sotto sforzo, è facile ottenere che tutti siano egualmente tesi; nei nodi della rete di elastici si debbono appendere pesi proporzionali al peso che dovrà gravare su ognuno nella copertura reale e si ottiene allora la forma cercata”¹⁷⁸ (fig. 27).

Sono i modelli ad essere un valido strumento di progettazione e di verifica di diverse strutture progettate da Musmeci. Tali modelli sono utili sia per strutture tese che per strutture compresse poiché la forma non cambia se si inverte il segno del sistema di forze. “Come una collana appesa può essere il modello, rovesciato, di un arco, così un sistema di fili può essere il modello di un sistema di archi incrociati. Sostituendo i fili con elastici si ottengono modelli nei quali la tensione dei singoli elementi è misura dell'allungamento degli elastici ed è quindi facile giungere a reti equitense o, se il modello è pensato rovesciato, equicompresse”¹⁷⁹.

Viene inserita in questa tipologia strutturale dei ‘sistemi equitensionali’ anche la chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), in provincia di Siena, che verrà approfondita nei “Casi di studio”. In quest'opera, così come per la chiesa di Vicenza, Musmeci interviene sia nel disegno della struttura di copertura che, architettonicamente, nella configurazione della planimetria, generata anch'essa da considerazioni statiche e strutturali. La copertura, che è l'elemento caratteristico dell'opera, è costituita da un sistema di cavi tesi disposti radialmente a partire dal campanile al quale sono ancorati seguendo una curva ad elica (fig. 28). La messa in tensione dei cavi d'acciaio è avvenuta gradualmente man mano che si formava la soletta di copertura, di 6 cm di spessore, per spruzzamento di cemento su una rete metallica di armatura. Le pareti perimetrali in cemento armato, invece, assumono delle

¹⁷⁵ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁷⁶ Il progetto di Musmeci, dal motto ‘Andromeda’, ottiene il secondo premio ex-aequo; *Concorso nazionale per il Palazzo dello Sport di Firenze* 1966, p. 137.

¹⁷⁷ M. NICOLETTI 1999b, p. 80.

¹⁷⁸ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁷⁹ *Ibidem*.

particolari conformazioni tali da assorbire al meglio le spinte perimetrali originate dalla tensostruttura di copertura¹⁸⁰. “Poiché i cavi sostengono un carico che aumenta linearmente in conseguenza del loro graduale reciproco allontanamento, la linea funicolare secondo la quale debbono disporsi è una curva parabolica. ... Le componenti orizzontali sono state però progettate eguali per tutti i cavi e quindi questi hanno le stesse forme”¹⁸¹. Anche in questo caso, come per il palazzo dello Sport a Firenze, ogni cavo d'acciaio ha la stessa tensione di tutti gli altri cavi e da questa condizione è stata dedotta la forma della copertura¹⁸².

Musmeci cita, inoltre, alcuni progetti caratterizzati da soluzioni ‘radicali’ costituite da reti di elementi egualmente compressi; tra questi vi è il progetto per il ponte sul Lao a Laino Borgo (1964), che ottiene il secondo premio ex-aequo dall'Istituto Nazionale di Architettura (In-Arch) e quello analogo per il ponte sul Niger ad Ajaokuta in Nigeria (1977)¹⁸³. Il ponte sul Lao è costituito da cinque campate più due tronche con luci di 150 m. La struttura che sostiene l'impalcato lungo i lati esterni si dispone secondo una superficie minimale, formata da una rete di elementi rettilinei uniformemente distribuiti, che si sdoppia in corrispondenza delle pile, raccordandosi con i sottostanti piloni¹⁸⁴ (fig. 29). Si tratta di un progetto che prevede l'utilizzo di “un sistema reticolare di puntoni disposto secondo superfici a compressione uniforme ed isotropa”¹⁸⁵. Riguardo il ponte sul Niger, invece, si tratta di una proposta per un lungo ponte di ventiquattro campate di 120 m, per un totale di 3 km; anche in questo caso “una rete equicompressa formata da elementi rettilinei a sezione costante si dispone su una superficie minimale”¹⁸⁶ (fig. 30). Al di sotto dell'impalcato del ponte vi è uno spazio praticabile; l'impalcato è, infatti, diviso in due carreggiate separate nel mezzo delle quali è sospeso un percorso pedonale annesso ad una pista ciclabile ad una quota più bassa. In entrambi i progetti la struttura reticolare spaziale si compone di aste prefabbricate in calcestruzzo armato che formano un sistema equicompresso costituito da curvature d'involuppo costantemente negative¹⁸⁷.

¹⁸⁰ *Ibidem*.

¹⁸¹ *Ibidem*.

¹⁸² S. MUSMECI 1979d, p. 46.

¹⁸³ “In questi casi la rete degli elementi si dispone nello spazio in modo uniforme, senza cioè addensamenti o rarefazioni, ed essa tende quindi a seguire certe superfici minimali”; ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁸⁴ C. LA TORRE 2004, p. 99.

¹⁸⁵ S. MUSMECI 1977c, p. 81.

¹⁸⁶ C. LA TORRE 2004, p. 102.

¹⁸⁷ M. NICOLETTI 1999b, pp. 53-59.

Tali strutture reticolari rappresentano la versione discretizzata delle superfici minimali studiate per alcuni progetti precedenti, tra cui il ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959), che verranno esaminati tra le 'membrane a compressione uniforme'. Questi studi si ricollegano, inoltre, a quelli che Musmeci stava svolgendo sulle 'aste prismatiche' o *space frames*, riguardanti la genesi della forma nelle 'strutture reticolari spaziali' e di cui darà dimostrazione in una mostra organizzata a Roma in piazza San Salvatore in Lauro in occasione della "Settimana dell'Architettura" nel 1979.

2.2.4 LE MEMBRANE A COMPRESSIONE UNIFORME

“Le strutture a membrana in cemento armato sono certamente state le più significative esemplificazioni delle meravigliose possibilità di questo materiale”¹⁸⁸. Musmeci spiega che le membrane in c.a., dopo la loro nascita negli anni Trenta, non hanno avuto molta fortuna a causa di una serie di difficoltà tra cui quelle costruttive dovute alla preparazione di casseforme a doppia curvatura; ulteriore circostanza avversa alla diffusione di questo tipo di strutture è stata l’abitudine, comune alla maggior parte dei progettisti del Novecento, di assumere forme geometriche ‘semplici’¹⁸⁹.

Tra gli esempi presi a riferimento per descrivere le ‘membrane a compressione uniforme’ egli cita il progetto per il ponte sull’Astico a Vicenza (1956), il progetto per il ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959) e il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975). L’unico progetto riguardante la copertura di un edificio, che rientra nell’idea di “scoprire forme di volte sottili pensando a membrane equitese”¹⁹⁰, è quello per i Mercati Generali di Roma (1958-1960) con Annibale Vitellozzi; si tratta di una volta equicompressa costituita da quattordici appoggi ottenuti con la piegatura ondulata della volta (fig. 31). In corrispondenza degli appoggi la volta è costituita da particolari aperture ad occhiello che arrivano a terra con una sezione a ‘C’¹⁹¹ e che permettono anche il convogliamento delle acque piovane.

È nei ponti che Musmeci sente di poter raggiungere quel concetto di forma ideale ed ottimizzazione della materia che è stata una delle costanti della sua carriera; egli afferma, infatti: “l’aderenza fra forma e contenuto statico diviene un’esigenza più impellente quando si progettano i ponti. L’importanza dell’impegno statico della struttura giustifica la ricerca di forme di massima efficienza e quindi anche di forte potenzialità espressiva”¹⁹².

Si citano i ponti sull’Autostrada del Sole (1950) e sull’Astico a Vicenza (1956), strutture molto simili tra loro, la prima studiata agli inizi della sua carriera, la seconda progettata alcuni anni dopo per una gara d’appalto concorso a Vicenza riprendendo quanto già

¹⁸⁸ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁸⁹ “Se invece nelle equazioni - ribadisce Musmeci - si introducono le tensioni come quantità note e si cerca di ottenere la forma come l’incognita da ricercare, le cose possono essere spesso più facili e in ogni caso si ottiene un’utilizzazione più razionale del materiale e insieme, cosa molto importante, forme più espressive della sua natura”; *ibidem*.

¹⁹⁰ S. MUSMECI 1979d, p. 44.

¹⁹¹ A. BRODINI 2013b, p. 257. Musmeci per questa soluzione si rifà a Frei Otto con la differenza che la materia di quest’ultimo è tesa; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁹² S. MUSMECI 1979d, p. 44.

approfondito nella prima esperienza. Il ponte sull'Autostrada del Sole (1950) presenta uno schema statico ancora 'piano' "dove però sono aboliti pilastri o montanti verticali grazie all'adozione di un sistema di archi, i minori dei quali poggiano sui più grandi con un particolare equilibrio di spinte"¹⁹³ (fig. 32). L'idea di questo progetto giovanile viene ripresa qualche anno dopo per il progetto per il ponte sull'Astico a Vicenza (1956) insieme a Ortolani e Cattaneo (fig. 33). Il progetto viene studiato tenendo conto di una serie di circostanze, la più importante delle quali è la distanza da terra dell'impalcato che rendeva necessario l'utilizzo di un gran numero di piedritti; si voleva, inoltre, alleggerire il più possibile la struttura lasciando libera la visuale sotto il piano stradale. La soluzione adottata per il ponte sull'Astico è caratterizzata da travate di impalcato a sezione cava diaframmata sostenute da volte sottili dello spessore compreso fra 35 e 45 cm; tale soluzione "riduce al minimo l'impiego di materiale al di sotto delle strutture di impalcato"¹⁹⁴. La rigidezza a flessione viene raggiunta incurvando le sezioni a forma di archi di circonferenza così da ottenere un sufficiente numero di punti di appoggio, i quali non superano i 20 m. La sezione cava diaframmata "consente il massimo di rigidezza sia a flessione che a torsione, senza perdere in leggerezza"¹⁹⁵; alle volte sottili è, quindi, attribuita la rigidezza minima possibile affidando la resistenza a flessione alle travate d'impalcato.

Dall'analisi dei disegni emergono numerosi riferimenti ai ponti di Maillart, costituiti da un arco sottile collegato ad un impalcato robusto che, funzionando da trave continua, impedisce le deformazioni. Nei casi sopraccitati Musmeci progetta un'arcata centrale molto ampia e, per evitare che ci siano rischi di perdita di forma, ricorre ad arcate minori, poste ai due lati, quali vincoli intermedi. Nel ponte sull'Astico "la forma nasce da un equilibrio di spinte ma anche dall'esigenza di dare ad ogni parte la necessaria stabilità nei riguardi del carico di punta"¹⁹⁶. Tale progetto riscuote un certo successo e costituisce un punto di partenza per ulteriori sviluppi nelle opere successive¹⁹⁷.

Con il ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959), progettato in collaborazione con Luccichenti, le ricerche di Musmeci sui ponti evolvono dallo stato bidimensionale a quello tridimensionale. Mentre nelle due dimensioni la forma che realizza il regime di compressione pura è determinata dai carichi, nello spazio a tre dimensioni vi è

¹⁹³ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁹⁴ S. MUSMECI 1957, p. 829.

¹⁹⁵ *Ibidem*, p. 830.

¹⁹⁶ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁹⁷ L'aspetto architettonico dell'opera, caratterizzata dalla leggerezza d'insieme e dalle forme plastiche delle volte sottili, è una immediata conseguenza della sua impostazione statica; S. MUSMECI 1957, p. 831.

un arricchimento di possibilità: “ogni superficie a doppia curvatura può potenzialmente proporsi come una membrana senza flessione purché vengano rispettate certe condizioni sul disegno dei bordi. Ciò consente di spingere ancora più a fondo l’aderenza della forma al compito statico, aggiungendo la condizione che la compressione pura sia anche uniforme”¹⁹⁸. In questo modo ogni parte della membrana collabora all’avvenimento statico come ogni altra e il materiale risulta impegnato con la massima efficienza in ogni punto e direzione. La compressione interna della membrana è così raccolta dai bordi che si liberano dal disturbo flessionale seguendo il disegno di archi puri spaziali; la forma della superficie influenza così la forma dei bordi e ne è a sua volta influenzata¹⁹⁹. Nel caso del ponte sul Tevere a Tor di Quinto Musmeci arriva, per la prima volta, a proporre dei sostegni la cui forma derivi “da un regime statico di uniforme compressione. Ciò comportava una forma sviluppata nello spazio secondo una superficie a doppia curvatura (con segni opposti come in una sella)”²⁰⁰. Il ponte è costituito da sei membrane sottili che portano in fondazione i carichi dell’impalcato. Le superfici, con le due curvature di segno opposto, salgono dalle fondazioni a sostenere “l’impalcato secondo linee di contatto disegnate in modo da ridurre le sollecitazioni di flessione nella struttura a nervature incrociate nell’impalcato stesso”²⁰¹ (fig. 34).

Nello studio di questi ponti, rimasti solo allo stato progettuale, si inizia a intravedere la personalissima metodologia progettuale di Musmeci che attuerà appieno solo successivamente nel ponte sul Basento. È solo alla fine degli anni Sessanta, infatti, che arriva la possibilità concreta di vedere realizzate le sue ricerche teoriche. Con il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) riesce, finalmente, “a costruire per la prima volta una membrana in cemento armato a compressione uniforme quale elemento di sostegno di un ponte”²⁰² (fig. 35). Si tratta di un’unica struttura di 280 m di lunghezza costituita da quattro campate di 69,20 m ognuna. La membrana in cemento armato, spessa 30 cm, è stata pensata come una superficie a compressione uniforme ma non isotropa²⁰³. Il progetto prevedeva una passeggiata pedonale sull’estradosso della volta strutturale del ponte “dato

¹⁹⁸ S. MUSMECI 1977c, p. 80.

¹⁹⁹ *Ibidem*.

²⁰⁰ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

²⁰¹ S. MUSMECI 1977c, p. 81.

²⁰² ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

²⁰³ “Le compressioni in senso longitudinale e in senso trasversale erano previste costanti ma diverse fra loro. In seguito quella in senso trasversale non è stata conservata perfettamente costante; in ogni caso è notevolmente minore dell’altra per consentire curvature trasversali circa 3 volte maggiori in accordo con le proporzioni generali dell’opera”; S. MUSMECI 1977c, p. 82.

che le pendenze non sono mai troppo forti e possono essere facilmente corrette con una leggera gradonatura disegnata secondo curve di livello”²⁰⁴. Di questo progetto se ne discuterà in maniera esaustiva nei “Casi di studio”. Musmeci afferma che nel caso del ponte di Potenza si può dire che “la forma abbia raggiunto un buon equilibrio fra contenuto statico e carica espressiva; ogni aspetto visibile appare con un’importanza proporzionata al suo ruolo nella composizione strutturale”²⁰⁵.

Diversi anni dopo progetta un ponte urbano sul Talvera a Bolzano (1978-1980) in cui la ‘membrana a compressione uniforme’, da percorrere pedonalmente, doveva essere prefabbricata in elementi da assemblare in opera. Anche in questo caso, come per il viadotto di Potenza, la membrana che sostiene l’impalcato è praticabile e continua²⁰⁶. Il ponte sul Talvera è costituito da due campate caratterizzate da un elegante disegno di membrane equicomprese “che integrano le campate stesse alle zone di appoggio a terra sdoppiandosi in corrispondenza di esse”²⁰⁷ (fig. 36). “Nel complesso è un tentativo di integrare ancora più la composizione strutturale con l’architettura dell’insieme, cercando di conseguire un massimo di organicità e di aderenza con la natura”²⁰⁸.

Altri ponti che mantengono la stessa linea, più semplici dal punto di vista formale, sono il viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran (1975-1976) ed il ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano a Latina (1975-1976). Si tratta di una struttura di 600 m di lunghezza, costituita da una sottile membrana ondulata, poggiata sul fondo a 2 m di profondità e dotata di grandi aperture vetrate dalle quali si sarebbe potuta esaminare la vita subacquea²⁰⁹ (fig. 37). Anche il viadotto a Shiraz-Persepolis è caratterizzato da una sottile membrana dalla semplice forma ondulata che sostiene un impalcato rettilineo.

²⁰⁴ *Ibidem*.

²⁰⁵ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

²⁰⁶ C. LA TORRE 1981, p. 43.

²⁰⁷ C. LA TORRE 2004, p. 103.

²⁰⁸ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

²⁰⁹ *Ibidem*.

2.2.5 LE STRUTTURE RETICOLARI SPAZIALI

Per le ‘strutture reticolari spaziali’ “è la sola matrice geometrica che rimane la protagonista dell’avvenimento spaziale”²¹⁰. Musmeci tenta di applicare il concetto del ‘minimo strutturale’ anche a questi ‘sistemi discreti’ che, a differenza delle strutture a membrana in cui l’insieme degli sforzi è caratterizzato da un flusso ininterrotto, presentano sforzi che si integrano fra loro attraverso il sistema discontinuo dei nodi; le singole membrature sono sollecitate a trazione o compressione semplice²¹¹. I singoli elementi fanno parte di una composizione geometrica nella quale ognuno si trova in posizione equivalente rispetto agli altri elementi. L’importanza è data, quindi, dai rapporti tra le parti e dagli spazi vuoti piuttosto che dai singoli elementi. “Questa ricerca comporta la determinazione della forma del poliedro di nodo caratteristico di ogni possibile maglia spaziale e l’adozione di forme prismatiche o antiprismatiche per le aste con sezioni di estremità identiche alle facce del poliedro di nodo”²¹². In questo modo non si rendono necessari elementi di nodo e la struttura può essere ricavata assemblando aste o parti di diverse aste.

Nel 1978, Musmeci estende lo studio delle ‘strutture reticolari spaziali’ a tutte le “più importanti maglie spaziali dotate di una certa regolarità, pensando alla loro realizzazione in calcestruzzo e particolarmente in calcestruzzo impregnato con resine artificiali, secondo i brevetti dell’Italcementi”²¹³. Musmeci ha quindi modo di sperimentare questo genere di strutture impiegando un materiale innovativo, il calcestruzzo polimerizzato; tale materiale, rispetto al calcestruzzo normale, possiede una tensione-limite di rottura fino a cinque volte più elevata, un modulo elastico doppio e impermeabilità e inalterabilità contro gli agenti atmosferici²¹⁴. Nel 1979 egli realizza queste strutture sperimentali in occasione della “Settimana dell’Architettura” a Roma in piazza San Salvatore in Lauro²¹⁵ (fig. 38).

“Il numero di coordinazione, ossia il numero di nodi collegati direttamente con uno qualsiasi, nel caso di maglie complete, era nei vari casi 12 oppure 8, 6 o 4”²¹⁶. Le aste sono cave e tali vuoti comunicano tra loro attraverso i nodi che, materialmente, non esistono. Da

²¹⁰ *Ibidem*.

²¹¹ M. NICOLETTI 1999b, pp. 15-16.

²¹² “Nel nodo le intersezioni delle aste avvengono nel modo più diretto senza bisogno di elementi di raccordo estranei alla geometria dell’insieme”; ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

²¹³ *Ibidem*.

²¹⁴ M. NICOLETTI 1999b, p. 20.

²¹⁵ Alcune di queste strutture vengono portate, pochi mesi dopo, a Bologna durante il SAIE.

²¹⁶ Nei casi di 6 o 4 nodi è necessario che le aste e i nodi di collegamento abbiano una certa rigidità flessionale; ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

un punto di vista geometrico le superfici di queste strutture si possono considerare come 'antipoliedri', cioè "poliedri nei quali intorno ad ogni vertice si raccolgono facce poligonali in numero maggiore di quello che corrisponde al caso di un piano tappezzato di poligoni"²¹⁷. Se invece il numero è minore si hanno i classici poliedri convessi: tetraedro (3 triangoli intorno ad ogni vertice), ottaedro (4 triangoli) e l'icosaedro (5 triangoli). "Con 6 triangoli si ha il piano e con 7 si ha il primo degli antipoliedri nei quali, allontanandosi da un vertice, si ha una crescita di facce triangolari che tende ad una legge esponenziale. ... La capacità di esprimere fatti geometrici puri, offrendo una lettura dello spazio tridimensionale di un carattere inusitato e stimolante, è strettamente connessa all'assoluta coerenza delle forme con la matrice geometrica"²¹⁸.

È con questo sistema che Musmeci progetta i ponti sopraccitati sul Lao a Laino Borgo (1964) e sul Niger ad Ajaokuta in Nigeria (1977) costituiti da aste prefabbricate in cemento armato²¹⁹.

Le ricerche sui 'sistemi reticolari spaziali' di Musmeci vengono riprese, successivamente, da parte del suo Studio Tecnico che propone alcune soluzioni per la protezione dei resti archeologici nell'area del Foro Romano e dell'Arco di Costantino. Tali proposte vengono presentate in un articolo di Paolo Marconi riguardante il tema della protezione di monumenti e di scavi archeologici dall'inquinamento atmosferico²²⁰. I progetti che vengono presentati nell'articolo, afferma Marconi, sono delle proposte alternative che costituiscono una "provocazione a che il dibattito venga affrontato su tutta la linea: essi sono certo una risposta integralista al problema, per quanto riguarda le «teche» di cristallo, ma è un integralismo che nasce dalla triste consapevolezza che, oggi, è più facile dare risposte «permanenti» piuttosto che risposte «effimere» ad un apparato di tutela che si muove solo grazie al volontarismo eroico di pochi"²²¹. Nel primo paragrafo, dal titolo

²¹⁷ *Ibidem*.

²¹⁸ *Ibidem*.

²¹⁹ Anche il Padiglione Oikos a Bologna (1978-1980) presenta lo stesso tipo strutturale del 'sistema reticolare spaziale' ma verrà realizzato dopo la morte di Musmeci dalla moglie Zenaide Zanini.

²²⁰ Nella premessa Marconi fa una distinzione tra le strutture reticolari adibite a semplice protezione dalle piogge battenti di siti archeologici (area della Regia) e quelle adibite all'isolamento ed anzi al condizionamento integrale di monumenti realizzati in materiali estremamente degradabili, quali i marmi (arco di Costantino). Le prime hanno la pretesa "di sostituirsi con vantaggio tecnico ed estetico ai soliti ponteggi tubolari in «stile soprintendenza» ... Le seconde hanno la pretesa ancor più ambiziosa di condizionare, in teche di cristallo speciale, il microclima di monumenti singolari". La teca risulta un espediente radicale e definitivo legato, però, ad un impianto di condizionamento difficile da gestire ed inquinante per quanto riguarda il consumo energetico che richiede; P. MARCONI 1982, p. 55.

²²¹ *Ibidem*, p. 58.

Sistemi di protezione di scavi archeologici in struttura reticolare spaziale (l'area della Regia), vengono illustrate alcune strutture ideate dallo Studio Tecnico di Musmeci in collaborazione con lo Studio Progetti della Soprintendenza Archeologica di Roma. Queste proposte prendono forma proprio dagli studi di Musmeci sui 'poliedri archimedei' e sui 'reticoli spaziali'. Tali ricerche si muovono su due punti base: il "superamento della differenziazione in elementi portanti ed elementi portati con funzioni statiche e connotazioni architettoniche distinte [ed una] assoluta coerenza con la legge geometrica che, una volta individuato il numero delle direzioni che si dipartono dal nodo, definisce la forma della cellula base, delle aste e dei loro punti d'incontro. ... Le soluzioni proposte, seguendo la rigorosa logica dei numeri, risolvono il confronto con l'antico ponendosi programmaticamente su un livello diverso e quindi non concorrenziale"²²². Nell'articolo viene descritto il sistema a maglia rombododecaedrica (in ogni nodo 12 aste) che viene generato da un unico elemento prismatico identicamente ripetuto: l'asta. Questo sistema può generare anche strutture con piani orizzontali organizzati a quadrati o a triangoli regolari; le strutture a protezione di scavi realizzate con questo sistema sono caratterizzate, quindi, da una totale flessibilità sia spaziale che temporale. Grazie alla facile componibilità nelle tre dimensioni e alla smontabilità degli elementi, le forme vengono adeguate alle necessità degli scavi e le possibilità statiche di queste strutture reticolari consentono di limitare a pochi appoggi il loro impatto sul terreno. "Strutture spaziali con maglie di questo tipo, da realizzarsi con profilati metallici inossidabili da unire in corrispondenza dei nodi con giunti a rapido montaggio, completate da elementi di copertura in materiale sintetico trasparente, possono essere impiegate come coperture leggere per la protezione dalla pioggia degli scavi"²²³ (fig. 39-42). Il secondo paragrafo riguarda invece una teca in vetro proposta da Zenaide Zanini e Alberto Musmeci per la protezione dell'arco di Costantino. Si tratta di "un prisma tecnologicamente sofisticato che permette la protezione, la manutenzione, il condizionamento atmosferico e la fruibilità del monumento alle varie altezze"²²⁴.

²²² *Ibidem*, pp. 58-60.

²²³ Il reticolo spaziale e l'impiego di materiali leggeri permette di ottenere, così, coperture di notevole snellezza; *ibidem*, pp. 60-61.

²²⁴ *Ibidem*, p. 62.

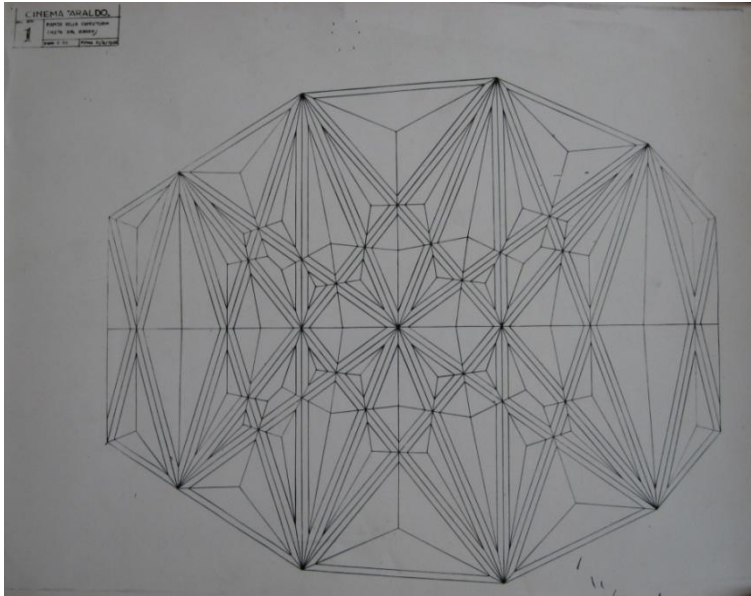


fig. 1 - Pianta della copertura per il progetto del cinema Araldo, Roma, 1955 (ASMZZ, *Dis. 1 - Cinema "Araldo". Pianta della copertura (vista dal basso). Rapp. 1:50*, foto F9590)

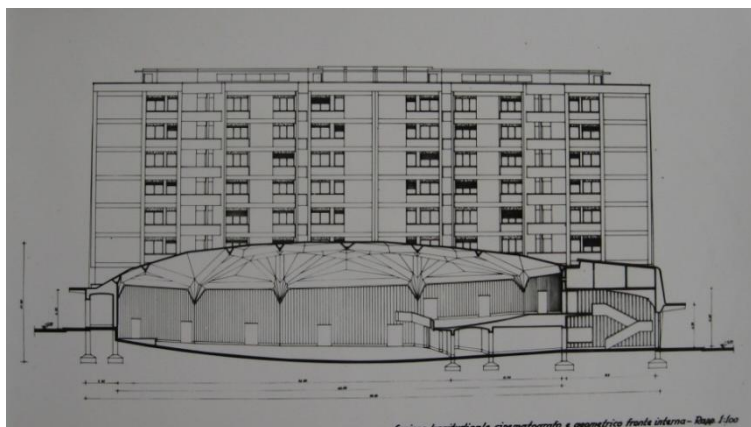


fig. 2 - Sezione longitudinale per il progetto del cinema Araldo, Roma, 1955 (ASMZZ, *Sezione longitudinale cinematografo e geometrica fronte interna - Rapp. 1:100*, foto F9592)

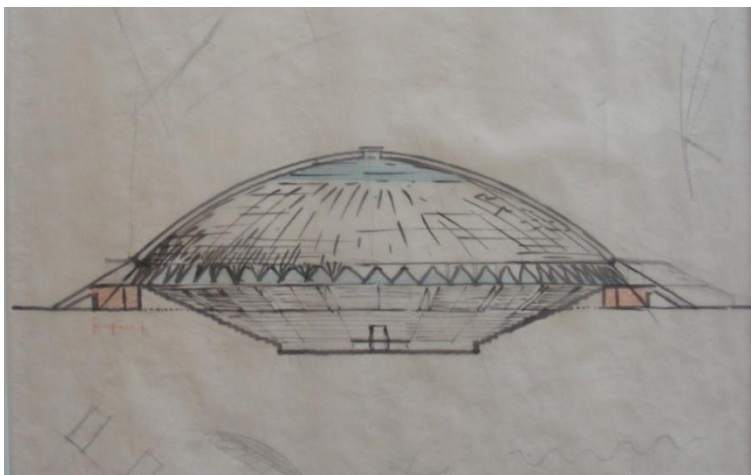


fig. 3 - Schizzo per il progetto del palazzetto dello Sport, Roma, 1953-1954 (ASMZZ, disegno 28413)

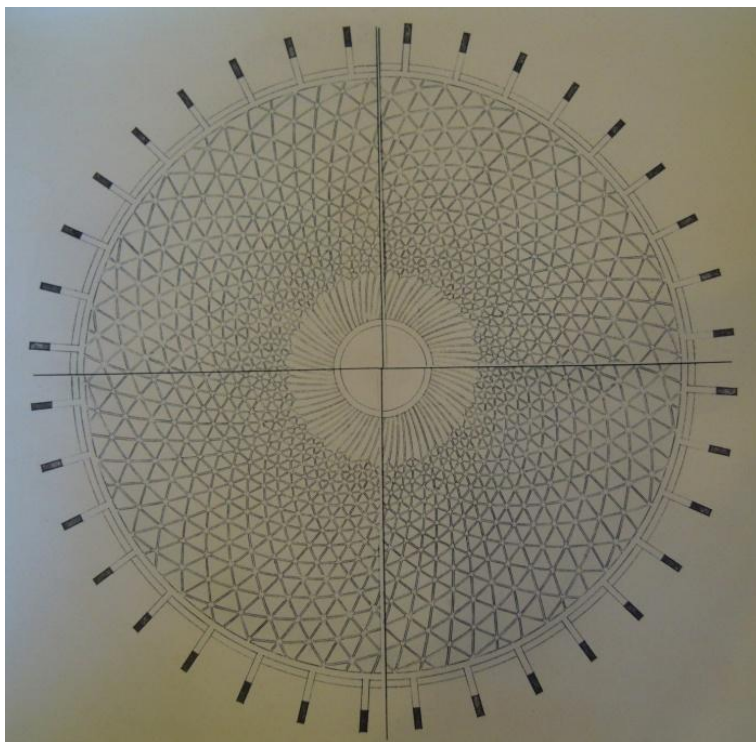


fig. 4 - Pianta della copertura per il progetto del palazzetto dello Sport, Roma, 1953-1954 (ASMZZ, foto F18582)



fig. 5 - P. L. Nervi, palazzetto dello Sport, Roma, 1960 (<https://luigidivitofrancesco.wordpress.com>, luglio/2013)



fig. 6 - Stazione di servizio "Aquila", Bologna, 1958 (ASMZZ, foto F9585)



fig. 7 - Chiesa di S. Gregorio Barbarigo, Roma, 1970-1972 (L. MORETTI 1972)

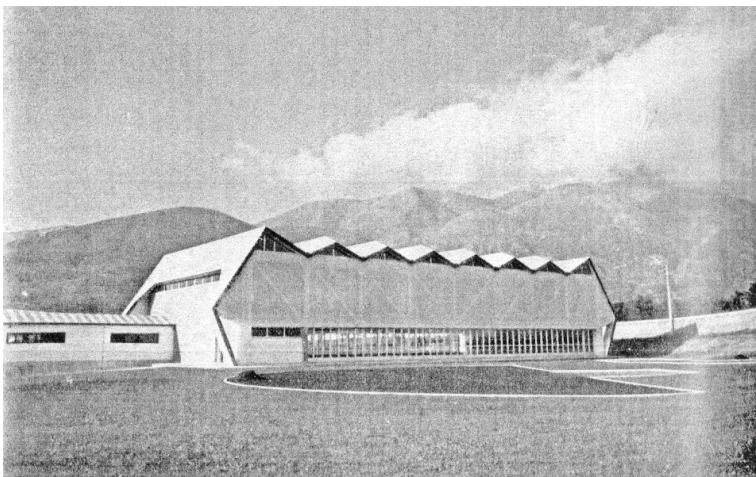


fig. 8 - Palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI, Formia, 1953-1955 (G. VACCARO 1956)

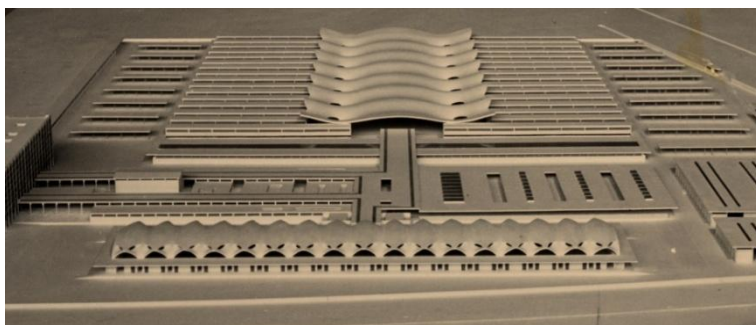


fig. 9 - Progetto dei Mercati Generali, Roma, 1958-1960 (ASMZZ, foto F18518)

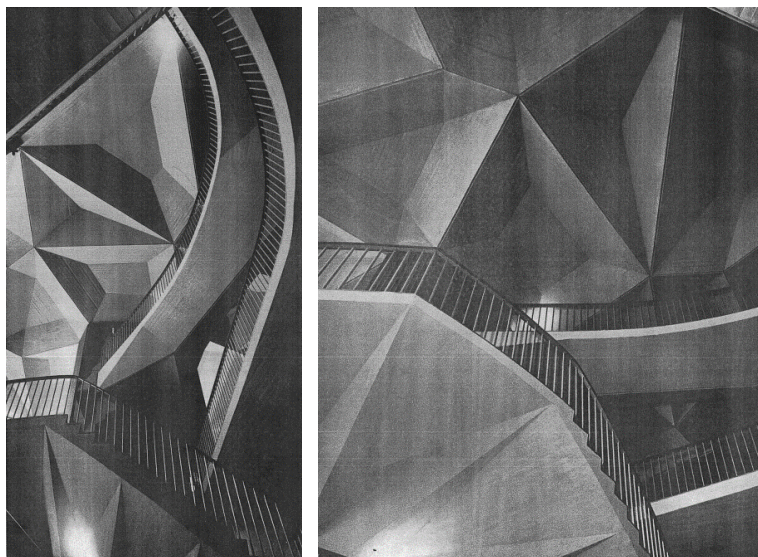


fig. 10-11 - Passerelle del foyer del teatro Regio, Torino, 1966-1970 (S. MUSMECI 1977b)



fig. 12 - Edificio della Giunta e palazzo Assessorati del palazzo della Regione, Trento, 1955-1962 (S. MUSMECI 1976)



fig. 13 - Pilastro a forma di iperboloide iperbolico a sezione ellittica nell'edificio della Giunta del palazzo della Regione, Trento, 1955-1962 (<https://www.flickr.com>, novembre/2013)

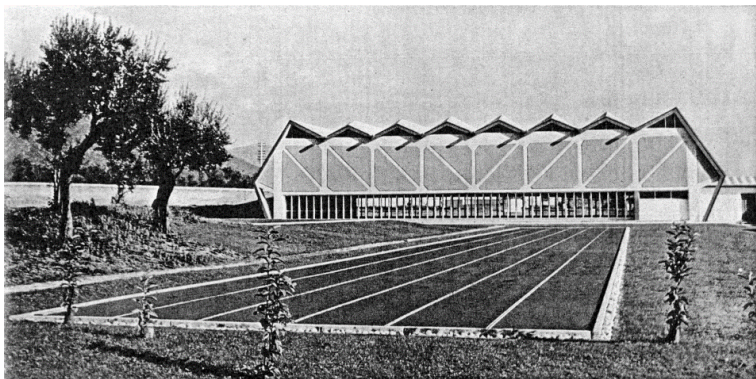


fig. 14 - Palestra della scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI, Formia, 1953-1955 (G. VACCARO 1956)



fig. 15 - Stabilimento industriale del marmo Raffo, Pietrasanta, 1956 (ASMZZ, foto F9764)



fig. 16 - Cinema di San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957 (ASMZZ, foto F18602)

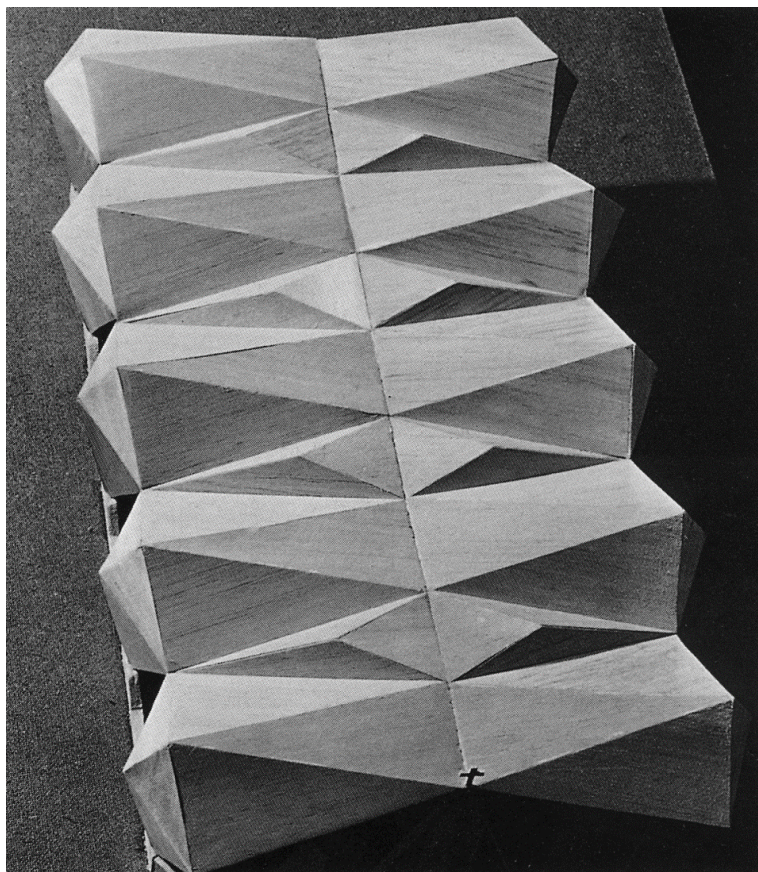


fig. 17 - Progetto della cappella dei Ferrovieri, Vicenza, 1957-1958 (M. NICOLETTI 1999b)

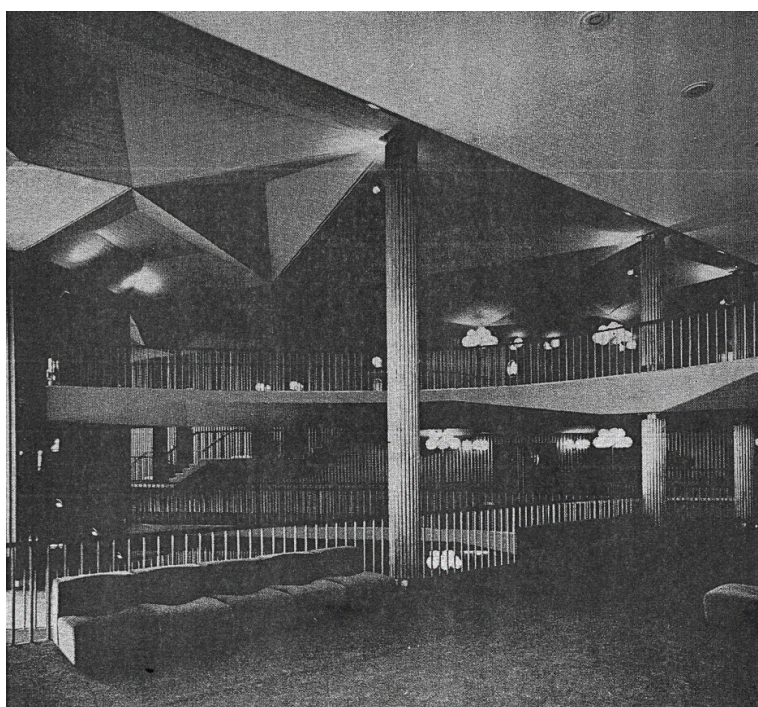


fig. 18 - Passerelle del foyer del teatro Regio, Torino, 1966-1970 (S. MUSMECI 1977b)

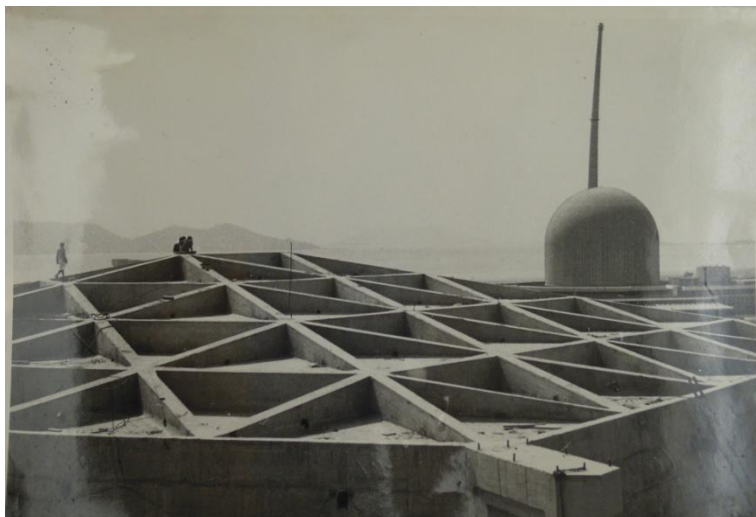


fig. 19 - Auditorium del Centro Atomico di Bombay, India, 1960-1961 (ASMZZ, foto F18839)

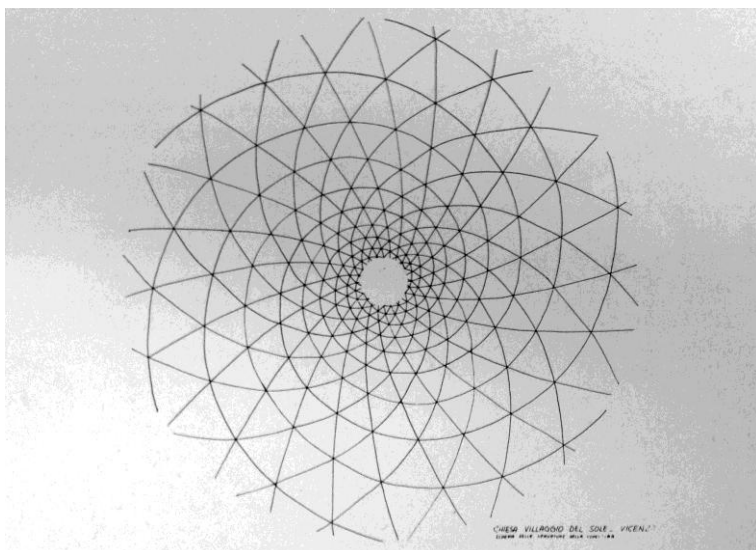


fig. 20 - Schema delle nervature della copertura della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (S. MUSMECI 1979d)

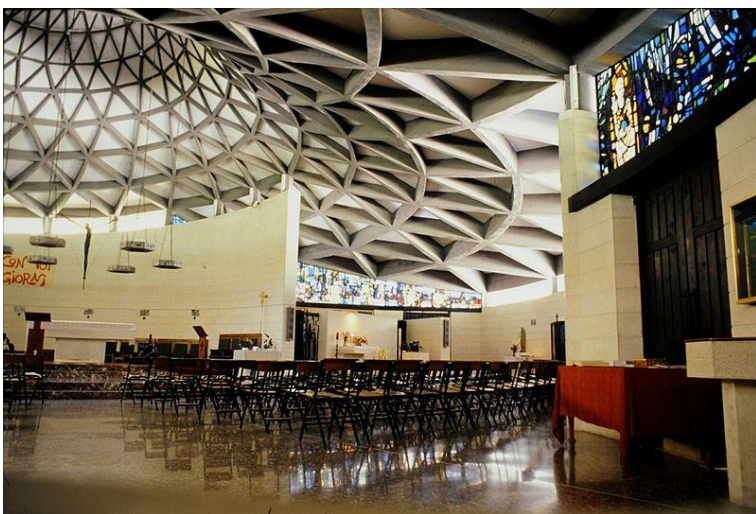


fig. 21 - Chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (A. FARESIN 2013)

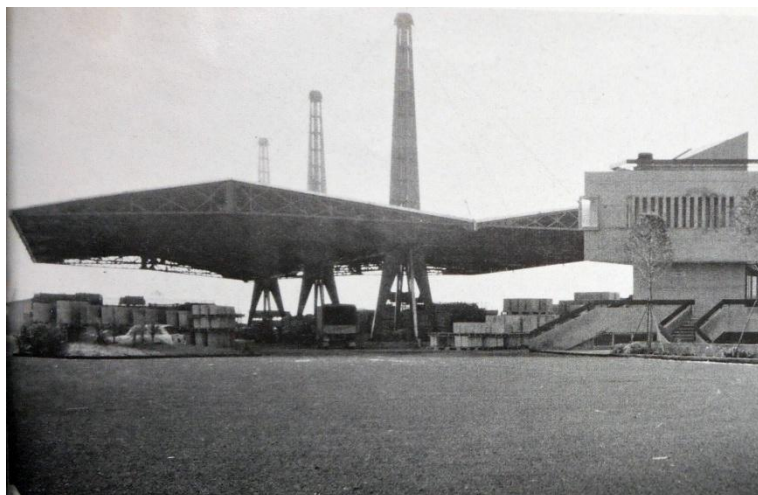


fig. 22 - Deposito Italtubi,
Roma, 1963-1965 (M.
CERRUTI 1968)

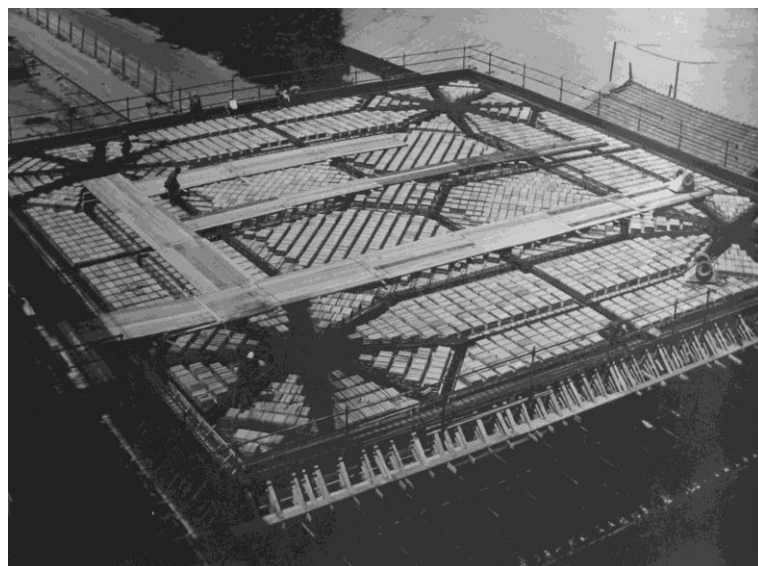


fig. 23 - Sala conferenze della
Biblioteca Nazionale in co-
struzione, Roma, 1965-1971
(ASMZZ, foto F18489)

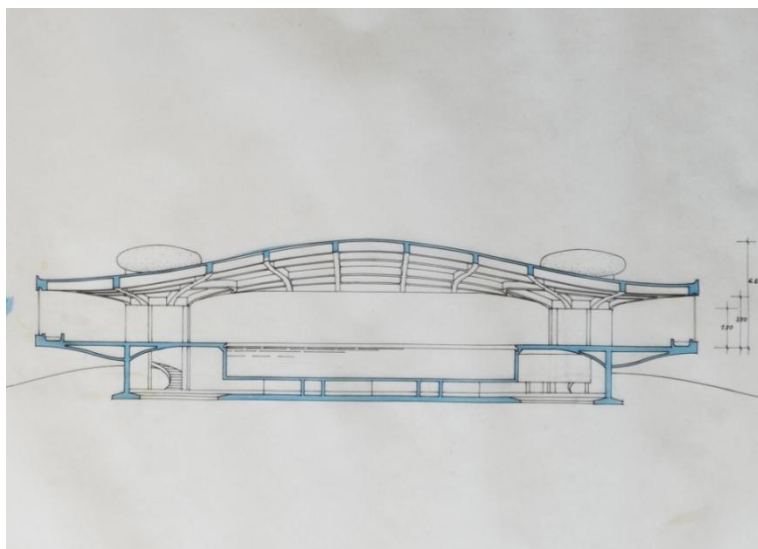


fig. 24 - Sezione del progetto
della piscina coperta tipo per
la Società Immobiliare Gene-
rale, Roma, 1973 (ASMZZ,
*Piscina Coperta Tipo - Prospetto -
Sezione in asse - 1:100 - Tav. 3,*
disegno 31380)

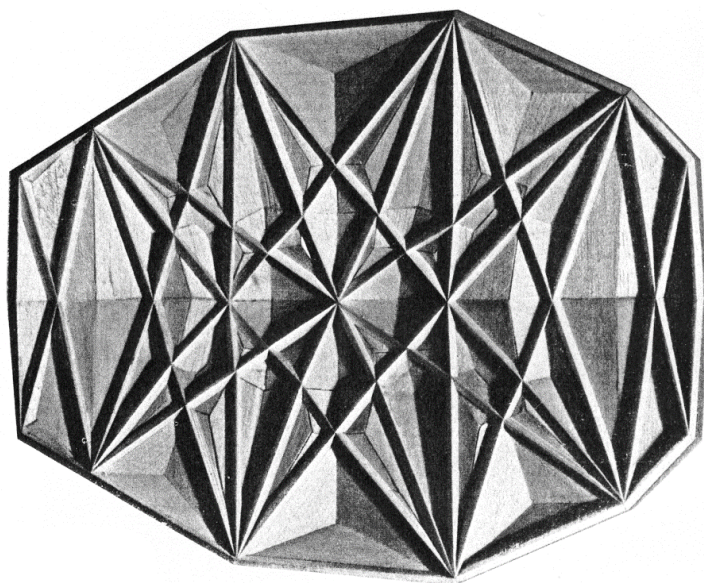


fig. 25 - Progetto del cinema Araldo, Roma, 1955 (S. MUSMECI 1956)

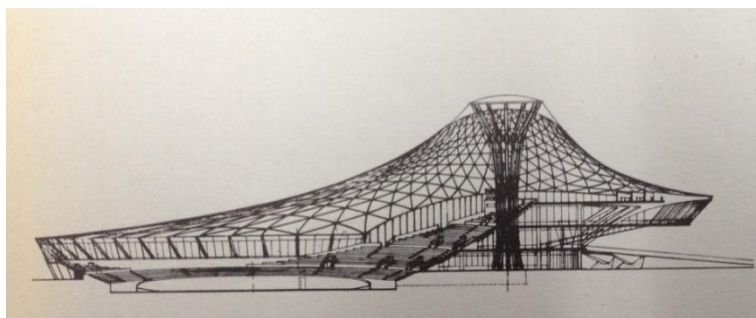


fig. 26 - Progetto del palazzo dello Sport, Firenze, 1965-1966 (*Concorso nazionale per il Palazzo dello Sport di Firenze* 1966)

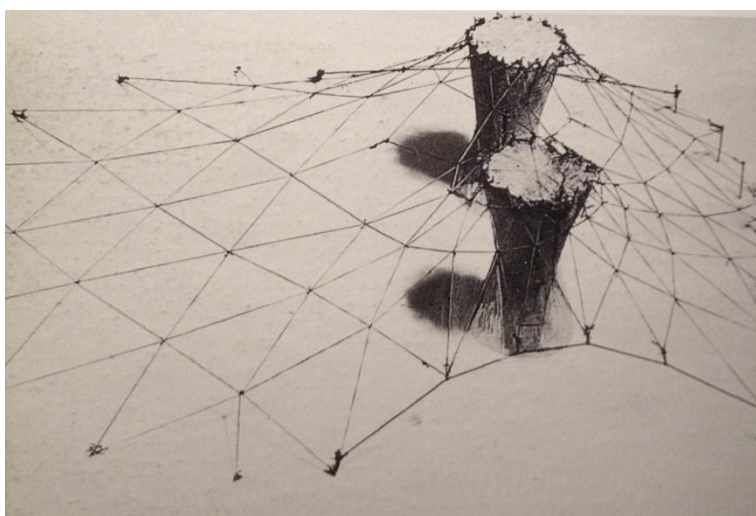


fig. 27 - Plastico per il progetto del palazzo dello Sport, Firenze, 1965-1966 (M. NICOLETTI 1999b)



fig. 28 - Chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1969-1972 (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)

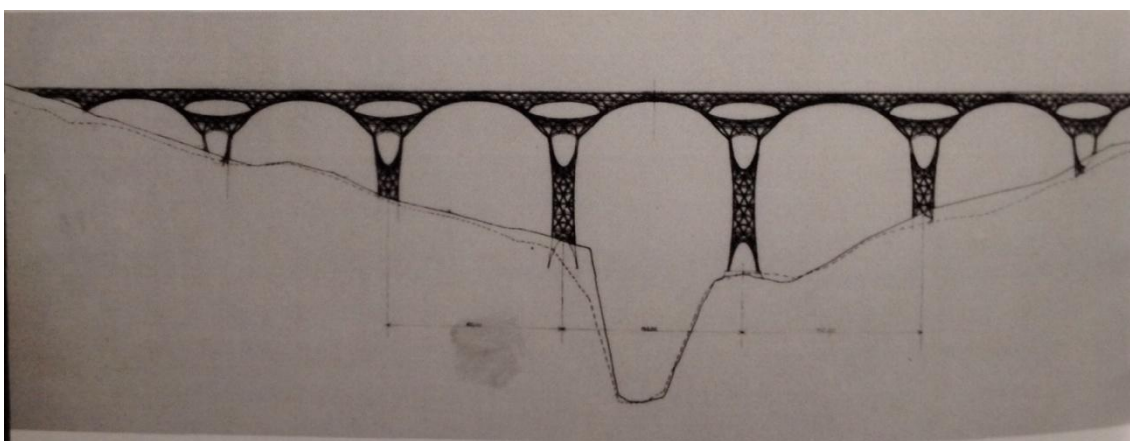


fig. 29 - Progetto del ponte sul Lao, Laino Borgo, 1964 (M. NICOLETTI 1999b)

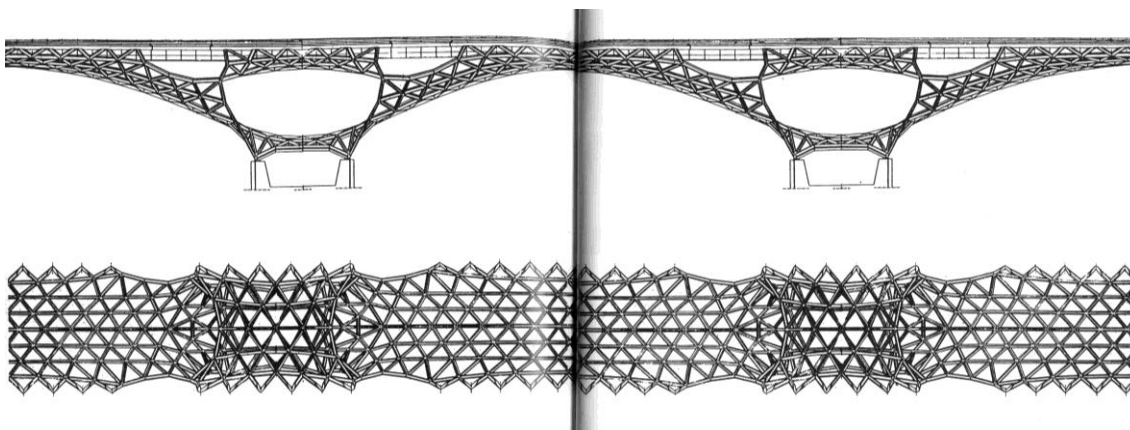


fig. 30 - Progetto del ponte sul Niger, Ajaokuta, 1977 (M. NICOLETTI 1999b)

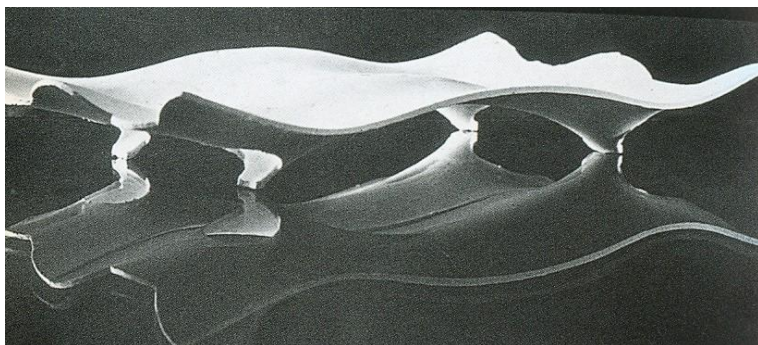


fig. 31 - Progetto dei Mercati Generali, Roma, 1958-1960 (M. NICOLETTI 1999b)

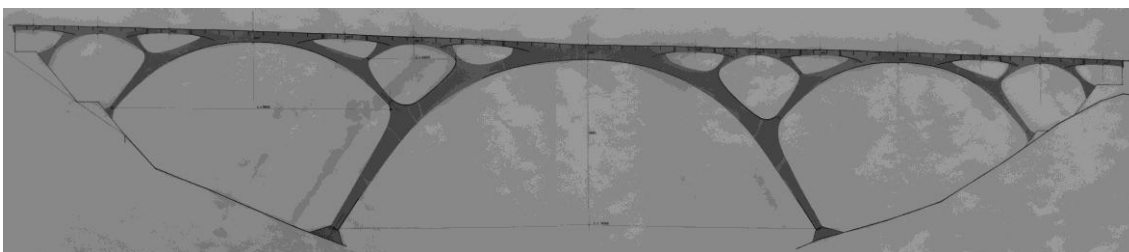


fig. 32 - Progetto del ponte sull'Autostrada del Sole, 1950 (ASMZZ, disegno 28367)

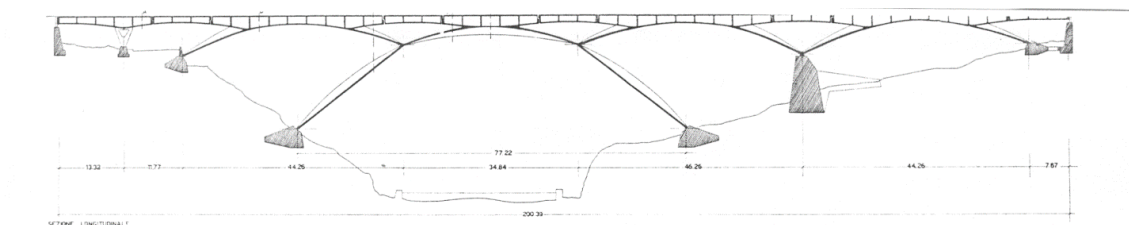


fig. 33 - Progetto del ponte sull'Astico, Vicenza, 1956 (S. MUSMECI 1957)

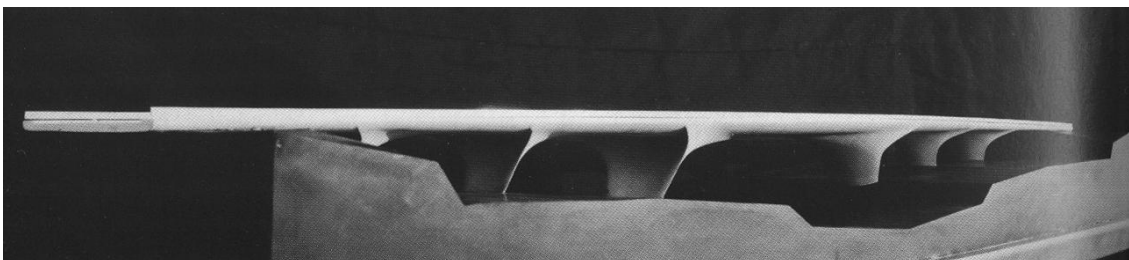


fig. 34 - Progetto del ponte sul Tevere a Tor di Quinto, Roma, 1957-1959 (C. LA TORRE 2004)



fig. 35 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

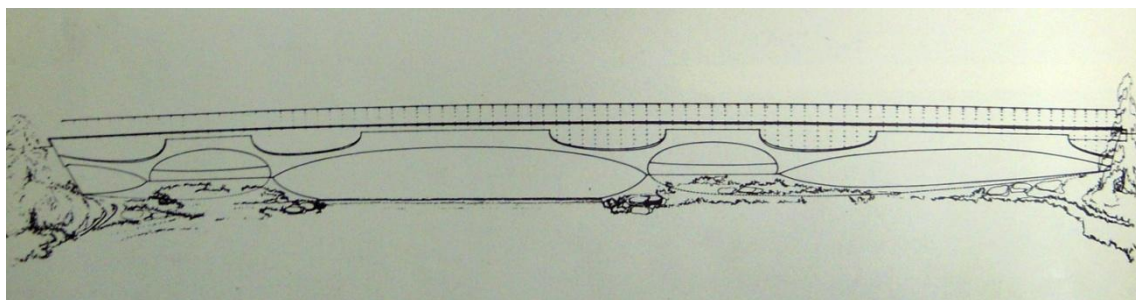


fig. 36 - Progetto del ponte urbano sul Talvera, Bolzano, 1978-1980 (C. LA TORRE 1981)

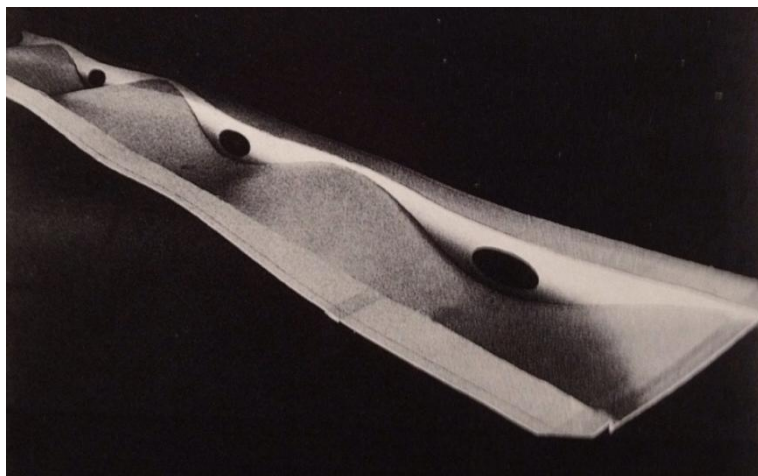


fig. 37 - Progetto del ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano, Latina, 1975-1976 (M. NICOLETTI 1999b)



fig. 38 - Mostra delle *space frames* in piazza San Salvatore in Lauro, Roma, 1979 (M. NICOLETTI 1999b)

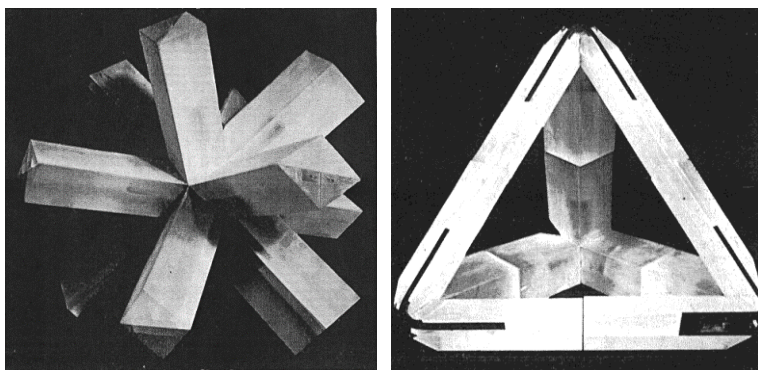


fig. 39-40 - Aste poliedriche (P. MARCONI 1982)

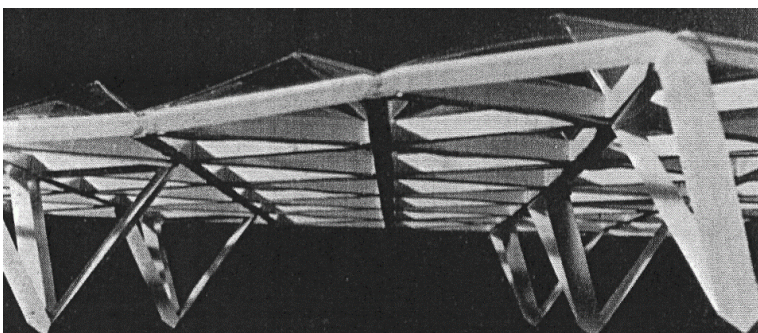
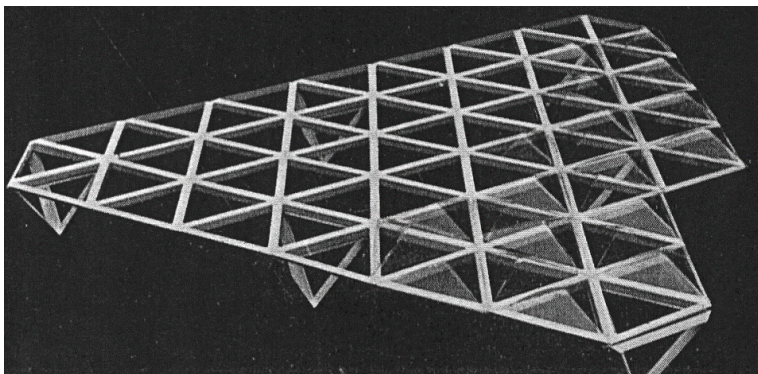


fig. 41-42 - Studio Tecnico Musmeci, sistemi di protezione di scavi archeologici in struttura reticolare spaziale, l'area della Regia, Roma (P. MARCONI 1982)



- Capitolo Terzo -

CASI DI STUDIO:

DALLA CONCEZIONE STRUTTURALE ALLA REALIZZAZIONE

3 PREMESSA

“Il compito specifico di chi progetta una struttura [è] quello di produrre una forma che rappresenti la risposta più puntuale e coerente al contesto di dati e di obiettivi tecnici che ogni volta rinnovano la sfida dell’immaginazione”

S. Musmeci¹

In questo capitolo vengono esposte, in modo più dettagliato, alcune strutture in calcestruzzo armato ideate da Sergio Musmeci. Si tratta di casi di studio individuati e selezionati tenendo conto di alcuni fattori; considerando, per esempio, quelle opere che sono state il risultato di studi e ricerche sulle membrane e sulle forme minimali, quelle che hanno contribuito ad accrescere la sua progettualità nonché quelle in cui il suo contributo è presente fin dalla fase progettuale o che comunque è risultato fondamentale per l’aspetto architettonico.

C’è sempre un filo comune “che lega tutti i suoi lavori, dai ponti alle coperture di grande luce, agli altri temi di maggiore impegno strutturale”². Al di là della tipologia da affrontare, il tema di matrice strutturale, quello in cui “la concezione architettonica prende le mosse dal fatto statico e costruttivo, viene considerato come l’occasione per ricercare una forma che, prescindendo il semplice fatto geometrico, divenga organizzazione di eventi strutturali nello spazio”³.

Come si è visto nel secondo capitolo, molte opere costituiscono il frutto della sua personale ricerca progettuale mentre in altre il suo contributo è solo in veste di strutturista; ci sono poi alcuni casi in cui Musmeci interviene con soluzioni strutturali talmente innovative ed importanti da influenzare e caratterizzare fortemente l’architettura. Fatte queste considerazioni generali sono state selezionate tre categorie di opere da analizzare: gli edifici religiosi, i ponti ed un caso di intervento sulle preesistenze.

Tra gli edifici religiosi, quasi tutti realizzati, ve ne sono alcuni in cui Musmeci dà il suo contributo fin dalla progettazione architettonica; tra questi è stata analizzata in particolare la chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), in cui l’impostazione strutturale della sottilissima copertura caratterizza l’intero impianto planimetrico. In questa chiesa si può

¹ S. MUSMECI 1974, p. 1.

² C. LA TORRE 1981, p. 40.

³ *Ibidem*.

notare come il progetto strutturale influenzi la forma architettonica generando aderenza tra forma e contenuto statico della struttura.

Sono poche le realizzazioni di Musmeci di tipo infrastrutturale; tutti i progetti, realizzati e non, costituiscono fondamentali approfondimenti di un percorso di ricerca durato trent'anni, che trova massima espressione nel ponte sul Basento a Potenza (1967-1975). Un'ultima occasione per mettere in pratica le sue idee si presenta in occasione del progetto per il viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980), opera dalle forme plastiche inserita in un contesto storico-archeologico.

L'unico esempio di intervento su un'architettura monumentale è il progetto della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio (1961-1962) in cui Musmeci risolve, con una volta sottile in calcestruzzo armato, il complesso rapporto tra antico e nuovo.

I sopracitati casi di studio sono di seguito descritti dalla fase di ideazione alla fase di realizzazione, chiarendo caratteristiche architettoniche e costruttive pensate da Musmeci. Tutto ciò che riguarda gli interventi di restauro e manutenzione, le questioni relative al trascorrere del tempo sulle opere di Musmeci, nonché la tematica della durabilità, verrà discusso nel quarto capitolo.

3.1 REALIZZAZIONI DI NUOVA CONCEZIONE: GLI EDIFICI RELIGIOSI

“La forma è ... insieme fattore risolutivo sul piano tecnico e veicolo di comunicazione sul piano espressivo”

S. Musmeci⁴

La progettazione di edifici religiosi costituisce un’ulteriore occasione per Musmeci di mettere in pratica le sue teorie. Queste opere, poco conosciute, rappresentano il concretizzarsi delle interessanti ricerche dell’ingegnere. In tutte queste opere, realizzate tra gli anni Sessanta e Settanta, ricorre l’utilizzo del calcestruzzo armato, il materiale migliore per dare vita a quelle forme ‘moderne’ che Musmeci ricercherà durante tutta la sua carriera.

La prima occasione è quella per la cappella dei Ferrovieri a Vicenza (1957-1958), l’unica mai realizzata, progettata in collaborazione con Ortolani e già menzionata nel secondo capitolo, nel paragrafo riguardante le ‘volte corrugate’.

Sempre a Vicenza viene data a Musmeci l’occasione di progettare un altro edificio religioso; si tratta della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960) progettata in collaborazione con Sergio Ortolani⁵, Antonio Cattaneo e la moglie Zenaide Zanini, che ha curato la sistemazione degli interni⁶. La chiesa di S. Carlo, a pianta centrale, presenta forme avvolgenti che riprendono l’andamento delle strade del quartiere, anch’esse curvilinee (fig. 1). È proprio l’ambiente esterno che ha generato l’idea progettuale; un unico volume aperto a tutte le visuali circostanti che si armonizza con ciò che lo circonda⁷. Si tratta di un’esperienza progettuale in cui la forma della struttura è data da una matrice più geometrica che statica⁸. Musmeci per disegnare la planimetria sperimenta le forme della *spira mirabilis*, una particolare figura geometrica presente in diverse manifestazioni naturali⁹. La copertura è anch’essa modellata secondo un sistema di spirali logaritmiche. “Il disegno

⁴ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁵ Nel 1959 l’architetto Sergio Ortolani progetta un nuovo quartiere di edilizia pubblica, il Villaggio del Sole, ai piedi del Monte Crocetta a nord della città. Il quartiere è costituito da tredici edifici residenziali; al centro si collocano i servizi ad uso collettivo tra cui la chiesa di S. Carlo; A. FARESIN 2013, p. 2, <www.ingenio-web.it>.

⁶ I confessionali della chiesa, su idea di Zenaide Zanini, sono stati ricavati nello spesso muro perimetrale; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

⁷ S. MUSMECI, S. ORTOLANI 1963, p. 350.

⁸ S. MUSMECI 1979d, p. 42.

⁹ La spirale logaritmica, anche detta equiangolare o spirale di crescita, viene descritta per la prima volta da Cartesio, ma studiata a fondo da Bernoulli nel XVII secolo. Si può osservare nella disposizione delle foglie di alcune piante (filotassi), come nelle foglie dell’aloe, ma anche nelle scaglie dell’ananas, nella conchiglia del Nautilus e nel pistillo di un fiore; in astronomia vi sono le galassie a spirale.

delle nervature segue, in pianta, tre diverse famiglie di spirali logaritmiche (formano angoli costanti con i raggi condotti dal centro), così come, del resto, le murature che racchiudono lo spazio interno e sulle quali poggiano le nervature”¹⁰. In archivio sono presenti diversi elaborati grafici¹¹ (fig. 2) nonché una relazione di calcolo in cui Musmeci spiega il procedimento geometrico e matematico con cui è stato generato il sistema a spirale: “l'intero impianto planimetrico della chiesa è basato su reticolo di spirali avente per centro la posizione dell'altare. ... Si hanno quindi tre diverse famiglie di spirali, per cui la maglia del reticolo risulta triangolare”¹² (fig. 3). Nel secondo capitolo si è visto come spesso Musmeci utilizzi in diverse occasioni la tipologia strutturale a ‘rete di travi’ per risolvere grandi coperture di edifici. La struttura di copertura presenta un comportamento statico diverso tra le zone periferiche, caratterizzate prevalentemente da sollecitazioni flessionali, ed il centro, in cui prevale un comportamento a membrana: la sezione delle nervature, che costituiscono la ‘rete di travi’, si assottiglia avvicinandosi alla cuspide centrale in cui sono presenti sforzi normali di compressione (fig. 4-6). La struttura risulta dimensionata “in modo da presentare, in ciascuna zona, la rigidezza e la resistenza che localmente vengono richieste”¹³. Ufficialmente, racconta Musmeci, il progetto della chiesa risulta firmato da Ortolani e Cattaneo, anche se in realtà l'intero progetto appartiene a lui¹⁴. Per accedere ad un finanziamento resosi improvvisamente disponibile, Cattaneo riduce la superficie della copertura da 1000 mq a 400 mq e ciò provoca la rottura dei rapporti con Musmeci¹⁵. La

¹⁰ S. MUSMECI 1979d, p. 44.

¹¹ Da uno schizzo di progetto sono chiare le intenzioni di Musmeci di utilizzare riflessioni geometriche per generare la planimetria dell'edificio; ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, disegno 28127.

¹² “Come si vede il triangolo è quasi equilatero. Si poteva naturalmente scegliere le tre spirali fondamentali in modo che il triangolo risultasse perfettamente equilatero, ma si è preferito conservare, alle inclinazioni delle spirali sulla direzione radiale, valori razionali. Solo così si può infatti ottenere che sul raggio passante per un nodo di un sistema di nervature disposto secondo il reticolo delle spirali si trovino allineati altri nodi a distanze crescenti geometricamente e inoltre che ruotando il sistema di nervature di un angolo che sia una funzione intera del giro completo, detto sistema possa ricoprirsì. L'intervallo fra le diverse nervature è stato scelto in modo che questo angolo risulti di 60°. In questo modo sono 6 i nodi di intersezione che presentano la stessa distanza dal centro”; ASMZZ, *Relazione. Calcoli cementi armati* 1960.

¹³ S. MUSMECI, S. ORTOLANI 1963, p. 351.

¹⁴ “Ufficialmente risulta firmata da altri (dall'architetto Ortolani e dall'ingegnere Cattaneo). Però in realtà l'ho fatta io tutta, completamente!”; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁵ Il calcolo delle strutture viene affidato all'ingegnere Luciano Maggi che segue i lavori di costruzione fino al completamento nel 1962; A. FARESIN 2013, p. 3, <www.ingenio-web.it>.

copertura della chiesa di Vicenza è assimilabile alla forma simbolica di una ‘tenda’¹⁶ così come anche la chiesa di Sarteano, in provincia di Siena, realizzata circa dieci anni dopo.

L'utilizzo dei sistemi reticolari nervati, o ‘rete di travi’, viene adottato da Musmeci in un edificio religioso progettato successivamente, il tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste (1960-1967); qui tale sistema strutturale è esteso all'intero sviluppo delle pareti (fig. 7). Musmeci lavora al progetto definitivo dopo essere stato chiamato dall'ingegnere Donato Abate, titolare della C.E.S.I.C.A., ditta che aveva vinto l'appalto¹⁷. In questo caso il progetto architettonico appartiene all'architetto Antonio Guacci, mentre Musmeci figura come ‘progettista dei cementi armati’; questo progetto lo impegna nella risoluzione di alcuni problemi statici e strutturali particolarmente difficili¹⁸. Il tempio Mariano sul Monte Grisa rappresenta, a detta di Musmeci, una delle esperienze più significative di quegli anni nel campo dell'architettura del cemento armato per via di una peculiare caratteristica dell'opera: “si tratta del modo in cui la componente strutturale è stata coinvolta nel contesto architettonico”¹⁹ (fig. 8). In questa costruzione, spiega Musmeci, è quasi impossibile separare “i fatti statici da quelli spaziali; il tempio è stato, con ogni evidenza, concepito come un'unità fin dall'inizio, e non come una unità da raggiungere alla fine attraverso una sintesi di diverse componenti”²⁰. L'opera è caratterizzata da chiare geometrie; è il triangolo di Eulero, triangolo isoscele con base uguale all'altezza, il motivo ricorrente. L'intero disegno è governato da allineamenti riconducibili a questa figura geometrica ed è secondo “tali allineamenti che sono stati convogliati e concatenati i flussi di forze”²¹ (fig. 9). La costruzione è costituita da tre enormi prismi trapezoidali, a tralicci di maglia triangolare, sfalsati tra loro. Vi sono due chiese, una superiore ed una inferiore, legate fra loro da una continuità spaziale: “lo spazio interno che ne risulta è unico, e unico è

¹⁶ “Vista dall'esterno la chiesa si rifà ad una figura antica, giunta fino a nostri giorni: la “tenda dei Beduini” del deserto, da cui il nome di chiesa tenda”; *Chiesa parrocchiale di San Carlo. Una tenda al Villaggio del Sole, Vicenza* 2012, p. 2.

¹⁷ Il tempio viene fatto costruire in seguito al voto fatto, dal vescovo Santin nel 1945, di costruire una chiesa in onore della Madonna per la salvezza di Trieste che rischiava la distruzione a causa della guerra. L'incarico viene affidato nel 1959 all'architetto Umberto Nordio che chiama a collaborare l'architetto Antonio Guacci; A. GUACCI 1991.

¹⁸ “Tutte le strutture sono in cemento armato gettato in opera su cassoni in legname e ... formano un'unica grande struttura con un elevatissimo grado di iperstaticità”; S. MUSMECI, A. GUACCI 1969, p. 654. Musmeci afferma che, anche se il progetto architettonico è stato ideato da Antonio Guacci, i due hanno avuto diversi colloqui di filosofia progettuale molto stimolanti; ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹⁹ S. MUSMECI, A. GUACCI 1969, p. 652.

²⁰ *Ibidem*.

²¹ Il triangolo di Eulero è un triangolo isoscele caratterizzato da una misura dell'altezza pari a quella della base e governato dal rapporto $\sqrt{5}$; *ibidem*, p. 654.

anche il comportamento statico dell'insieme"²². Le grandi pareti verticali in cemento armato sono costituite da un reticolo triangolare di nervature, in parte vetrato e in parte pieno, che viene nascosto all'interno ma rimane percepibile all'esterno. Al contrario, le pareti inclinate sono chiuse all'esterno, per cui il reticolo triangolare è visibile all'interno, come anche le coperture orizzontali dei corpi laterali²³.

La cappella del santuario Pontificio di Pompei (1964-1965) è contemporanea al tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste; questo progetto non viene mai menzionato da Musmeci e ciò porterebbe a pensare ad una semplice consulenza statica da parte sua. Tra i vari elaborati grafici conservati in archivio, però, vi è un disegno firmato da Musmeci; si tratta di una tavola riguardante la geometria della copertura della cappella, caratterizzata dalle forme geometriche del paraboloide iperbolico²⁴ (fig. 10). Tale progetto, per i caratteri costruttivi adottati, richiama altre opere dell'ingegnere; tra queste, la chiesa di Vicenza (1960) e la chiesa di Sarteano (1969-1972) per le forme a 'tenda' utilizzate e l'edificio della Giunta nel palazzo della Regione a Trento (1955-1962) per l'utilizzo di alcune forme, come l'iperboloide iperbolico, nei pilastri. Non è da escludere quindi un suo intervento attivo in questo progetto.

La chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), già citata nel secondo capitolo tra i 'sistemi equitensionali', verrà approfondita qui di seguito.

Ci sono, infine, altri due edifici religiosi, progettati in collaborazione con due grandi architetti, in cui Musmeci viene coinvolto limitatamente al calcolo delle strutture.

La prima è la chiesa di S. Gregorio Barbarigo a Roma (1970-1972), ultima opera di Giuseppe Vaccaro, già citata. Qui la struttura è costituita da travoni metallici, lasciati al colore antiruggine, e grandi pareti di calcestruzzo che avvolgono gli spazi con forme circolari che si incrociano tra loro; la luce arriva da un'apertura, anch'essa circolare, posta in alto²⁵ (fig. 11).

La seconda è la chiesa a Gibellina Nuova (1972), progettata da Ludovico Quaroni. La chiesa di Gibellina si inserisce nel programma di ricostruzione della città in seguito al

²² *Ibidem*.

²³ *Ibidem*.

²⁴ In questa tavola vengono riportate in dettaglio le superfici di intradosso delle solette di copertura; ASMZZ, Cappella del santuario Pontificio di Pompei, *Cappella Pompei. Superfici di intradosso delle solette di copertura*, disegno 61247.

²⁵ L. MORETTI 1972, p. 151.

terremoto del 1968 nella Valle del Belice²⁶. L'incarico di redigere il progetto preliminare viene conferito a Quaroni dall'Istituto per lo Sviluppo dell'Edilizia Sociale nel 1970²⁷; solo nel 1981, però, si formalizzano i rapporti con l'amministrazione comunale e l'architetto viene incaricato di redigere il progetto esecutivo. Il contributo di Musmeci per la progettazione strutturale si limita, quindi, solo alla fase preliminare, essendo scomparso proprio in quell'anno. Musmeci progetta le strutture della grande cupola-abside dalla forma perfettamente sferica, un guscio sottile in cemento armato (fig. 12-13). La sfera contiene la parte dell'aula destinata alle operazioni di culto; anche all'esterno è forte il contrasto tra la cupola-abside, in calcestruzzo a vista, ed il resto della chiesa, un parallelepipedo di pietra²⁸.

²⁶ Nel progetto di riedificazione sono stati coinvolti i principali esponenti del panorama architettonico nazionale che hanno dato vita ad un'esperienza di città di fondazione nel segno dell'arte contemporanea; *Chiesa parrocchiale a Gibellina Nuova. Ludovico Quaroni e Luisa Anversa con Giangiacomo D'Ardia e Sergio Musmeci* 2007; <www.incompiutosiciliano.org>, gennaio/2016.

²⁷ "La chiesa Madre di L. Quaroni mostra i valori simbolici e fondativi della città nuova; la pianta centrale è risolta nella dinamicità del percorso individuato dalla diagonale che congiunge l'abside con l'ingresso principale dell'aula che contrasta con la perfezione simbolica della sfera"; M. ODDO 2003a, p. 7.

²⁸ M. ODDO 2003b, p. 8.

3.1.1 LA CHIESA DI S. ALBERTO A SARTEANO (1969-1972)

La chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), in provincia di Siena, è costituita da una tensostruttura di copertura in calcestruzzo armato realizzata con la tecnica della precompressione. La chiesa viene progettata in collaborazione con l'architetto Giancarlo Petrangeli ed è situata nel centro residenziale e commerciale della zona di Colle S. Alberto.

Come già anticipato nel secondo capitolo, questo progetto rientra nella tipologia strutturale dei 'sistemi equitensionali' dove le 'reti di travi' o le 'reti di cavi tesi' vengono sviluppate da Musmeci fino a divenire sistemi caratterizzati da elementi equivalenti, aventi la stessa sezione resistente, in cui si cerca di far sì che lo sforzo sia identico in tutto il sistema e pari al massimo consentito dalla sezione. "La tendenza a integrare più elementi in un sistema unitario minimizzando l'impegno strutturale dell'insieme - spiega Musmeci - porta, quasi inevitabilmente, a ricercare la ripartizione uniforme del compito statico"²⁹. Sembra quindi "naturale giungere alla determinazione delle forme della struttura traendole proprio dalla condizione di eguaglianza delle tensioni"³⁰.

Sia l'impianto planimetrico che la forma della copertura derivano dagli studi di Musmeci per giungere ad un principio di efficienza strutturale; ne risulta così una forma di organizzazione strutturale fortemente espressiva. La copertura della chiesa è costituita da "un sistema di cavi tesi disposti radialmente a partire da un elemento verticale, il campanile, al quale sono ancorati in punti posti a quote variabili seguendo una curva ad elica"³¹ (fig. 14). La copertura è formata da una soletta sottilissima, di 6 cm di spessore, armata con una doppia rete di ferri e 'spalmata' su una raggiera di cavi di precompressione che scendono dal campanile e si innestano nelle pareti laterali, in calcestruzzo armato a faccia vista, spesse 25-30 cm. Musmeci spiega come ha origine l'andamento curvo della copertura: "Poiché i cavi sostengono un carico che aumenta linearmente in conseguenza del loro graduale reciproco allontanamento, la linea funicolare secondo la quale debbono disporsi è una curva parabolica facilmente ottenibile con il calcolo"³². A differenza di altre opere progettate a 'reti di travi' equitensionali, in questo particolare caso "i cavi non si incrociano a costituire una rete ed è quindi impossibile ottenere che la tensione sia costante lungo il loro sviluppo. Le componenti orizzontali sono state però progettate eguali per tutti i cavi e

²⁹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

³⁰ *Ibidem*.

³¹ *Ibidem*.

³² *Ibidem*.

quindi questi hanno le stesse forme. Quelli più corti cioè sono identici ad un primo tratto di quelli più lunghi”³³.

Analizzando la planimetria³⁴ della chiesa si nota un unico grande ambiente, asimmetrico, contornato da spesse pareti in calcestruzzo armato dalle curvature a volte concave e a volte convesse. La forma delle pareti perimetrali in c.a. non è casuale; queste sono infatti disegnate “in modo da assorbire facilmente le spinte perimetrali originate dalla tensostruttura di copertura”³⁵ (fig. 15). Questa aderenza tra forma e struttura, oltre a permettere il concepimento di forme espressive e moderne, contribuisce alla completa armonia dell’insieme; a detta di Musmeci è proprio questo l’aspetto più caratteristico della chiesa di Sarteano.

Lo spazio interno è caratterizzato da alcuni ambiti circolari in cui si trovano le cappelle. Alla sinistra dell’ingresso vi è la prima delle due cappelle di forma circolare dedicata alla Madonna di Lourdes. Sempre a sinistra, in fondo alla chiesa, la seconda cappella di dimensioni minori rispetto alla prima, dedicata a S. Alberto; è proprio qui che si innalza il campanile da cui si genera la tensostruttura di copertura. Il resto degli ambiti liturgici, fonte battesimale, confessionali, scanni celebrativi e cattedra vescovile, è situato all’interno di ambienti ricavati dal gioco di curve, concave e convesse. In fondo alla chiesa, sulla destra, vi è un ingresso che porta ad alcuni ambienti secondari, tra cui gli spazi destinati alla preparazione della messa; si tratta di un corpo dalle forme più regolari che si differenzia per forma e funzione dal resto della chiesa.

Come accennato prima, il profilo disegnato dalla copertura della chiesa, con la sua caratteristica forma parabolica, è assimilabile alle forme simboliche di una ‘tenda’. Sul giornale locale Montepiesi, citato nella monografia di Giovannardi, viene descritta l’opera di Musmeci come “un importante monumento di Sarteano che meriterebbe di essere più conosciuto e valorizzato”³⁶ caratterizzato dalla struttura di una tenda in cemento armato³⁷. Anche la chiesa di Vicenza, analizzata in precedenza, ha una forma che ricorda molto una ‘tenda’. Entrambe le opere di Musmeci sembrano richiamare, in scala minore, la chiesa

³³ *Ibidem*.

³⁴ ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, *Chiesa - Schema generale dell’interno - Rapp. 1:50*, disegno 28258.

³⁵ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

³⁶ F. GIOVANNARDI 2010, p. 31; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

³⁷ “La tenda è simbolo della presenza di Dio in mezzo al suo popolo, ma anche di rifugio, intesa, incontro del popolo di Dio nel suo cammino verso la dimora eterna... È sicuramente una delle Chiese più belle degli ultimi decenni in Italia”; *ibidem*, p. 32.

dell'Autostrada del Sole (1964) di Giovanni Michelucci con la sua copertura a 'tenda' in cemento armato.

In archivio sono conservati sedici elaborati grafici; tra questi figurano sei tavole strutturali firmate da Musmeci³⁸, nove tavole riguardanti l'arredo della chiesa e la sistemazione esterna firmate da Petrangeli³⁹ ed un lucido contenente una serie di schizzi progettuali riguardanti principalmente il campanile della chiesa⁴⁰ (fig. 16). Le prime tavole sono datate 1969 e riportano i disegni esecutivi strutturali grazie ai quali si è arrivati alla definizione dell'assetto planimetrico finale. Le tavole dell'architetto Petrangeli, invece, sono successive, e costituiscono il completamento del progetto. Il lucido sopraccitato, contenente gli schizzi progettuali, non è firmato; si comprende, però, che si tratta di studi strutturali relativi al campanile appartenenti sicuramente a Musmeci. Il progetto della sistemazione degli spazi interni, come detto prima, appartiene a Petrangeli, anche se sembra naturale fare un confronto con la soluzione, ideata da Musmeci e Zenaide Zanini, dei confessionali incassati negli spessi muri perimetrali nella chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960). Mentre in quest'ultimo caso vengono progettati quattro confessionali di forma rettangolare incassati nella parete, nella chiesa di Sarteano, invece, vi sono due confessionali, dalle forme semicircolari, ricavati tra le curve delle pareti perimetrali. Questa soluzione, come per la chiesa di Vicenza, dovrebbe quindi essere stata ideata da Musmeci.

Egli, nel testo dattiloscritto conservato in archivio, espone come è avvenuta la realizzazione dell'opera, in particolare della struttura della copertura della chiesa e del sistema di precompressione: "la messa in tensione è avvenuta gradualmente, a mezzo di martinetti a mano a mano che si formava la soletina di copertura per spruzzamento di cemento su una rete metallica di armatura. Finite le prese della soletina (6 cm di spessore) si è aggiunta una sovratensione nei cavi avente lo scopo di precomprimerla in modo da porla in grado di svolgere una funzione di collegamento e di assorbimento degli sforzi

³⁸ Le tavole di Musmeci riguardano: tavola esecutiva con disposizione armature, tav.1 - pianta delle fondazioni e spiccato delle murature, tav.2 - armatura inferiore delle zattere di fondazione, tav.3 - armatura superiore delle zattere di fondazione, tav.4 - armatura dei muri perimetrali, tav.5 - armatura della pensilina; ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, coll. tubo 10.

³⁹ Le tavole dell'architetto Petrangeli riguardano: arredamento e dettagli vari (scala 1:20); arredi sacri (scala 1:20); banchi (scala 1:10); sistemazioni esterne (scala 1:100); chiesa schema generale interno (scala 1:50); altari; ambone, scanni e cattedra vescovile; impianto elettrico; pluviali, pendenze; ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, coll. tubo 10.

⁴⁰ ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, disegno 28261.

secondari dovuti a condizioni di carico non uniformi”⁴¹. Nella tavola riguardante il progetto della tensostruttura di copertura sono presenti le indicazioni di Musmeci in cui egli evidenzia le fasi di messa in opera e di costruzione della struttura⁴² (fig. 17-19).

Altri esempi di tensostrutture sono dallo stesso progettate tutte negli stessi anni della chiesa di Sarteano, anche se l'unica ad essere realizzata è proprio quest'ultima; vi è il progetto per il concorso del palazzo dello Sport a Firenze (1965-1966), il progetto per il concorso del palazzo dello Sport a Milano, con Riccardo Morandi (1969), ed il progetto per il concorso del ponte sullo Stretto di Messina (1969). Mentre nei casi di Sarteano e di Firenze “la forma della copertura è quella di una rete equitesa [quindi] ogni cavo d'acciaio ha la stessa tensione di tutti gli altri e da questa condizione è stata dedotta la forma”⁴³, a Milano, invece, l'interesse è nella forma “del guscio perimetrale che supera una luce libera di 90 m nei tratti dove è più alto, bilanciando la torsione prodotta dalla sua curvatura con il tiro dei cavi della tensostruttura di copertura”⁴⁴.

Le tensostrutture costituiscono una tipologia strutturale che in quegli anni si va diffondendo per la realizzazione di coperture di grandi ambienti. Tale soluzione strutturale, spiega Musmeci, è davvero interessante perché obbliga al controllo della forma⁴⁵.

La chiesa di S. Alberto a Sarteano, verso la fine degli anni Novanta, è stata oggetto di manutenzione; nel 1996 un architetto del posto, l'architetto Fabrizio Bardelli, si è occupato del restauro della chiesa, in particolare rivolto alla protezione della copertura tramite la realizzazione di una struttura ventilata in rame soprastante.

⁴¹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁴² Fasi di costruzione: 1) disporre i cavi secondo le quote indicate servendosi dell'armatura secondaria collegata in modo da costituire un insieme praticamente rigido; 2) effettuare il getto a strati successivi (gunte) correggendo ogni volta la flessione dei cavi mediante la loro graduale messa in tensione. Controllare a questo scopo le quote. Insieme ai cavi della copertura vanno posti in tensione i cavi disposti nella parete esterna del campanile. A getto completo la tensione nei cavi deve risultare di 10,4 tonn; 3) a maturazione avvenuta (15/20 giorni) si eleva la tensione dei cavi a 22 tonn (20 tonn per i 6 cavi della parete del campanile); ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, disegno 28290.

⁴³ S. MUSMECI 1979d, p. 46.

⁴⁴ *Ibidem*.

⁴⁵ “In altra parole spingono ad usare un metodo progettuale, che in altri casi è solo facoltativo, ma che, se adottato, può consentire la sintesi di forme organicamente aderenti alla realtà strutturale: forme che non saprei dire se sono trovate o create, ma che certamente possono testimoniare la nostra cognizione della struttura, e i pensieri che danno un senso all'atto di progettarela”; *ibidem*.



fig. 1 - Veduta del quartiere del Villaggio del Sole; al centro si nota la chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (A. FARESIN 2013)

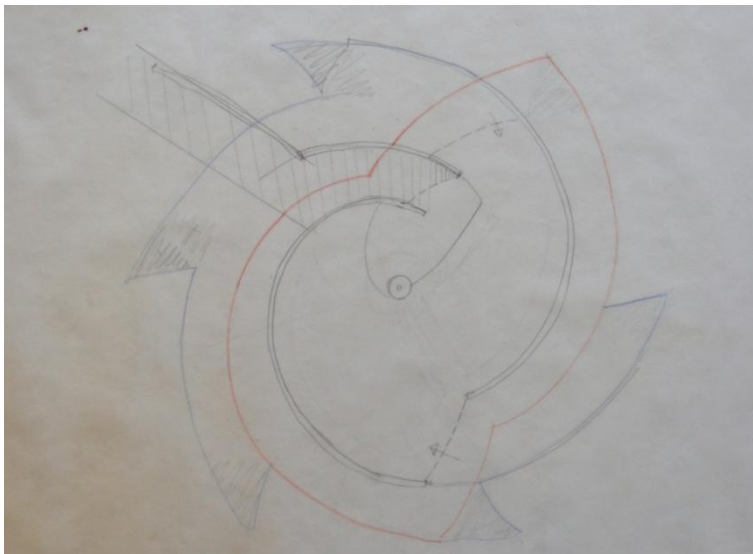


fig. 2 - Schizzo planimetrico della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (ASMZZ, disegno 28127)

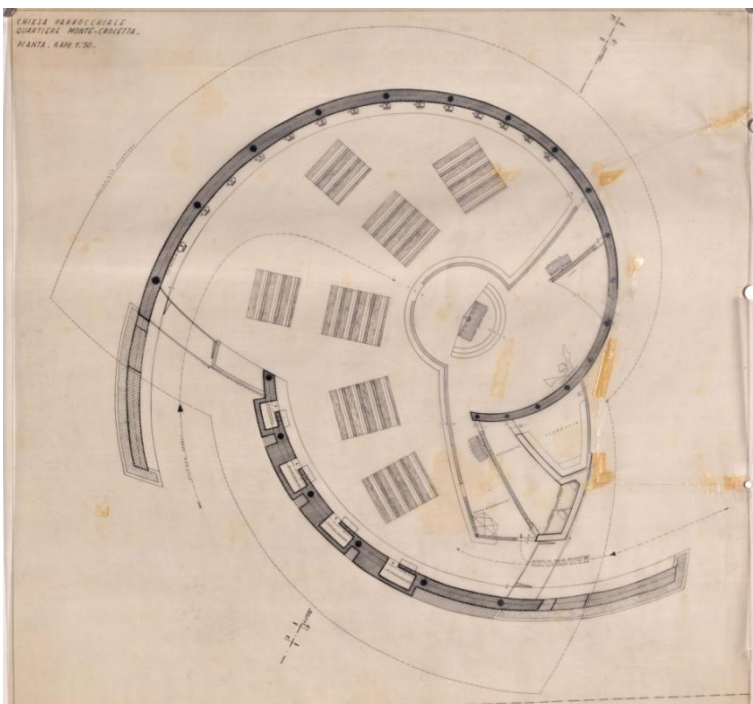


fig. 3 - Planimetria della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (ASMZZ, Chiesa parrocchiale quartiere Monte-Crocetta - Pianta - Rapp. 1:50, disegno 28117)

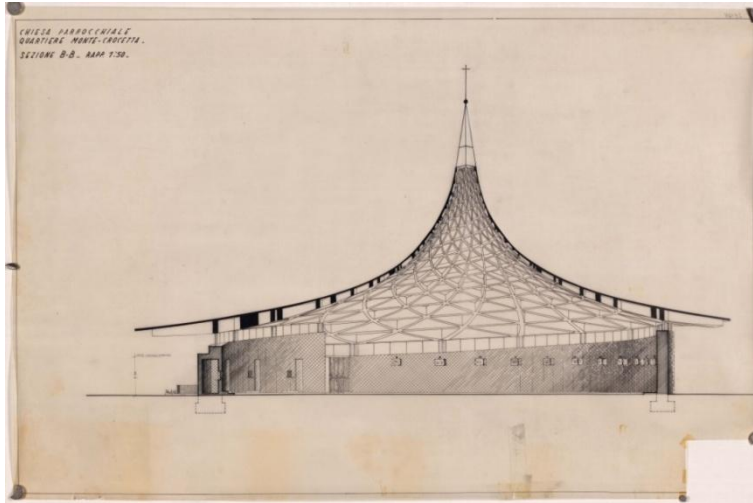


fig. 4 - Sezione della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (ASMZZ, *Chiesa parrocchiale quartiere Monte-Crocetta - Sezione B-B - Rapp. 1:50*, disegno 28125)



fig. 5 - Chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole in costruzione, Vicenza (ASMZZ, foto F18562)



fig. 6 - Copertura della chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole, Vicenza, 1960 (A. FARESIN 2013)

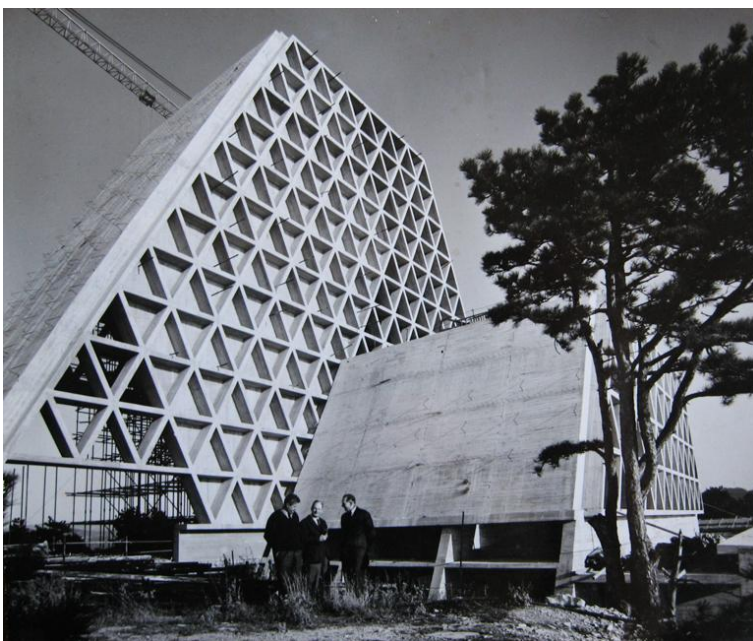


fig. 7 - Tempio Mariano sul Monte Grisa, Trieste, 1960-1967 (ASMZZ, foto F18894)

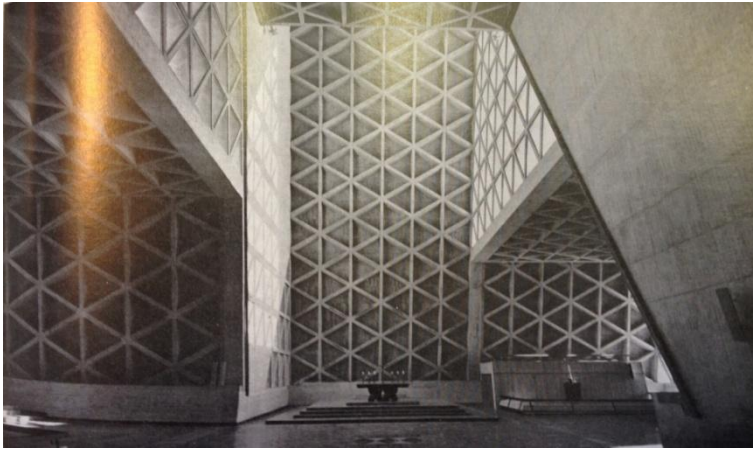


fig. 8 - Veduta interna del tempio Mariano sul Monte Grisa; in primo piano l'altare maggiore, Trieste, 1960-1967 (S. MUSMECI, A. GUACCI 1969)

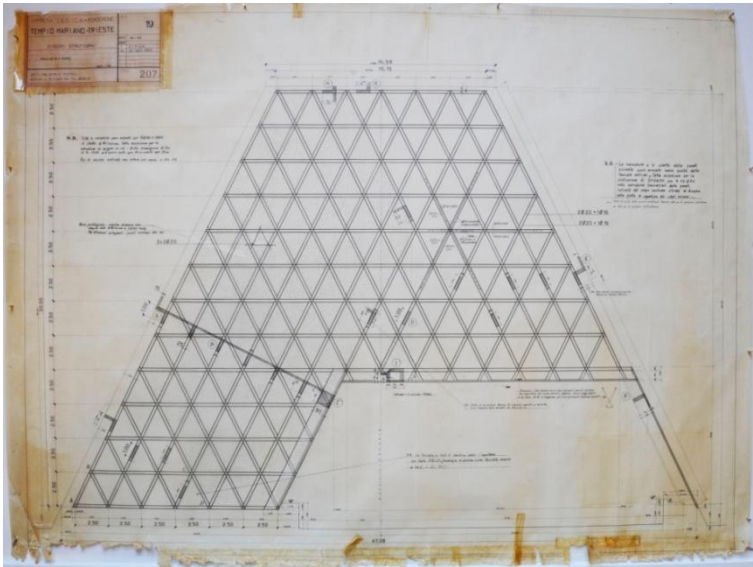


fig. 9 - Tavola esecutiva della facciata nord del tempio Mariano sul Monte Grisa, Trieste, 1964 (ASMZZ, *Tempio Mariano-Trieste. Disegni strutturali. Facciata nord. Rapp.1.50*, disegno 31141)

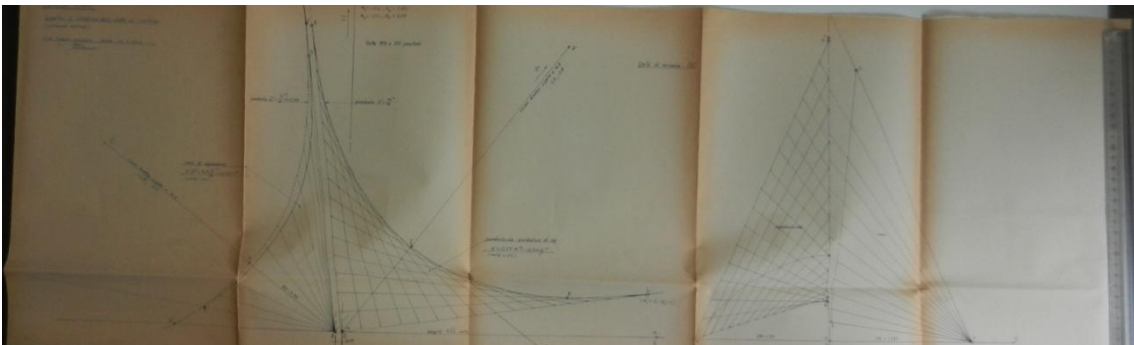


fig. 10 - Superfici di intradosso della copertura della cappella del santuario Pontificio, Pompei, 1964-1965 (ASMZZ, *Cappella Pompei. Superfici di intradosso delle solette di copertura*, disegno 61247)



fig. 11 - Veduta interna della chiesa di S. Gregorio Barbarigo, Roma, 1970-1972 (foto dell'A., 2014)



fig. 12 - Chiesa parrocchiale, Gibellina Nuova, 1972 (<http://www.simmetria.org>, settembre/2015)

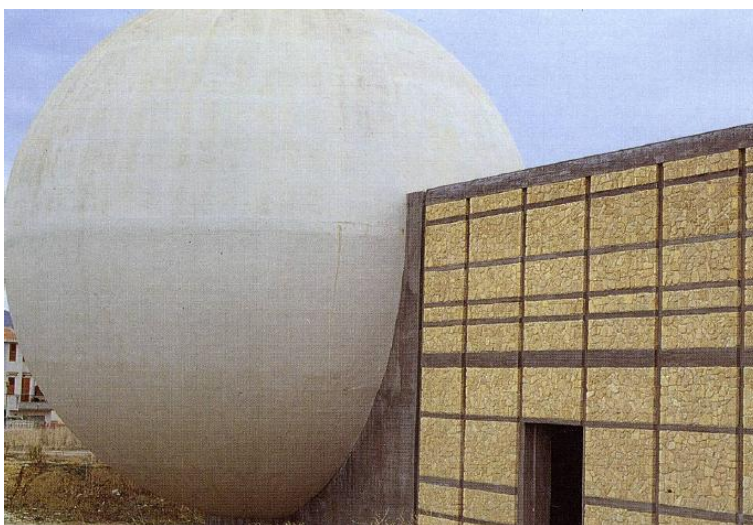


fig. 13 - Chiesa parrocchiale, Gibellina Nuova, 1972 (*Chiesa parrocchiale a Gibellina Nuova. Ludovico Quaroni e Luisa Anversa con Giangiacomo D'Ardia e Sergio Musmeci* 2007)



fig. 14 - Chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1969-1972 (ASMZZ, foto F18200)

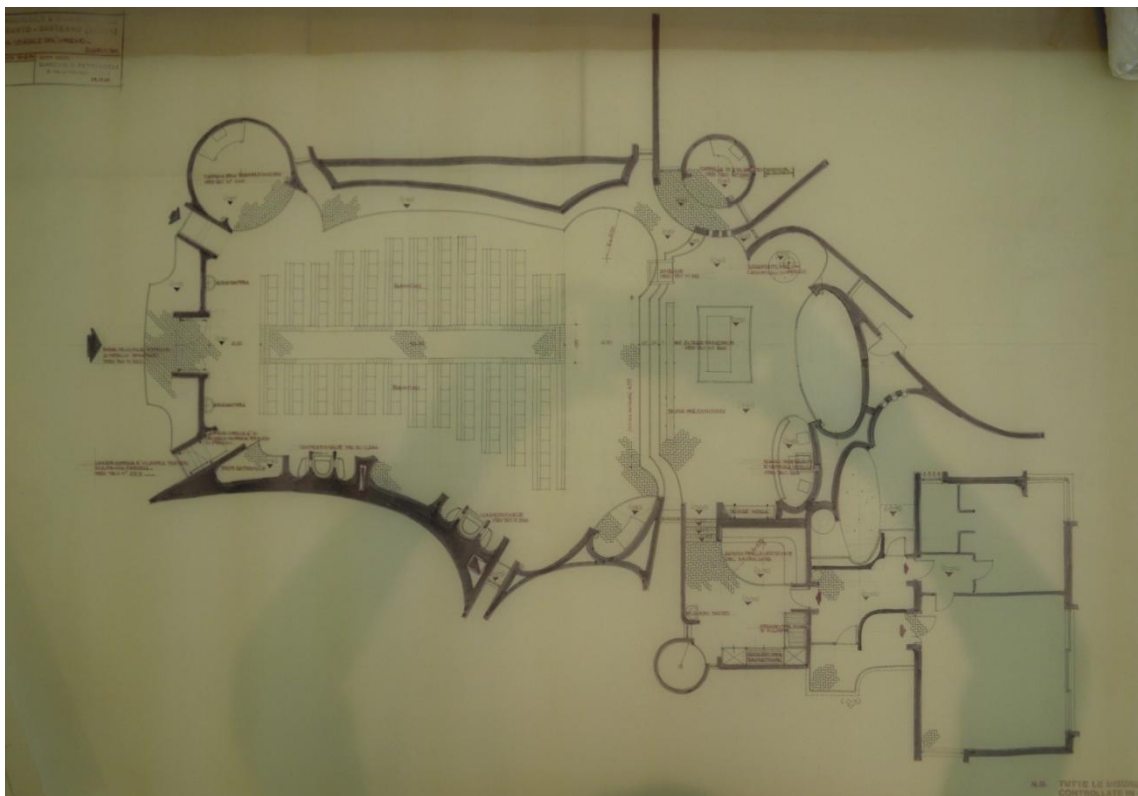


fig. 15 - Planimetria della chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1971 (ASMZZ, *Chiesa - Schema generale dell'interno - Rapp. 1:50*, disegno 28258)

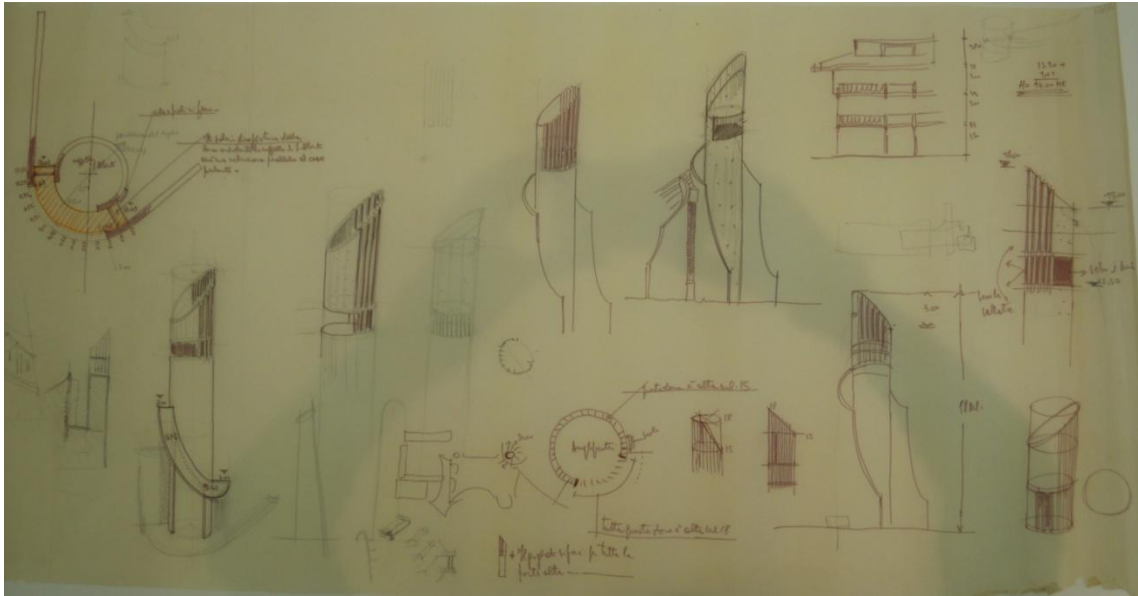


fig. 16 - Schizzi progettuali del campanile della chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1969-1972 (ASMZZ, disegno 28261)

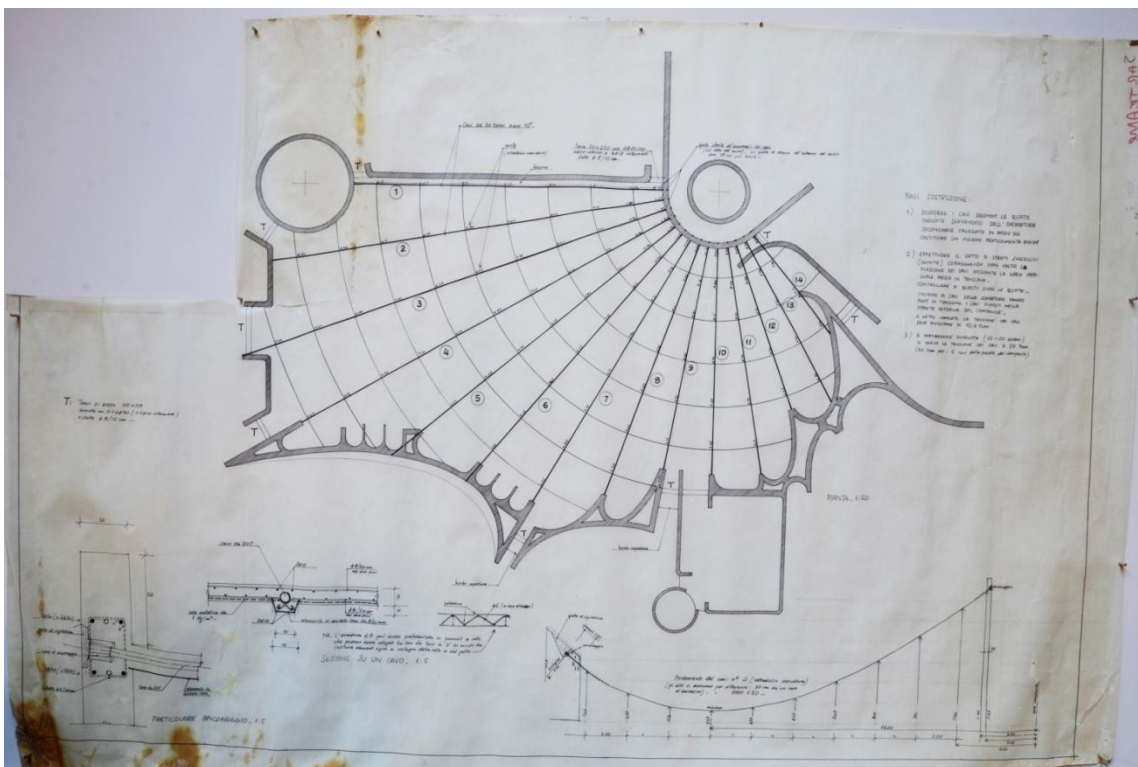


fig. 17 - Tavola esecutiva della chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1969 (ASMZZ, disegno 28290)

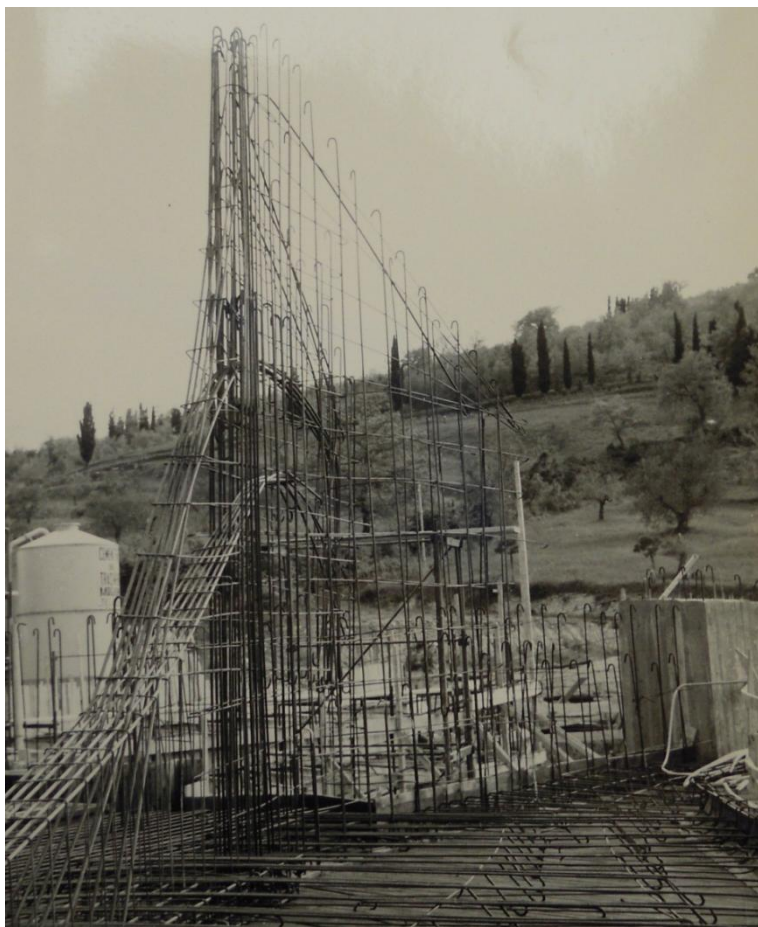


fig. 18 - Chiesa di S. Alberto in costruzione, Sarteano, 1969-1972 (ASMZZ, foto F18223)



fig. 19 - Veduta interna della chiesa di S. Alberto, Sarteano, 1969-1972 (ASMZZ, foto F18203)

3.2 GRANDI STRUTTURE: I PONTI

“L’aderenza fra forma e contenuto statico diviene un’esigenza più impellente quando si progettano i ponti”

S. Musmeci⁴⁶

Per Musmeci il tema del ponte rappresenta “uno dei temi più significativi per l’impegno statico e costruttivo che propone. Si tratta infatti di un tema strutturale ... allo stato puro e come tale capace di stimolare una continua ricerca di nuove soluzioni anche sul piano dell’espressività formale”⁴⁷. È proprio nella progettazione di ponti e viadotti che le sue ricerche teoriche hanno maggiore possibilità di sviluppo prendendo forma in soluzioni strutturali staticamente efficienti e fortemente espressive.

Come si è visto nel secondo capitolo, durante i suoi trent’anni di attività, Musmeci progetta numerose opere infrastrutturali che rappresentano il frutto delle sue personalissime ricerche, iniziate nel 1950 con il ponte sull’Autostrada del Sole (1950), e che non hanno mai trovato conclusione a causa della sua prematura scomparsa; si può affermare, tuttavia, che con il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) egli abbia raggiunto un risultato degno dei suoi studi teorici.

Per trent’anni Musmeci affronta il tema del ponte con risultati apparentemente diversi ma aventi tutti la stessa idea di base, ovvero l’uso più efficiente del materiale per giungere ad invenzioni strutturali di forme veramente ‘moderne’. Nel secondo capitolo si è parlato dei ‘sistemi equitensionali’ con il ponte sul Lao a Laino Borgo (1964) e il ponte sul Niger ad Ajaokuta in Nigeria (1977), esempi in cui egli sperimenta le aste prismatiche che rappresentano la versione discretizzata di superfici minimali studiate per altri progetti.

Tra tutte le tipologie strutturali adottate nei ponti, però, la tipologia delle ‘membrane a compressione uniforme’⁴⁸ è quella che Musmeci utilizza in più progetti: si ricordano il ponte sull’Autostrada del Sole (1950), il ponte sull’Astico a Vicenza (1956), il ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959), il ponte urbano sul Talvera a Bolzano (1978-1980), il viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran (1975-1976), il ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano a Latina (1975-1976) ed ovviamente il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975), che verrà esposto in maniera dettagliata più avanti.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 44.

⁴⁷ S. MUSMECI 1980a, p. 775.

⁴⁸ Le strutture a membrana in calcestruzzo armato, spiega Musmeci, sono state le “più significative esemplificazioni delle meravigliose possibilità di questo materiale”; ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

Un caso diverso è dato dal ponte sullo Stretto di Messina (1969) che per Musmeci rappresenta il progetto più impegnativo fra tutti quelli da lui affrontati⁴⁹. L'idea è quella di un'unica grande luce di 3.000 m, due volte e mezzo la campata massima allora esistente, e di una tipologia strutturale non convenzionale. Si tratta di una tensostruttura stabilizzata, sia verticalmente che orizzontalmente, da cavi pretesi disposti sotto l'impalcato privo di particolare rigidità flessionale con una sezione leggera ed aerodinamica⁵⁰. "Ogni dimensione è il risultato di una ricerca preliminare di ottimizzazione nell'impiego del materiale; l'introduzione di cavi obliqui per il controventamento orizzontale, oltre a conferire al ponte il fascino della terza dimensione, riduce la deformabilità sotto i carichi mobili pesanti a livelli notevolmente inferiori rispetto ad un tradizionale ponte sospeso"⁵¹. All'inizio tale proposta solleva diverse perplessità ma, in seguito, diviene la "più accreditata presso tutti coloro che hanno approfondito il problema"⁵².

Il suo ultimo progetto è il viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980), studiato come parte integrante della complessa sistemazione di accesso al parco dell'Appia Antica⁵³. Per quest'opera Musmeci propone una delle sue 'forme organiche strutturali'; opera che, come afferma Carlo La Torre, "rappresenta il punto di arrivo nel quale trovano forma compiuta alcune proposte"⁵⁴ di progetti precedenti.

Tutti i temi progettuali, nel quale è rilevante l'aspetto strutturale, presentano un medesimo problema: il rapporto fra l'espressione architettonica e la forma della struttura. Questo, spiega Musmeci, dipende dalla capacità umana di percepire un avvenimento statico che si manifesta attraverso la forma esteriore. Per cui la forma della struttura "nella misura in cui aderisce organicamente alla propria funzione statica, può divenire il veicolo di una «comunicazione» fra l'oggetto architettonico e la facoltà intuitiva del fruitore. ... Non è cioè solo osservare e magari capire da fuori, ma sentirsi coinvolti in un processo nel quale l'oggetto viene usato, al di là della sua utilità materiale specifica, come qualcosa che tocca la

⁴⁹ Nel 1969 l'ANAS e le Ferrovie dello Stato bandiscono un concorso internazionale di idee per l'attraversamento dello Stretto di Messina. Vengono presentati più di centoquaranta progetti. Il progetto di Musmeci, affiancato da uno studio urbanistico preparato dal gruppo diretto da Quaroni, ottiene il primo premio insieme ad altri cinque progetti; *ibidem*.

⁵⁰ "I cavi portanti, 2 da 1,30 m di diametro erano a loro volta sostenuti in 2 punti distanti 2000 m da stralli che riportavano il carico alla cima di antenne di acciaio speciale, alte 600 m. Tutte queste misure conseguivano da una ricerca sull'ottimizzazione nell'impiego del materiale"; *ibidem*.

⁵¹ C. LA TORRE 1981, p. 40.

⁵² ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁵³ C. LA TORRE 1981, p. 43.

⁵⁴ C. LA TORRE 2004, p. 104.

sfera dell'intelletto, in un modo ... che può anche suscitare o arricchire interessi, attivare l'immaginazione, o anche muovere un'emozione”⁵⁵.

Il suo intento è quello di progettare una struttura in grado di fornire, attraverso la forma, un'informazione completa della sua funzione caricandola di un potenziale comunicativo. Per Musmeci progettare una struttura significa “assolvere un compito statico immaginando nello spazio un sistema di forze che interagiscono in un gioco sapiente, o per lo meno non banale, di equilibri, che il materiale strutturale concretizza e rende reali ed eventualmente percepibili”⁵⁶. Tutto ciò si ottiene sfruttando al meglio le capacità resistenti del materiale, avvicinandosi ad uno schema che “minimizzi l'impegno statico permettendo che le forze fluiscano in ogni parte nel modo più naturale”⁵⁷. Questo è evidente proprio nei ponti che sono un tema statico allo stato puro. È proprio da queste considerazioni che scaturisce il viadotto di Potenza, dal desiderio di percorrere una strada alternativa che privilegi la forma della struttura risolvendo, allo stesso tempo, il problema statico.

⁵⁵ S. MUSMECI 1977c, p. 78.

⁵⁶ *Ibidem*.

⁵⁷ *Ibidem*.

3.2.1 IL PONTE SUL BASENTO A POTENZA (1967-1975)

“L’aderenza fra forma e contenuto statico - afferma Musmeci - diviene un’esigenza più impellente quando si progettano i ponti. L’importanza dell’impegno statico della struttura giustifica la ricerca di forme di massima efficienza e quindi anche di forte potenzialità espressiva”⁵⁸. In tale senso, assume particolare interesse la ricerca di configurazioni spaziali che consentano il minimo volume con un assegnato compito statico. Nel caso di un ponte tale compito consiste “nel far defluire il carico di un nastro stradale verso i punti dove potrà essere affidato alle fondazioni. Questi punti sono condizionati dagli ostacoli naturali o artificiali che il ponte è chiamato a superare ... ; al contrario il nastro stradale deve essere sostenuto in modo continuo o in punti abbastanza ravvicinati da lasciare fra essi luci libere limitate e superabili con la struttura secondaria di impalcato”⁵⁹. Il tanto diffuso schema trilitico, costituito da pile e travi appoggiate, non assolve la funzione di minimo volume in quanto all’impalcato viene imposto l’intero compito statico; si tratta solo di valutare quale deve essere lo spessore dell’impalcato, di individuare, quindi, un dato geometrico ‘grezzo’. Le pile, inoltre, trasmettono direttamente i carichi senza manifestare le interazioni tra le forze in gioco.

Musmeci riconosce a Robert Maillart di essere stato il primo nella storia a raggiungere, attraverso la progettazione di ponti in cemento armato, una perfetta integrazione tra efficienza statica ed espressione formale. L’unico limite nei ponti di Maillart era l’uso esclusivo di schemi bidimensionali; è più naturale, invece, “cercare di sviluppare il concetto di autoportanza per compressione pura nello spazio a tre dimensioni”⁶⁰.

Con il ponte sul Basento Musmeci ha finalmente “l’occasione di realizzare effettivamente una struttura la cui forma fosse dedotta da un processo di ottimizzazione del suo regime statico”⁶¹. Quella del ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) rappresenta, quindi, la concretizzazione massima delle sue ricerche teoriche. Durante l’incontro con Manfredi Nicoletti, egli cita più volte il viadotto di Potenza in quanto opera che esemplifica meglio la sua particolare progettualità; con il ponte sul Basento egli sente di aver ideato una forma veramente ‘moderna’, non classificabile in alcun modo, una forma ‘senza nome’: “Non c’era mai stata una struttura in cui lo spazio entrasse in ogni punto, producendo in

⁵⁸ S. MUSMECI 1979d, p. 44.

⁵⁹ S. MUSMECI 1977c, p. 80.

⁶⁰ *Ibidem*.

⁶¹ *Ibidem*, p. 82.

ogni punto una curvatura, una tensione continua. La volta di Potenza, secondo me, è una specie di generalizzazione, nello spazio tridimensionale, di un concetto che per secoli è rimasto piano. ... Trovo che solamente una concezione strutturale che sfrutti tutte le possibilità dello spazio tridimensionale vero, punto per punto, attraverso un continuo comporsi di forze e di tensioni, possa essere considerata una struttura moderna”⁶². Tutto ciò è stato possibile anche grazie all'utilizzo di un materiale, il calcestruzzo armato, che può assumere qualunque forma e che concede notevole libertà di espressione.

Le forme plastiche del ponte derivano da tre modelli di studio, in soluzione saponata, in neoprene ed in metacrilato, che hanno consentito di affinare sempre più la forma della volta del ponte. Il viadotto di Potenza rappresenta, dunque, il risultato di una ricerca formale che coniuga massima efficienza statica e forte carica espressiva. Come già esposto nel primo capitolo, Musmeci utilizza spesso modelli di studio come ausilio nella progettazione di strutture staticamente efficienti; si tratta di modelli che realizzano il regime statico della struttura “con sforzi di trazione anziché di compressione, ma la forma prodotta non dipende dal segno degli sforzi”⁶³. Se una forma è la migliore possibile per trasmettere i carichi in trazione, riproducendo il percorso ottimale attraverso il quale fluiscono le forze in gioco, “essa deve essere altrettanto valida per il percorso opposto, ossia in compressione”⁶⁴.

Per comprendere meglio la genesi della forma del viadotto di Potenza è necessario conoscere alcune sue opere precedenti che rappresentano tutti sviluppi delle sue ricerche; tra queste si cita il ponte sull'Autostrada del Sole (1950), per il quale Musmeci utilizza un modello che riprende successivamente per il ponte sull'Astico a Vicenza (1956) (fig. 20); si tratta di un modello antifunicolare in trazione nel quale “i pesi tendono i fili nella disposizione di trazione a cui corrisponde al vero, per simmetria, un regime di compressione”⁶⁵ (fig. 21). Con il ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959), di pochi anni successivo, Musmeci estende la ricerca della forma dal piano bidimensionale allo spazio, superando la ‘vecchia’ concezione a due dimensioni dei ponti. Per determinare la forma del ponte egli utilizza, al posto dei fili, un modello in gomma fortemente tesa (fig. 22). Nello studio dei sostegni per il ponte, caratterizzati da una particolare forma a V che curva seguendo lo sviluppo superficiale minimo, Musmeci mette in atto “tutti i principali

⁶² ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980.

⁶³ R. PEDIO 1976, p. 8.

⁶⁴ A. TURSI 2004, p. 75.

⁶⁵ *Ibidem*.

elementi della metodologia progettuale che successivamente sarà alla base del progetto di Potenza⁶⁶. Dieci anni dopo, con il ponte sul Basento, riesce finalmente a realizzare una ‘membrana a compressione uniforme’, in calcestruzzo armato, quale elemento di sostegno di un ponte⁶⁷.

Il progetto del viadotto di Potenza era stato inizialmente commissionato ad un suo amico e collega, l'ingegnere Aldo Livadiotti. Questa nuova infrastruttura doveva collegare il nucleo urbano della città con le aree industriali oltre il fiume e la ferrovia; tenendo presente che non vi erano grandi luci da superare, l'incarico richiedeva semplicemente la realizzazione di un ponte carrabile⁶⁸. La prima proposta avanzata da Livadiotti prevedeva la classica soluzione a travi precomprese poggiate su piloni; il Consorzio di Potenza, non soddisfatto, chiede un nuovo progetto che abbia un maggiore impatto formale⁶⁹. Musmeci, dopo essere stato coinvolto dall'amico Livadiotti, propone la sua idea, che viene fin da subito accettata da tutti con entusiasmo, ovvero quella di una “struttura complessa, organica, dalle forme inedite”⁷⁰. L'idea innovativa di Musmeci riscuote un certo successo; si capisce fin da subito che un'opera pubblica infrastrutturale di quella portata avrebbe dato notorietà alla città di Potenza. “Col progetto di massima, disegnato tra giugno e ottobre del 1967, il ponte viene impostato nella forma che, pur con alcune significative “correzioni”, resterà quella definitiva”⁷¹.

Musmeci racconta che, per ottenere l'approvazione del progetto preliminare, era stato richiesto un confronto economico con un ponte convenzionale in c.a.p. a travi appoggiate; a parità di costo risultò che il ponte in precompresso avrebbe dovuto avere luci libere di soli 46 m⁷².

Il ponte sul fiume Basento è costituito da un'unica struttura di circa 280 m di lunghezza ed è formato da quattro campate di 69,20 m ciascuna. La membrana in calcestruzzo armato, di 30 cm di spessore, è unica per tutto il viadotto (fig. 23). Il suo spessore è stato, però, “incrementato sui bordi in modo da ottenere gli opportuni irrigidimenti che raccogliendo la compressione della membrana si comportavano come

⁶⁶ C. LA TORRE 2004, p. 97.

⁶⁷ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁶⁸ A. VITTORINI 2004, p. 47.

⁶⁹ S. GABRIELLI 2010-2011.

⁷⁰ A. VITTORINI 2004, p. 47.

⁷¹ R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 13.

⁷² S. MUSMECI 1977c, p. 82.

archi sghembi nello spazio”⁷³. La struttura dell’impalcato, largo 16 m, è a cassone sagomato in senso trasversale con uno spessore massimo di 1,30 m; al suo interno le nervature sono poste ad interasse di 3,46 m, sia in senso trasversale che longitudinale. La struttura è interamente in cemento armato; una leggera precompressione delle nervature si ha in corrispondenza dei punti di appoggio. Tale precompressione è stata introdotta per favorire, nella trasmissione dei carichi, la comparsa di componenti orizzontali rivolte verso l’interno, necessarie per produrre la compressione trasversale della volta. In senso longitudinale lo schema dell’impalcato è di tipo ‘Gerber’ con giunti, elementi appoggiati di 10,38 m di lunghezza e mensole di 3,46 m. La membrana poggia sulle fondazioni in quattro punti per ogni campata, punti che rappresentano i vertici di un quadrato di 10,38 m di lato, mentre alle estremità “la volta si adagia sul terreno trasmettendo la spinta alle spalle”⁷⁴ (fig. 24-25).

La particolare forma della volta è stata determinata con il calcolo e controllata con i tre modelli di studio sopracitati. “Il primo compito del calcolo - spiega Musmeci - era di contribuire a determinare quale forma dovesse assumere la volta affinché in essa gli sforzi originati dai carichi permanenti risultassero di pura compressione e uniformi; la difficoltà maggiore riguardava il disegno dei bordi della volta, nei quali pure si volevano esclusi gli sforzi di flessione”⁷⁵.

Il primo modello è stato realizzato in soluzione saponata mista ad un po’ di glicerina, che ne riduce l’evaporazione, tra fili di cotone messi in tensione dalla membrana stessa (fig. 26). Si tratta di un modello tre volte più largo della struttura vera e propria perché, come detto prima, nella realtà le tensioni trasversali dovevano ridursi rispetto alle longitudinali e le curvature aumentare. Tra il modello in pellicola di sapone e la struttura del ponte vero e proprio vi sono alcune differenze sostanziali: il primo presenta solo sforzi di tensione, mentre la membrana del ponte è in uno stato di compressione uniforme; la soluzione saponata è sollecitata solo da forze di bordo, non possedendo alcun peso proprio, mentre il peso della volta del ponte è circa il 25% di tutti i carichi sostenuti. Queste circostanze, però, non hanno influenzato la forma della volta.

In preparazione del progetto di massima, Musmeci imposta una serie di calcoli per determinare l’equazione della superficie media della membrana e di conseguenza le

⁷³ La compressione della membrana non è del tutto uniforme: “in senso trasversale è circa il 10% di quella in senso longitudinale e ciò è stato fatto per proporzionare la larghezza della volta al ponte che è un oggetto a sviluppo essenzialmente longitudinale”. La compressione trasversale essendo stata ridotta molto rispetto a quella longitudinale ha comportato un aumento della curvatura; ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁷⁴ S. MUSMECI 1977c, p. 82.

⁷⁵ R. PEDIO 1976, p. 8.

coordinate della volta; si tratta di un primo calcolo che “non è una verifica statica, bensì un mezzo impiegato per ricercare una forma”⁷⁶. In questo primo calcolo Musmeci introduce un bordo fisso che si situa su piani verticali, formato da tratti rettilinei; il risultato raggiunto, confrontato con il modello in pellicola di sapone, ha una certa attendibilità salvo che in prossimità dei bordi dove le pendenze della funzione matematica diventano molto grandi, in contrasto con le ipotesi di partenza.

Il secondo modello è stato realizzato in gomma fortemente tesa, neoprene, ottenuto tenendo un pezzo di gomma con i bordi rinforzati da cordoni in gomma, per rappresentare gli elementi di bordo, all'interno di un telaio rigido (fig. 27). “Un foglio elastico fortemente teso tende ad assumere una configurazione caratterizzata dall'uniformità delle tensioni, e che quindi dipende più da queste che dalla forma iniziale del foglio non teso”⁷⁷. Nel modello i punti superiori, a contatto con l'impalcato, sono stati “vincolati a mezzo di fili e di rinvii con carrucole allo scopo di garantire l'eguaglianza delle forze vincolari trasmesse in quei punti”⁷⁸. La forma della superficie in neoprene non si discostava molto da quella ottenuta precedentemente con il calcolo.

Un terzo modello in metacrilato, di due campate, in scala 1:100, è servito per verificare la corrispondenza della forma a quella dell'idea progettuale ed è stato sottoposto a prove elastiche così da misurare le tensioni prodotte da un carico sull'impalcato grazie all'ausilio di estensimetri elettrici, per un primo parziale controllo delle previsioni di calcolo (fig. 28). Contemporaneamente è stata effettuata una verifica delle sollecitazioni prodotte dai carichi dissimmetrici e sono stati elaborati tutti i disegni di progetto preliminare. Dallo studio dei tre modelli si evince come “tutta l'architettura del ponte è basata sulla fiducia che l'equilibrio statico possa essere intuito in modo sintetico quando risulta esplicitato nella forma sensibile”⁷⁹.

In seguito all'approvazione del progetto del ponte, da parte di tutti gli enti preposti⁸⁰, si è passati alla fase esecutiva determinando la forma della volta in maniera più accurata e definitiva tramite un calcolo alle ‘differenze finite’, sostituendo alla volta continua una fitta

⁷⁶ S. MUSMECI 1977c, p. 83.

⁷⁷ Il vantaggio del modello in neoprene rispetto alla pellicola saponosa è la stabilità e la possibilità di realizzare più facilmente un rilievo; la superficie del modello è stata quadrettata per consentire il rilievo degli allungamenti e, quindi, delle tensioni; *ibidem*.

⁷⁸ *Ibidem*, p. 84.

⁷⁹ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁸⁰ Il Consorzio per l'area industriale di Potenza, la Cassa per il Mezzogiorno, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e le Ferrovie dello Stato.

rete di elementi sottoposti a sforzo normale così da tenere meglio in conto la variazione della compressione trasversale e soprattutto l'equilibrio lungo i bordi⁸¹. La metodologia di calcolo è consistita nel ricavare per approssimazione le quote di tutti i nodi; affinché il sistema fosse in equilibrio ogni quota doveva essere la media delle quote dei punti vicini ponderata in base alle lunghezze e alle tensioni degli elementi di connessione (fig. 29).

Nel mese di febbraio del 1969 si giunge al disegno delle prime tavole esecutive. L'impalcato stradale viene allargato a 16 m, la volta del ponte viene ristretta, le curvature vengono accentuate e lo spessore minimo viene portato a 29 cm. “Gli archi di bordo vengono tracciati con più cura, in modo da risultare solo compressi; vengono ispessiti ... per scongiurare il rischio di instabilità, e vengono raccordati con continuità allo spessore della membrana per evitare brusche variazioni di rigidezza”⁸².

Un quarto modello in microcalcestruzzo, in scala 1:10, viene preparato all'ISMES di Bergamo e viene sottoposto a prove elastiche e a rottura⁸³ (fig. 30-31). Tale modello è richiesto direttamente dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per l'approvazione del progetto. Il modello in microcalcestruzzo, di due campate, ha una lunghezza di 14 m, una volta spessa solo 3 cm, ed è sottoposto, con martinetti idraulici, ad una forza di varie tonnellate. Musmeci lo descrive come “un guscio d'uovo sotto una morsa. Ciò dà un'idea molto chiara dell'efficienza che si era raggiunta con la forma della volta”⁸⁴. La costruzione del modello permette, così, di “apportare gli ultimi ritocchi alla forma ottenendo una perfetta continuità”⁸⁵ della superficie. Sono stati effettuati due cicli di prove elastiche che hanno permesso di apportare alcune modifiche di dettaglio “per rendere perfetta l'aderenza fra i comportamenti del modello e del ponte reale”⁸⁶, ed una prova finale a rottura, compiuta alla fine di marzo del 1971, per determinare il grado di sicurezza globale dell'opera. Con le prove elastiche è risultato soddisfacente l'accordo tra le previsioni di calcolo ed i risultati sperimentali sul modello; a parte qualche eccezione, le sollecitazioni longitudinali hanno mostrato valori quasi costanti ovunque. Musmeci spiega che “è proprio

⁸¹ In questo calcolo sono state introdotte le componenti orizzontali degli sforzi normali dei vari elementi, equilibrate tra loro, e le quote dei punti vincolati alle fondazioni e all'impalcato; S. MUSMECI 1977c, p. 84.

⁸² R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 14.

⁸³ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

⁸⁴ S. MUSMECI 1977c, p. 86.

⁸⁵ Questo modello ha permesso un'analisi completa del regime statico di tutto il ponte e si sono potuti controllare i disturbi di tipo flessionale, specialmente per carichi dissimmetrici, che il calcolo a membrana non aveva considerato; *ibidem*.

⁸⁶ Il getto di calcestruzzo adottato per la costruzione di questo modello era di qualità inferiore rispetto a quello previsto per la realizzazione del ponte vero e proprio (tipo R=450); *ibidem*, pp. 87-88.

questa circostanza, che normalmente non è affatto verificata nelle volte sottili con forme qualsiasi non correlate al compito statico, a permettere ad una soletta di 30 cm di spessore armata con ferri $\phi 12$ disposti a rete e rinforzata soltanto sui bordi, di sostenere il carico di un ponte stradale su luci di 70 metri”⁸⁷.

L'appalto viene affidato ad un'impresa del nord, l'Impresa Edilstrade di Forlì, che, subito dopo la stipula del contratto, avvenuta il 27 novembre del 1970, si rende conto delle notevoli difficoltà costruttive. All'inizio “manifesta perplessità e avanza riserve, poi chiede modifiche sostanziali al progetto, pronta a rescindere il contratto”⁸⁸. Nonostante ciò, dopo la prova finale di rottura sul modello in microcalcestruzzo, inizia la fase di realizzazione dell'opera.

Durante la costruzione del viadotto, racconta la moglie Zenaide⁸⁹, i coniugi Musmeci si trasferiscono a Potenza per seguire il cantiere. Il progetto viene apprezzato da tutti, specialmente dalle maestranze che lavorano in cantiere: “Erano tutti entusiasti di lavorare ad un progetto così interessante ... Forse c'era anche un riflesso del senso di sicurezza che gli dava un progetto così approfondito e studiato, la continua presenza mia e di mio marito, il nostro comportamento, le nostre parole”⁹⁰. Per mancanza di tempo, racconta Musmeci, non si è riusciti a mettere a punto un sistema di parziale prefabbricazione delle strutture, o altri accorgimenti che potessero ridurre l'uso di banchinaggi; ciò ha richiesto un notevole magistero da parte dei carpentieri⁹¹. In questo, l'atteggiamento di Musmeci, dice Rinaldo Capomolla, è distante dalla condotta di altri progettisti, come Nervi e Morandi, che studiavano le soluzioni strutturali e i procedimenti esecutivi con lo scopo di ottimizzare i tempi e i modi di costruzione⁹².

Nella fase di cantiere sono stati utilizzati, quindi, dei procedimenti tradizionali: casseforme in legno su centinature in legno sorrette da ponteggi tubolari e getto in opera dell'intera struttura. “Si può dire - afferma Musmeci - che una forma certo alquanto

⁸⁷ Con la prova di rottura il collasso del modello si è avuto con un carico di 2,18 volte superiore al carico normale; bisogna poi tenere conto del fatto che il carico di rottura del calcestruzzo previsto per l'opera compiuta supera del 28% quello del modello; *ibidem*, p. 88.

⁸⁸ R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 14.

⁸⁹ A. VITTORINI 2004, p. 48.

⁹⁰ “Loro dicevano “... tanto dobbiamo sempre lavorare, dobbiamo faticare, ci pagano lo stesso prezzo, ... ma perlomeno abbiamo la soddisfazione, è una struttura che ci piace...”. Si interessavano moltissimo, avevano capito tutto della struttura”; *ibidem*, p. 47.

⁹¹ Musmeci ci tiene a dire che gran parte del merito per il risultato ottenuto va al Capo Carpentiere sig. Buattini; S. MUSMECI 1977c, p. 89.

⁹² R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 15.

sofisticata è stata realizzata con procedimenti del tutto usuali; l'opposto di quanto di solito avviene, ossia costruzione con procedimenti sofisticati di tipologie strutturali anche troppo elementari"⁹³. All'impresa costruttrice viene anche fornito un modello in gesso di un quarto di volta per facilitare la realizzazione del viadotto⁹⁴. Nella fase di realizzazione è stato preparato un grande tavolato sul quale sono state tracciate al vero le sezioni delle strutture per consentire la preparazione delle centinature (fig. 32). "L'intrinseca economicità della forma strutturale ha compensato i maggiori costi di costruzione dovuti al fatto che il progetto non rientrava nelle tipologie standard per le quali le imprese sono ormai più specificatamente attrezzate"⁹⁵. Per l'estradosso del guscio "si sono rese necessarie delle casserature interne di contenimento solo nelle zone di maggiore pendenza, il cui getto è più simile a quello dei pilastri che non di solette"⁹⁶. Il resto della volta, di pendenza più limitata, è stato invece gettato come una grande soletta. Le curvature continue "sono state modellate con getti graduali di calcestruzzo sufficientemente viscoso. Particolare attenzione e cura ha richiesto poi la stagionatura, eseguita con l'ausilio di poste parallele alle ordinate"⁹⁷.

La costruzione del ponte (fig. 33-37), avviata nel 1971 dopo la prova di rottura del modello in microcalcestruzzo, si conclude il 22 maggio del 1975 con il collaudo affidato al professor Arrigo Carè e all'ingegnere A. Brancaccio; viene effettuata una prova di carico sulla campata che scavalca la ferrovia, disponendo tre colonne di camion e ripetendo la prova sull'altro lato, nella situazione, quindi, che risultava più gravosa in base alle prove sul modello ISMES⁹⁸. "Tutte le misure sono risultate in sufficiente accordo con quelle effettuate sul modello"⁹⁹. Dopo il collaudo statico l'opera viene inaugurata nel 1976 (fig. 38-40).

Bruno Zevi dirà di essere davvero entusiasta del risultato raggiunto da Musmeci tanto che "chi ha decretato la fine della storia dei ponti dovrà ricredersi"¹⁰⁰. Zevi, andando contro la sequela di piloni e travate ribadite ovunque in Italia, segno del diminuire nel corso degli

⁹³ R. PEDIO 1976, p. 10.

⁹⁴ "Data la complessità della forma, basandosi solo sui disegni era quasi impossibile capire il progetto"; A. VITTORINI 2004, p. 47.

⁹⁵ La volta è stata costruita iniziando dalle parti situate sulle fondazioni; dopo sono state eseguite le singole campate con il reimpiego dei casseri; S. MUSMECI 1977c, p. 89.

⁹⁶ A. TURSÌ 2002-2003, p. 164.

⁹⁷ *Ibidem*, p. 165.

⁹⁸ "L'immagine della fila di automezzi sul ponte da un'idea dell'efficienza della struttura, ma l'effetto sarebbe sbalorditivo se si potesse mostrare il reale spessore del guscio, falsato dalla percezione degli spessi bordi"; *ibidem*, p. 167.

⁹⁹ S. MUSMECI 1977c, p. 98.

¹⁰⁰ B. ZEVÌ 1978, p. 151.

anni della considerazione dal punto di vista architettonico dei ponti, afferma che il ponte sul Basento rappresenta una vittoria “sull’inerzia mentale, l’assopimento della fantasia, gli ostacoli burocratici sempre interposti a qualsiasi gesto sperimentale”¹⁰¹.

Musmeci ricorda, con Nicoletti, gli anni di progettazione del ponte: “Posso ricordare, ancora, il ponte di Potenza, che adesso è costruito e ha resistito all’ultimo terribile sisma brillantemente, ma che, quando ne fu fatto il modello all’ISMES, ci costò non poche notti di preoccupazione, perché il comportamento della struttura non era ancora completamente conosciuto; in più alcuni problemi geometrici ci condizionavano e avevano portato, senza che me ne fossi accorto, a una riduzione notevole della sezione in mezzeria con conseguenti troppo forti sollecitazioni; tutto ciò ha comportato scelte e decisioni impegnative e non sempre facili. Ad esempio, la struttura inizialmente prevedeva dei giunti di dilatazione in corrispondenza delle pile, se nonché le prove sul modello dimostravano che c’era un passaggio di forze dalla volta all’impalcato difficilmente controllabile e che probabilmente al vero sarebbe stato accettabile ma che sul modello, date le dimensioni, non veniva. Bisognava allora decidere se tagliare o no l’impalcato in corrispondenza delle mezzerie, per evitare che le forze passassero; alla fine, decisi di tagliare: e feci bene”¹⁰².

L’opera di Musmeci non è, ad oggi, ancora completa. La volta del ponte doveva essere attrezzata come passaggio pedonale mentre l’area sottostante doveva essere sistemata a parco¹⁰³. Questi interventi, afferma Musmeci, “sono molto importanti per conseguire la completa fruibilità dell’oggetto architettonico, per ottenere cioè il suo definitivo inserimento, come presenza caratterizzante, nel tessuto territoriale”¹⁰⁴. Ad oggi nulla di tutto ciò è stato ancora realizzato.

Oggi è comunque possibile, seppur pericoloso, passeggiare sulla volta del ponte; mancano, infatti, i dispositivi di sicurezza. Da questa prospettiva si riesce a percepire appieno “la regola geometrica delle curvature contrapposte, camminando su una suggestiva superficie ... sovrastata dall’uniforme soffitto piatto dell’impalcato”¹⁰⁵.

¹⁰¹ *Ibidem*, p. 150

¹⁰² ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti* 1980. Dalle prove sul modello ISMES sono emerse delle tensioni ‘anomale’. L’idea di Musmeci di applicare dei tagli sull’impalcato, in corrispondenza delle selle della volta, ha fatto sì che la struttura si sia ricomposta lavorando bene a compressione senza più l’interferenza flessionale dell’impalcato; professor architetto Giuseppe Picchi, dal corso *La statica delle volte e delle cupole romane e rinascimentali*, (Roma, 26-27 gennaio), Roma 2016.

¹⁰³ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

¹⁰⁴ S. MUSMECI 1977c, p. 98.

¹⁰⁵ A. TURSI 2002-2003, p. 169.

3.2.2 IL VIADOTTO SULL'APPIA ANTICA A ROMA (1980)

Il percorso di ricerca al centro del quale si pone il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) si conclude con il viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980), sua ultima opera. Tale progetto era di estrema necessità al fine di risolvere un collegamento viario, di importanza strategica, tra la tangenziale est e i settori sud-occidentali della città di Roma ed ha rappresentato un problema di inserimento ambientale sull'antico asse viario soprattutto a causa della presenza di testimonianze archeologiche¹⁰⁶.

Il progetto, elaborato in soli tre giorni, nel Settembre del 1980¹⁰⁷, viene donato da Musmeci al Comune di Roma¹⁰⁸, “riscuotendo unanimi consensi, sia dal Comune di Roma che dalla Soprintendenza Archeologica (che rimuove il veto quarantennale al sorpasso dell'Appia), dalla stampa qualificata e dal mondo della cultura”¹⁰⁹. Musmeci voleva realizzare un ponte che costituisse “per pura forza di modellato moderno, un'opera degna del contesto antico”¹¹⁰, che rispettasse il luogo nei suoi valori storici, archeologici ed architettonici.

In realtà risulta che solo il progetto preliminare è opera di Musmeci¹¹¹. In seguito alla sua prematura scomparsa, nel 1981, i disegni esecutivi vengono affidati allo Studio CG, degli ingegneri Sergio Gaudiano e Massimo Guerrini, che riesce a rispettare solo le forme dei gusci a cui però viene tolta qualsiasi funzione statica.

In archivio sono pochi i disegni firmati da Musmeci, i quali costituiscono parte del progetto preliminare insieme alle foto del modello di studio (fig. 41-43). Il ponte è asimmetrico ed è costituito da due campate formate da gusci in calcestruzzo. Il pilastro di forma triangolare, che divide le due campate, è posizionato eccentricamente rispetto all'asse dell'impalcato, molto probabilmente per la presenza dei resti archeologici. La campata grande è attraversata da via Appia Antica, mentre la campata piccola raccoglie uno spazio pedonale dove era prevista una passeggiata tra i resti archeologici.

¹⁰⁶ C. LA TORRE 2004, p. 104.

¹⁰⁷ ASMZZ, *Ponte (Sergio Musmeci) di via Marco Polo sull'Appia Antica. Relazione 1980-1999*.

¹⁰⁸ “In una delle numerose riunioni sull'argomento, Musmeci, che nella commissione rappresentava l'IN/ARCH, ebbe uno dei suoi consueti, e lieti, impulsi di generosità; promise un progetto in dono, che stese ... in tre giorni”; R. PEDIO, P. CONSAGRA, M. DESIDERI, G. GUALA, C. LA TORRE 1988, p. 9.

¹⁰⁹ ASMZZ, *Ponte (Sergio Musmeci) di via Marco Polo sull'Appia Antica. Relazione 1980-1999*.

¹¹⁰ R. PEDIO, P. CONSAGRA, M. DESIDERI, G. GUALA, C. LA TORRE 1988, p. 9.

¹¹¹ S. GABRIELLI 2010-2011, pp. 126-137.

Una seconda serie di tavole documenta l'avanzamento del progetto con alcuni dettagli sulla struttura: era previsto un sistema di nervature, armate con cavi di precompressione, che doveva collegare le due campate e che sembra ricalcare le linee isostatiche della volta (fig. 44).

L'intenzione di Musmeci era quella di redigere il progetto esecutivo nel 1981 per iniziare i lavori nel 1982 ma, come accennato prima, egli scomparve il 5 marzo del 1981. Nel 1982 viene indetta la gara d'appalto per la costruzione del ponte ma la ditta vincitrice si rende subito conto delle difficoltà di realizzazione per la mancanza dei disegni esecutivi; allora subentra lo Studio CG che ha l'incarico di redigere il progetto esecutivo, con la consulenza artistica di Zenaide Zanini¹¹².

Con l'inizio dei lavori, nel 1983, vengono alla luce altri ruderi nella zona sottostante la spalla della campata maggiore che impongono ai progettisti di trovare una soluzione; in accordo con la Soprintendenza vengono scelti solo due punti sui quali poggiare la struttura, "posti non a interassi astratti, ma esattamente laddove, nell'indicazione della Soprintendenza, non turbassero i residui antichi"¹¹³.

Il problema principale, per gli ingegneri dello Studio CG, è stato quello di determinare la geometria del ponte; il loro intento era quello di mantenere il più possibile le linee progettuali di Musmeci, per preservarne la memoria, ma a causa delle difficoltà esecutive ricorrono a diversi espedienti e accettano compromessi sulle scelte strutturali. Il guscio "diviene una vera e propria tamponatura in calcestruzzo spessa 20 cm atta solo a riprodurre il disegno originale. Dietro a questo è presente la vera struttura portante, composta da due pilastri di 1,40 metri di diametro posti nei punti indicati dalla Soprintendenza. ... La spalla verso [via Marco Polo], invece, è composta da un blocco unico in cemento armato modellato in modo tale da ricreare la forma del guscio, sul quale l'impalcato non appoggia, per non trasmettere un carico eccessivo sulla pila e sulla spalla"¹¹⁴. L'impalcato, di tipo a cassone pluricellare, è largo 21,30 m; lo spessore della soletta varia tra i 20 cm e i 35 cm in

¹¹² Nel 1983 Zenaide Zanini produce una nuova serie di tavole con sezioni trasversali e longitudinali del ponte e diversi elaborati grafici relativi alla geometria dell'intradosso della volta.

¹¹³ R. PEDIO, P. CONSAGRA, M. DESIDERI, G. GUALA, C. LA TORRE 1988, p. 12.

¹¹⁴ "A influenzare notevolmente la soluzione strutturale adottata è la forma del pilone centrale (di circa 7 m di base e altrettanti di altezza) e soprattutto la sua posizione eccentrica che sottopone l'impalcato a torsione, innescando contemporaneamente sforzi di trazione all'interno del pilone stesso valutati, per il solo peso proprio, in 210 tonnellate. L'impalcato perciò viene incernierato alla pila e ancorato ad essa per mezzo di un tirante. Inoltre, ad equilibrare il momento torcente, viene creata una coppia bilanciante con un sistema formato da un martinetto idraulico e da un tirante, entrambi posti nella spalla verso viale Marco Polo, con lo scopo di ancorarvi anche l'impalcato"; S. GABRIELLI 2010-2011, pp. 126-137.

base allo sviluppo della curvatura della volta. L'interno dell'impalcato è costituito da un graticcio di nervature caratterizzato da sette travi longitudinali e otto trasversali; all'interno delle travi sono posizionati i cavi di precompressione. La sezione longitudinale dell'impalcato "mostra una soletta superiore piana e una inferiore con concavità verso il basso, per seguire l'andamento a guscio delle campate"¹¹⁵ (fig. 45). I gusci della volta presentano una superficie martellinata in cemento bianco a faccia vista.

L'organizzazione del cantiere è risultata abbastanza complessa per la presenza sia dei resti archeologici che della ferrovia; "inoltre per la fabbricazione delle casseforme è stato necessario ricorrere a mastri d'ascia con esperienza in cantieri navali"¹¹⁶ (fig. 46).

È da attribuire interamente a Zanini il progetto di spazi fruibili dai pedoni, spazi collegati ad un percorso di visita dei resti archeologici situati al di sotto del guscio. La sistemazione dell'area, progettata da Zanini nel 1980, prosegue per diversi anni, fino al 1999¹¹⁷; il progetto doveva essere parte integrante della sistemazione di accesso al parco dell'Appia Antica¹¹⁸ mai realizzata.

Gli ostacoli "nel realizzare un'opera di Musmeci senza il suo diretto controllo, sono stati forti in tutti gli interessati, compresa forse l'appassionata continuatrice; combattuti (immaginiamo) tra il peso della responsabilità e l'intento di proseguire, in nome di Sergio Musmeci, il suo generoso lavoro, e con esso l'attestazione di linguaggio moderno, su un manufatto tecnologicamente non impegnativo per lui, ma culturalmente e percettivamente decisivo"¹¹⁹. Nonostante ciò il viadotto romano rimane comunque una testimonianza del lavoro di Musmeci (fig. 47-48).

¹¹⁵ *Ibidem*.

¹¹⁶ *Ibidem*.

¹¹⁷ "Progetto lavori di completamento opera e manutenzione e sistemazione area archeologica (opera 106). Arch. Zenaide Zanini Musmeci, 1999"; ASMZZ, *Ponte sull'Appia (progetto ex 580) documenti* 1980-1999.

¹¹⁸ C. LA TORRE 2004, p. 104.

¹¹⁹ R. PEDIO, P. CONSAGRA, M. DESIDERI, G. GUALA, C. LA TORRE 1988, p. 12.

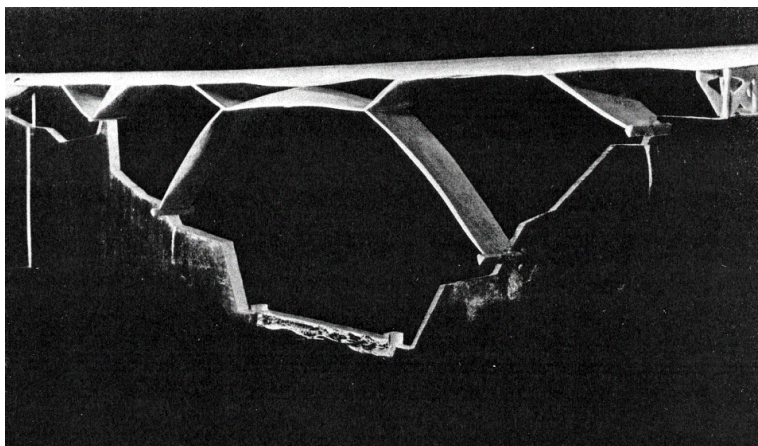


fig. 20 - Progetto del ponte sull'Astico, Vicenza, 1956 (S. MUSMECI 1957)

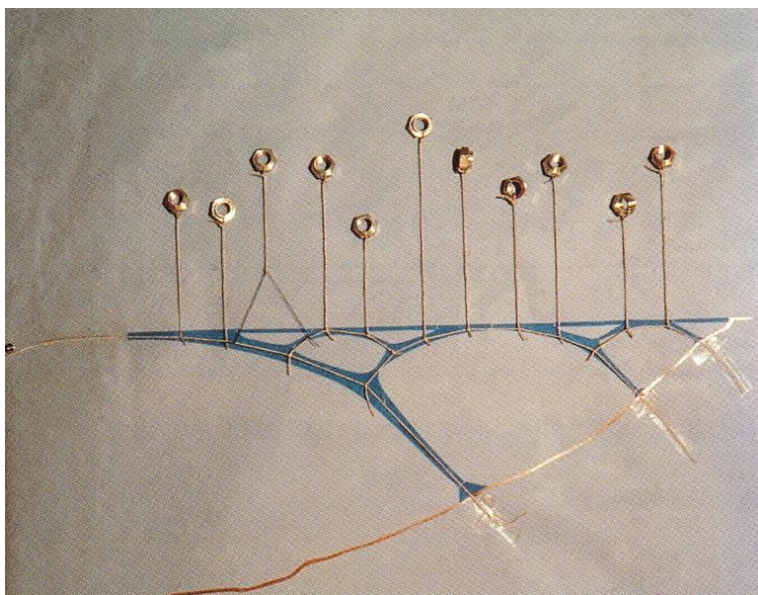


fig. 21 - Modello antifunicolare in trazione per il progetto del ponte sull'Autostrada del Sole, 1950 e, successivamente, del ponte sull'Astico, Vicenza, 1956 (M. NICOLETTI 1999b)

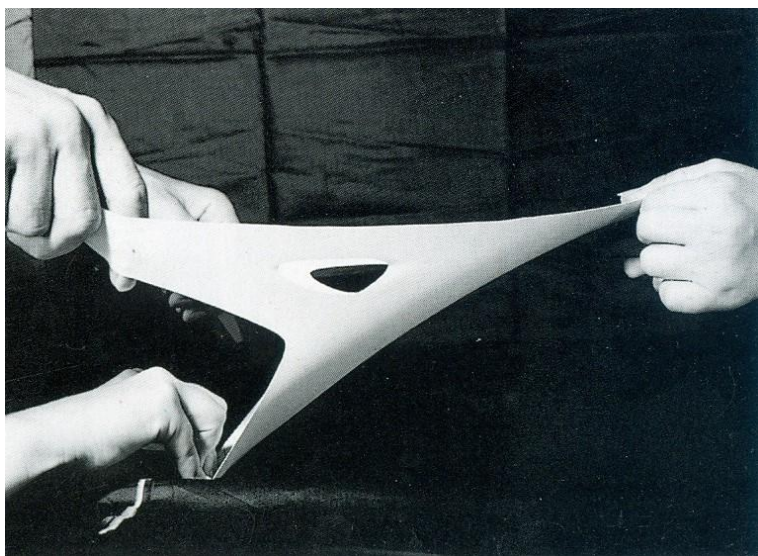


fig. 22 - Modello in gomma tesa per il progetto del ponte sul Tevere a Tor di Quinto, Roma, 1957-1959 (M. NICOLETTI 1999b)

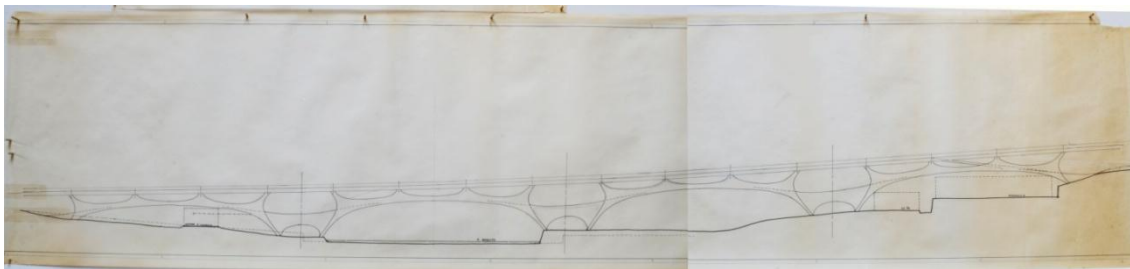


fig. 23 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (ASMZZ, disegno 27890)

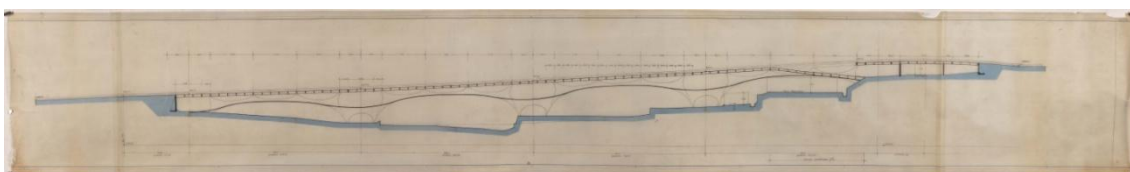


fig. 24 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (ASMZZ, disegno 27892)

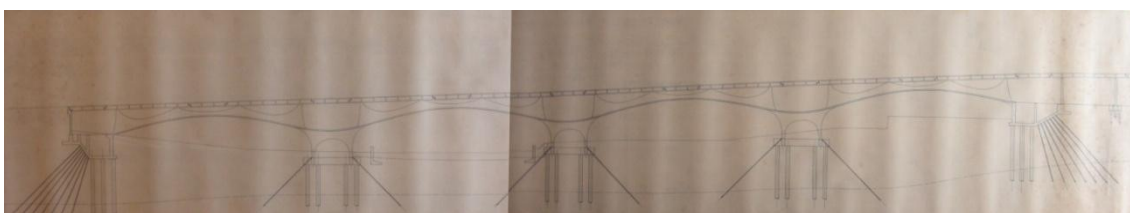


fig. 25 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (ASMZZ, disegno 28191)

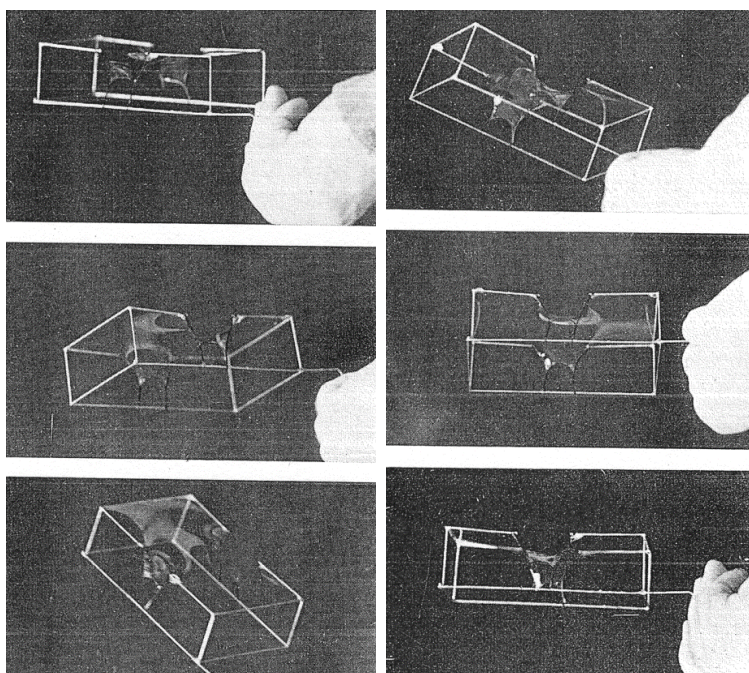


fig. 26 - Primo modello in pellicola di sapone (S. MUSMECI 1977c)



fig. 27 - Secondo modello in neoprene (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

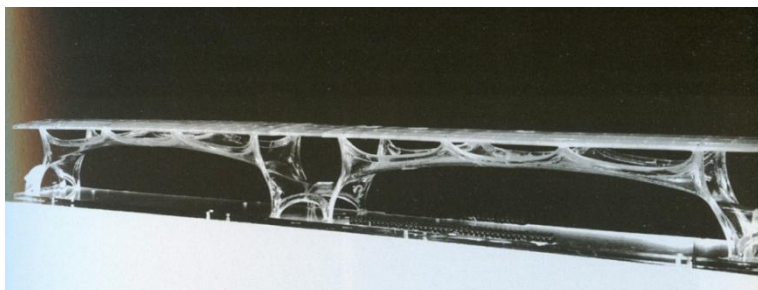


fig. 28 - Terzo modello in metacrilato (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

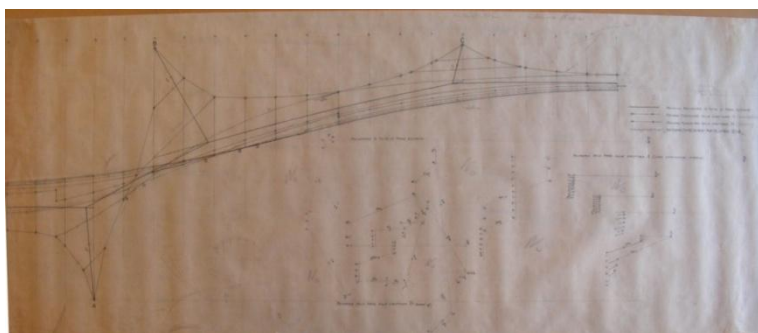


fig. 29 - Verifica grafica in base ad uno schema semplificato (ASMZZ, disegno 28247)

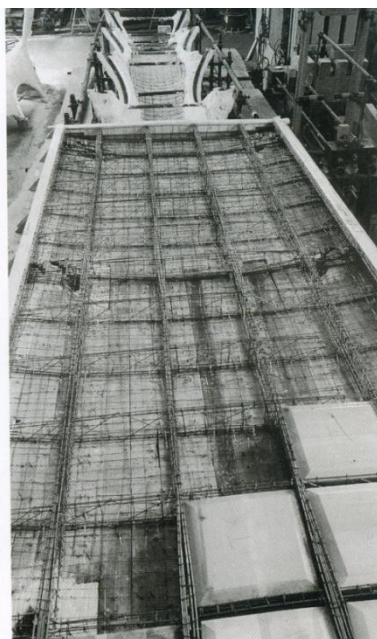
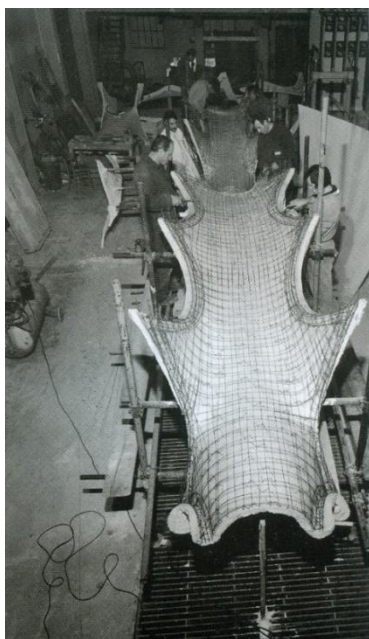


fig. 30 - Quarto modello in microcalcestruzzo (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

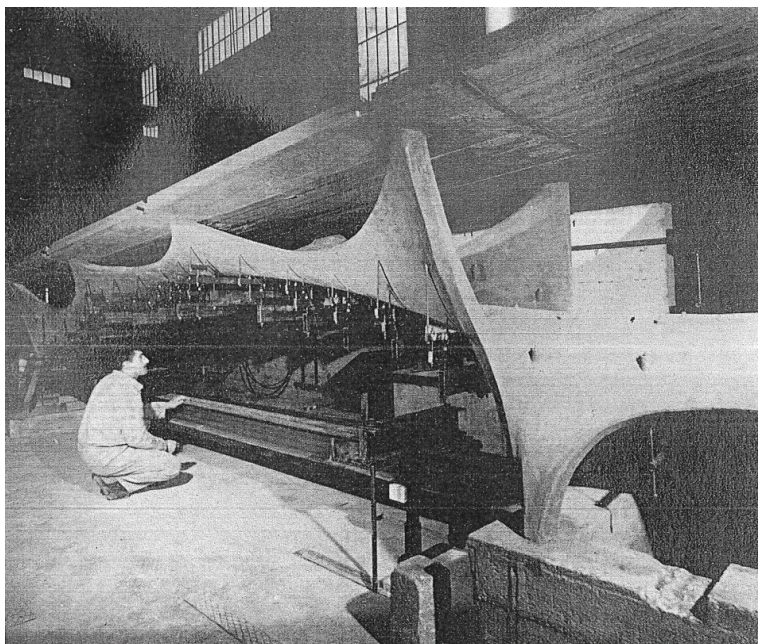


fig. 31 - Prove di laboratorio sul modello in microcalcestruzzo (S. MUSMECI 1977c)

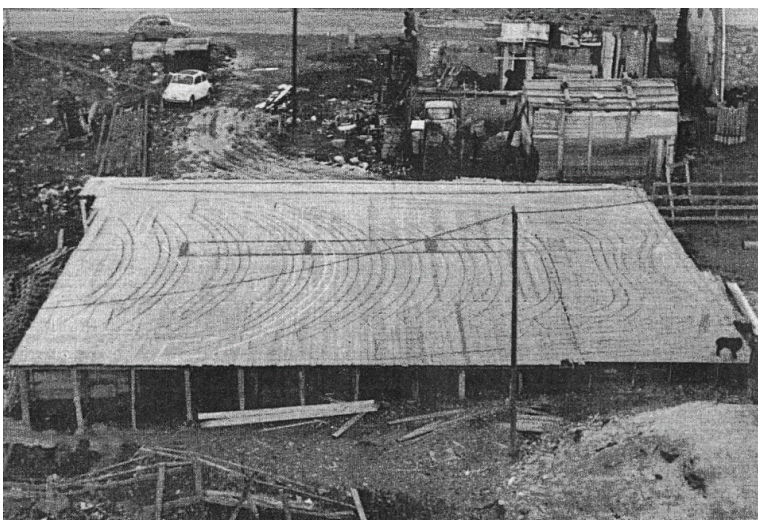


fig. 32 - Tavolato per il tracciamento al vero delle centinature della volta del ponte (S. MUSMECI 1977c)



fig. 33 - La volta del ponte in costruzione, Potenza, 1967-1975 (S. MUSMECI 1977c)

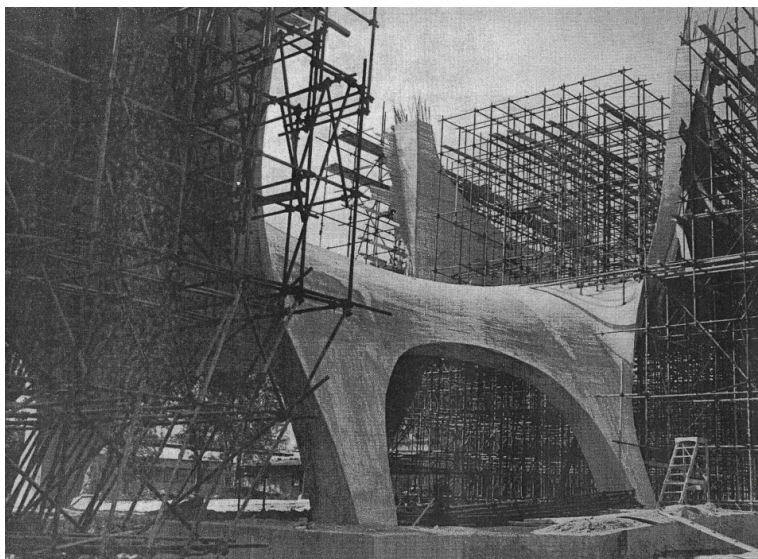


fig. 34 - La volta del ponte in costruzione, Potenza, 1967-1975 (S. MUSMECI 1977c)

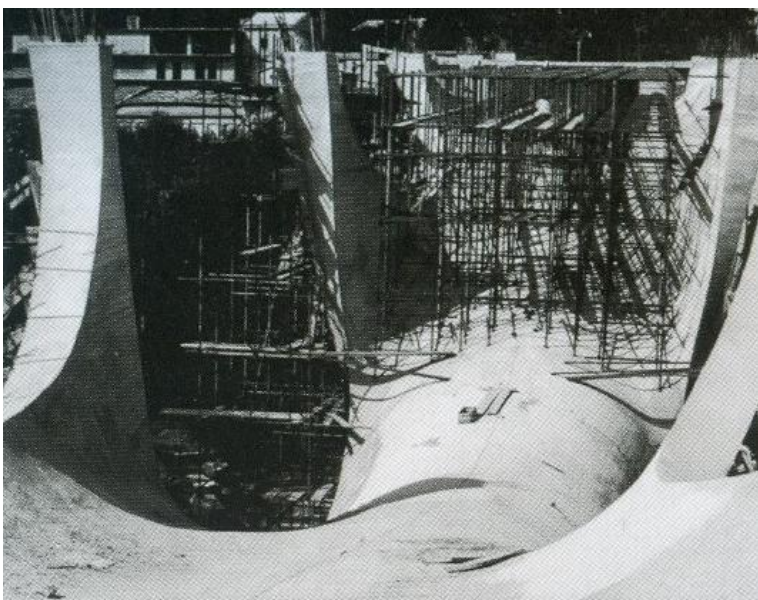


fig. 35 - La volta del ponte in costruzione, Potenza, 1967-1975 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

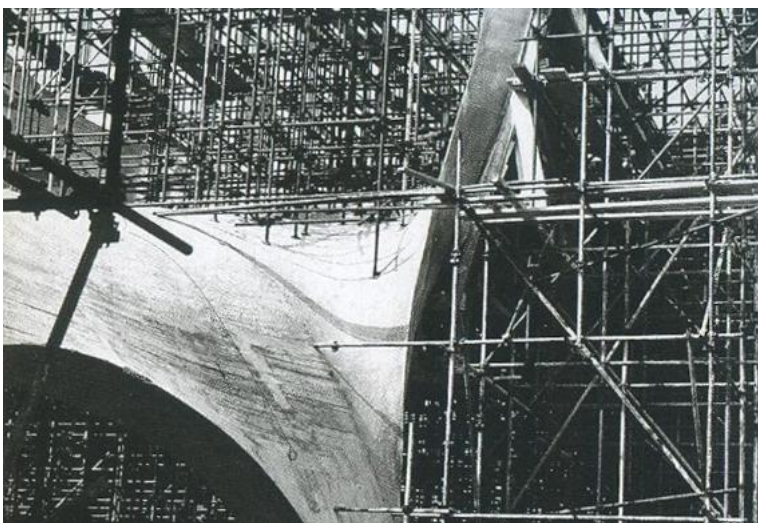


fig. 36 - La volta del ponte in costruzione, Potenza, 1967-1975 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)



fig. 37 - La volta del ponte in costruzione, Potenza, 1967-1975 (ASMZZ, foto F18996)



fig. 38 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (ASMZZ, foto F19078)



fig. 39 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

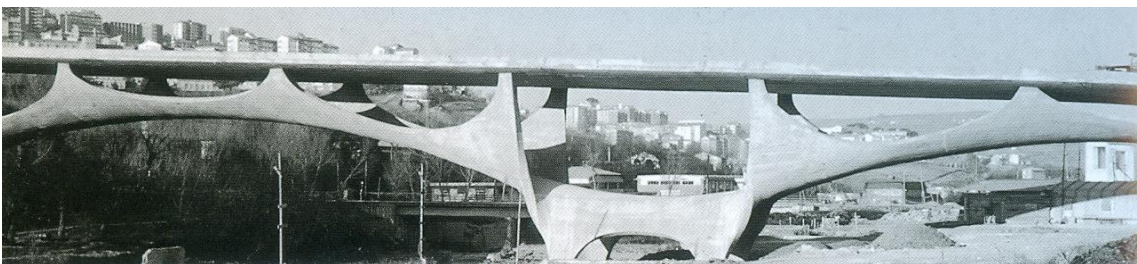


fig. 40 - Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1975 (*Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004)

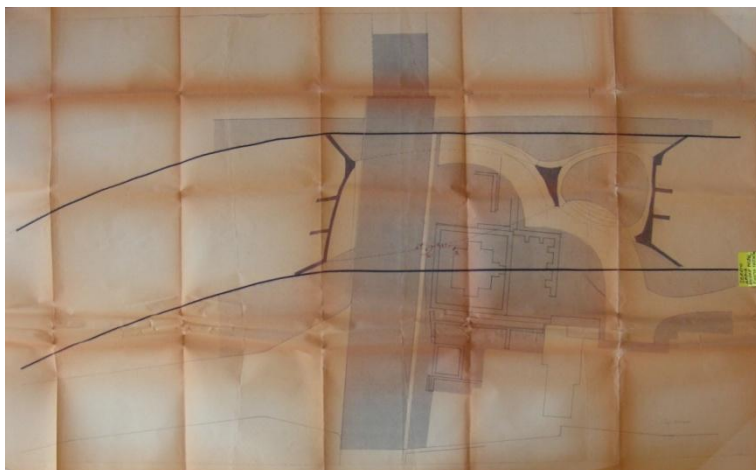


fig. 41 - Primo progetto preliminare; planimetria generale del viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (ASMZZ, disegno 29017)



fig. 42 - Primo progetto preliminare; veduta prospettica del viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (ASMZZ, disegno 29003)

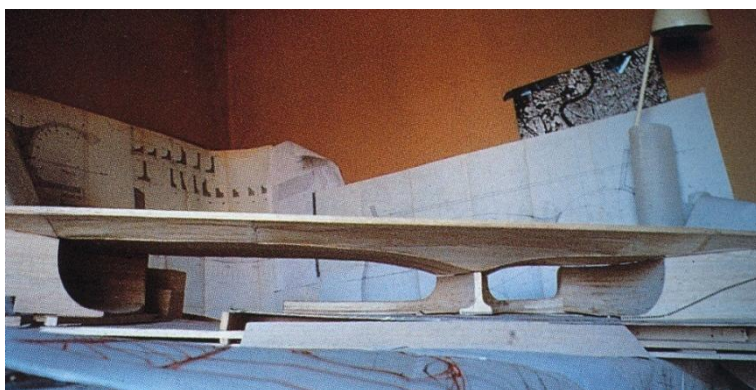


fig. 43 - Plastico di studio del viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (M. NICOLETTI 1999b)

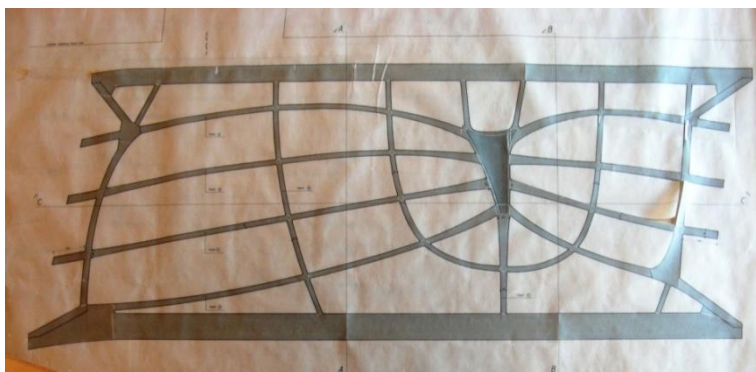


fig. 44 - Secondo progetto preliminare; struttura del viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (ASMZZ, disegno 28521)

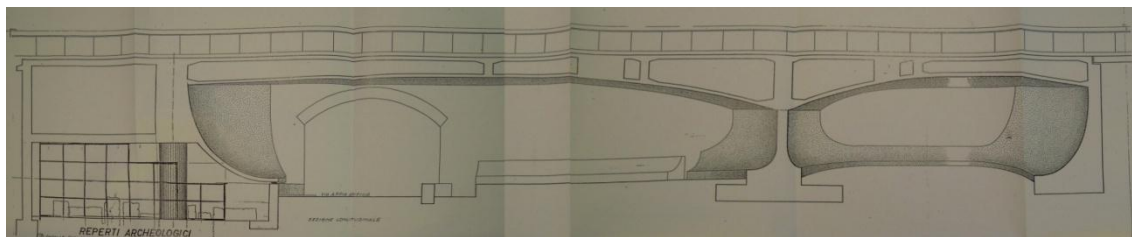


fig. 45 - Terzo progetto; sezione longitudinale del viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1983 (ASMZZ, disegno 29053)



fig. 46 - Viadotto sull'Appia Antica in costruzione, Roma, 1980 (M. NICOLETTI 1999b)



fig. 47 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (ASMZZ, foto F18357)



fig. 48 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma, 1980 (M. NICOLETTI 1999b)

3.3 UN CASO DI INTERVENTO SULLE PREESISTENZE

“Ritengo che cercare di comprendere il punto di vista degli antichi costruttori e il modo con cui concepivano il comportamento statico delle strutture da loro progettate, sia una condizione necessaria per ogni corretto intervento su di esse”

S. Musmeci¹²⁰

Il progetto della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio (1961-1962) rappresenta l'unica occasione per Musmeci d'intervenire su un'architettura monumentale. Nonostante si tratti di un'opera differente dalle altre, per tipologia d'intervento, in realtà anche questo progetto può essere inserito nella linea di ricerca che porterà alle forme del ponte sul Basento a Potenza (1967-1975). È la moglie stessa ad affermarlo: “Tra i suoi progetti e le sue ricerche quelli che in qualche modo possono costituire i precedenti del progetto del ponte sul Basento forse possono essere, a parte la tesi di laurea, lo studio della semicupola a sezione sottile per il restauro dell'abside della Basilica di Massenzio a Roma”¹²¹. Si tratta, infatti, di una delle sue prime occasioni in cui realizza una volta sottile in c.a. studiata in modo da eliminare tutte le spinte orizzontali.

Tale progetto, come afferma egli stesso, lo ha impegnato strutturalmente “in quanto doveva non spingere sulle murature antiche. Questo per scelta mia per non alterare in nessun modo l'equilibrio, benché queste siano delle masse murarie molto grandi”¹²².

Musmeci, durante l'incontro con Carlo La Torre, afferma che è proprio dopo questa esperienza che cresce in lui la voglia di “analizzare le architetture antiche, facendone il calcolo statico. E anche, diciamo, semplificando questo calcolo, perché tanto pensavo, gli antichi non avevano mica mezzi sofisticati di analisi! ... Allora io mi sono fatto dare i rilievi di molti monumenti antichi e ho cominciato ad analizzare dai più antichi in poi. Mi sono fermato presto, per mancanza di tempo. Ma devo dire che già dai primi passi avevo scoperto che queste strutture erano dimensionate, non certo a caso”¹²³.

¹²⁰ S. MUSMECI 1977a, p. 5.

¹²¹ A. VITTORINI 2004, p. 49.

¹²² ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre* 1980.

¹²³ *Ibidem*.

3.3.1 LA BASILICA DI MASSENZIO E L'INTERVENTO PER LA REALIZZAZIONE DELLA SEMICALOTTA PER LA COPERTURA DELL'ABSIDE COSTANTINIANA (1961-1962)

Nel 1977, in occasione del convegno internazionale “Symposium on Structures in Historic Buildings”¹²⁴, Musmeci illustra l'intervento del 1961 sull'abside di Costantino. Nell'introduzione ripercorre le vicende storiche e costruttive legate alla Basilica di Massenzio e, successivamente, spiega le caratteristiche dell'intervento realizzato quindici anni prima¹²⁵.

Musmeci definisce la Basilica di Massenzio come la più grandiosa struttura dell'architettura romana occidentale. L'importanza che riveste l'antico edificio sta tutta nel suo impianto strutturale che è chiaro e che proprio per questo, oltre che per le sue dimensioni, è diventato un “punto di riferimento al quale si possono ricondurre i successivi sviluppi dell'architettura bizantina da un lato, e di quella gotica dall'altro”¹²⁶.

Dopo aver spiegato brevemente le vicende storiche inerenti la costruzione dell'edificio Musmeci ne descrive i caratteri fondamentali. L'intera Basilica è costituita da un grande ambiente, le cui dimensioni sono all'incirca 80x60 m; “era il più grande spazio unitario che si fosse mai visto e ... mirabilmente unitario era anche tutto l'organismo statico”¹²⁷. L'edificio fondeva insieme la sala centrale, coperta da volte a crociera, e gli spazi laterali, coperti da volte a botte, in un unico grande ambiente; “questa unità spaziale era prima di tutto la conseguenza di una maggiore consapevolezza del comportamento della struttura e quindi della sicurezza con la quale è stata concepita l'orchestrazione statica dello spazio”¹²⁸. È proprio l'impiego delle forze nello spazio, sentite come elementi di un'unica composizione progettuale, che rende la Basilica di Massenzio un'opera grandiosa. Le murature portanti vengono alleggerite in basso da grandi aperture e le spinte delle grandi volte a crociera vengono contrastate grazie alla compressione in esse generate dalle volte a botte laterali disposte in senso trasversale all'asse dell'edificio.

A quel tempo, spiega Musmeci, è certo che gli antichi non fossero in grado di calcolare le spinte e i momenti delle forze; rivestiva, quindi, grande importanza l'esperienza pratica nei cantieri, l'intuito e il senso statico istintivo. Oggi invece si ha a disposizione il calcolo

¹²⁴ “Symposium on structures in historic buildings”, ICCROM, (Roma, 14-18 settembre), Roma 1977.

¹²⁵ S. MUSMECI 1977a.

¹²⁶ Non si conosce il nome dell'architetto al quale Massenzio commissiona nel 306 d.C. la Basilica ma, afferma Musmeci, sicuramente si è trattato di una singola mente, molto acuta e ricca di esperienza; *ibidem*, pp. 1-2.

¹²⁷ *Ibidem*, p. 3.

¹²⁸ *Ibidem*, pp. 3-4.

della scienza delle costruzioni e si tende spesso a sottovalutare “le possibilità di un approccio puramente intuitivo e sintetico ai fatti statici”¹²⁹.

L'intero edificio ha resistito bene al terremoto del 442 d.C.; un secondo terremoto, durante la seconda metà del IX secolo, fece cadere gran parte della navata sud. Le volte centrali a crociera rimasero per buona parte in piedi fino al terzo terremoto, quello del XIV secolo¹³⁰.

Le due absidi, di Massenzio ad ovest e di Costantino a nord, a pianta semicircolare, erano coperte da volte emisferiche che, come tutte le volte della Basilica, erano in *opus concretum* (calcestruzzo pozzolanico) con archi interni in muratura e con intradosso cassettonato. Il comportamento statico di queste volte emisferiche è complesso e delicato specie se non sono adeguatamente contrastate da altre strutture. “Mentre la volta sull'abside Ovest aveva la funzione di contrastare la spinta della volta a crociera di estremità, quella sull'abside di Costantino era chiaramente estranea all'organismo statico originariamente concepito dall'architetto”¹³¹.

La condizione in cui si trovava l'abside costantiniana nella seconda metà del Novecento, prima dell'intervento di Musmeci, era di forte degrado; la copertura era quasi interamente crollata mentre la muratura semicircolare era rimasta in piedi (fig. 49-50). Nonostante ciò, Musmeci spiega che da diversi anni vi si svolgevano concerti¹³² ed altre manifestazioni “per cui si era provveduto a coprire lo spazio dell'abside di Costantino con una copertura provvisoria situata a quota inferiore, che però deturpava il monumento. Inoltre le murature dell'abside non protette in sommità, risultavano esposte a degradazione”¹³³.

Nel 1961 il Servizio Antichità e Belle Arti del Comune di Roma incarica Musmeci di preparare un progetto per una “leggera cupola emisferica che ripetesse la geometria di quella antica”¹³⁴. La nuova semicupola dell'abside è impostata su un cordolo semicircolare posto alla sommità delle strutture antiche ed è costituita da uno strato di laterizi forati sormontato da una sottilissima soletta in calcestruzzo armato.

¹²⁹ Musmeci cita Vitruvio che dice che la preparazione dell'architetto si forma “ex fabrica et ratiocinatione”; *ibidem*, pp. 4-5.

¹³⁰ *Ibidem*, pp. 5-6.

¹³¹ Dopo la sconfitta di Massenzio da parte di Costantino nel 312 d.C. l'intero edificio era quasi ultimato. Costantino fa completare la costruzione della Basilica spostando l'ingresso dal lato est al lato sud lungo la via Sacra e creando a nord di fronte al nuovo ingresso un'abside, l'abside di Costantino; *ibidem*, pp. 6-7.

¹³² Si tratta dei Concerti dell'Accademia Nazionale di Santa Cecilia.

¹³³ S. MUSMECI 1977a, p. 7.

¹³⁴ *Ibidem*.

Nella relazione tecnica¹³⁵, conservata in archivio, contenente i calcoli statici, sono descritti i rapporti geometrici con cui è stata ricavata la forma della volta. La semicupola in c.a. è a pianta quasi semicircolare, con un raggio di 9,05 m all'intradosso. Si tratta di una superficie sferica ottenuta sezionando una sfera di 10 m di raggio con un piano verticale a 1 m dal centro e con un piano orizzontale posto a 5,20 m sotto il vertice.

La semicalotta è costituita da una struttura in latero-cemento (14+5 cm) realizzata in modo da non trasmettere spinte alle murature antiche; i laterizi di tipo “LAR-ARCO” hanno un'altezza di 14 cm, messi in opera senza bisogno di centinature, e sormontati da una soletta sottile in c.a. spessa 5 cm (fig. 51). Quest'ultima risulta sufficiente ad assorbire da sola le sollecitazioni principali che si originano nella struttura e che sono riconducibili a sforzi di membrana. La funzione dei laterizi forati è quella di irrigidimento flessionale nonché quella di formare uno strato coibente e di servire quale forma a perdere¹³⁶. Appoggiato alle murature antiche si trova uno strato di conglomerato magro che ha la funzione di livellare la superficie al fine di ottenere una superficie orizzontale; al di sopra è presente un cordolo in calcestruzzo armato alto 50 cm (fig. 52). Lungo il bordo orizzontale di base la volta è solidale con questa robusta trave perimetrale “che ha la funzione di sostenere la spinta della volta e di ripartirne il peso sulle murature antiche sottostanti”¹³⁷. Questa nuova struttura, spiega Musmeci, “è chiaramente distinta dalle strutture antiche, anche visivamente. All'interno essa è stata tenuta, proprio a questo scopo, circa 30 cm arretrata rispetto ai resti della volta antica che giungono fino a circa 24 gradi dall'imposta”¹³⁸ (fig. 53-54).

Il bordo verticale anteriore, invece, si attesta sulle strutture antiche mediante un giunto¹³⁹ che serve a mantenere separate le murature antiche dalla semicalotta in c.a. (cfr fig. 51). in modo da escludere qualsiasi trasmissione di forze, sia per non alterare minimamente le condizioni delle murature preesistenti sia per rispettare la loro originaria concezione statica. “Il bordo verticale si considera quindi completamente libero [e] questa circostanza

¹³⁵ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici* 1961.

¹³⁶ S. MUSMECI 1977a, p. 8.

¹³⁷ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici* 1961.

¹³⁸ S. MUSMECI 1977a, p. 8.

¹³⁹ Giunto con interposto cartone catramato e superiormente una conversa zincata solidale alla muratura.

esclude che la volta possa comportarsi come una normale cupola”¹⁴⁰, con un regime statico con simmetria assiale; “in essa si instaurerà invece un regime di sforzi caratterizzato dall’annullarsi di ogni sollecitazione sul bordo verticale”¹⁴¹. Musmeci, per questo progetto, si rifà agli studi di Franz Dischinger¹⁴² riguardanti il tipo di volta a bordo libero, situato in piano diametrale; le conclusioni di Dischinger, infatti, possono essere bene applicate al caso della semicalotta in cui il bordo libero è prossimo al piano diametrale¹⁴³.

Musmeci, nella relazione tecnica, spiega il funzionamento statico della struttura della semicalotta, progettata in modo da separarla dalle strutture antiche: “Per illustrare il comportamento statico della volta, si pensi a ciascuna sezione parallela al bordo libero come ad un arco di forma circolare soggetto ad un carico uniforme lungo tutta la sua lunghezza. È evidente che, non coincidendo la linea d’asse circolare con la funicolare dei carichi, si avrebbe, nell’arco isolato, l’insorgere di sollecitazioni flessionali”¹⁴⁴, in aggiunta agli sforzi normali di compressione. “Poiché però gli archi, in cui abbiamo idealmente suddiviso la struttura, sono in realtà solidali fra loro, le deformazioni flessionali sono rese impossibili, o quasi, dalla inestensibilità, praticamente perfetta, della superficie, ossia della sua elevata indeformabilità per sforzi contenuti nel piano tangente. Ciò comporta l’istaurarsi di sforzi tangenziali di collegamento fra gli archi elementari, oltre che di sforzi normali in senso perpendicolare agli archi stessi. Tutti questi sforzi sono contenuti nel piano tangente e formano, insieme agli sforzi normali nel senso degli archi, una sollecitazione di membrana completa”¹⁴⁵.

In archivio è conservata una copia, in scala 1:200, della planimetria dell’intero progetto di riadattamento della Basilica di Massenzio a salone per concerti estivi¹⁴⁶, datata 21 gennaio 1961, in cui è indicata la distribuzione dei posti a sedere, 2.250 circa, con l’indicazione delle

¹⁴⁰ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull’abside. Calcoli statici* 1961.

¹⁴¹ *Ibidem*.

¹⁴² Musmeci cita gli studi di Dischinger presi come riferimento. *Die Rotationsschalen mit unsymmetrischer Form und Belastung*, Bauingenieur 1935, p. 374; citato in ASMZZ, *Semicupola in c.a. sull’abside. Calcoli statici. Parte quinta cupola* 1961.

¹⁴³ S. MUSMECI 1977a, p. 8.

¹⁴⁴ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull’abside. Calcoli statici* 1961.

¹⁴⁵ “Nelle cupole simmetriche è, come noto, assente lo sforzo tangenziale; è quindi la sua presenza che caratterizza invece la nostra struttura”; *ibidem*.

¹⁴⁶ Tali disegni sono firmati dall’ingegnere I. Leone, Capo della Sezione I, e dall’architetto Gino D’Andrea, Capo della Divisione V Antichità e Belle Arti; ASMZZ, *Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi alla Basilica di Massenzio. Planimetria generale. 1:200, disegno 31508, coll. P6/1*.

vie di fuga (fig. 55). Il disegno della sezione, in scala 1:200 e 1:100, mostra il dettaglio della zona per il palco dell'orchestra, situata proprio all'interno dell'abside di Costantino, progettata con una gradinata removibile che arriva ad una quota massima di 2,80 m; in sezione, l'intervento di Musmeci per la realizzazione della semicupola è indicato schematicamente (fig. 56). Tale intervento viene esposto in modo più dettagliato nella tavola esecutiva, contenente i dettagli in scala 1:50 e 1:10 della pianta, della sezione e della disposizione delle armature nella semicalotta (fig. 57).

Nella relazione tecnica di calcolo viene descritto il procedimento con cui sono state calcolate le tensioni interne. Come accennato prima, il calcolo è stato effettuato considerando il bordo verticale libero in un piano passante per il centro della superficie sferica. “Le funzioni che interessano sono calcolate in 24 punti differenti dei quali 7 sono sulla linea di imposta”¹⁴⁷. “Gli sforzi interni sono di compressione salvo che nella zona centrale del tratto prossimo alla linea di imposta dove si verificano trazioni”¹⁴⁸. Per sostenere la compressione, spiega Musmeci, è sufficiente la soletta da 5 cm in calcestruzzo armato. Riguardo la trazione, invece, si tratta di assorbirla con opportune armature¹⁴⁹. Per rendere più completo il calcolo sono state individuate “le direzioni principali o linee isostatiche in tutti i punti della superficie e i valori delle tensioni principali, che ... sono le massime tensioni normali per ciascun punto”¹⁵⁰ (fig. 58).

Altri documenti relativi alla realizzazione della semicalotta sono stati esaminati negli uffici della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. È stato rintracciato

¹⁴⁷ La massima tensione si verifica nel punto 1 con $N_{\alpha 1}=28,2$ t/m mentre la massima compressione si ha pure nel punto 1 con $N_{\beta 1}=-30,55$ t/m; ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici* 1961.

¹⁴⁸ S. MUSMECI 1977a, p. 9.

¹⁴⁹ Su tutta la volta è stata disposta un'armatura minima costituita da 1 ϕ 8/m ogni 20 cm in senso parallelo al bordo libero dove esistono solo sforzi di compressione e da 2 ϕ 8/m ogni 20 cm in due strati nell'altra direzione. Queste ultime armature sono state rinforzate nel tratto dove gli sforzi di trazione sono maggiori intercalando ai ferri ϕ 8, ferri ϕ 8, ϕ 10, ϕ 12, ϕ 14 a seconda dei valori di trazione da assorbire; *ibidem*.

¹⁵⁰ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici* 1961. “È interessante forse osservare - dice Musmeci - che la comparsa di sforzi di trazione nelle cupole emisferiche senza sufficiente contrasto su altre strutture, era evitato dai costruttori antichi a mezzo di un forte aumento dello spessore verso l'imposta”; S. MUSMECI 1977a, p. 10. Secondo il professor architetto Giuseppe Picchi, Musmeci ha pensato ad una griglia di sub-elementi costituita da tanti archi paralleli che, tramite il giunto, non comunicano spinte alla muratura verticale. Per ‘scaricare’ tutte le spinte che necessariamente vanno a finire sul tamburo della semicupola Musmeci utilizza il travone anulare in c.a. Questa trave a ferro di cavallo, dice Picchi, ben assorbe a flessione le varie spinte radiali, orizzontali scaricate dalla successione, teorica, degli archi; dal corso *La statica delle volte e delle cupole romane e rinascimentali*, (Roma, 26-27 gennaio), Roma 2016.

del materiale relativo agli interventi messi in atto negli anni Sessanta; si tratta di un elaborato copiato a mano¹⁵¹ da chi si è occupato di ricerche d'archivio, comprendente un libretto delle misure¹⁵² con dettagliata descrizione delle fasi d'intervento, delle operazioni da eseguire e dei relativi materiali utilizzati per la realizzazione della semicalotta progettata da Musmeci. In questo elaborato scritto a mano, rinvenuto presso i documenti d'archivio nell'ufficio dell'architetto Giuseppe Morganti, è citata una relazione di due pagine, del 24 febbraio 1961, firmata dall'architetto Gino D'Andrea, allora Capo della Divisione V Antichità e Belle Arti, con oggetto "Rifacimento della volta dell'abside centrale, costruzione del palco dell'orchestra e del coro e sistemazione dell'area della Basilica di Massenzio per i concerti estivi". Sempre nello stesso elaborato è citato anche un documento, firmato dai Direttori dei Lavori, ingegner Leone e geometra Marchetti, in cui sono evidenziate le fasi d'intervento con le presunte date di ultimazione dei lavori: la prima fase prevedeva la costruzione del palco d'orchestra e la sistemazione dell'area della basilica tra il 6 maggio 1961 ed il 15 giugno 1961, mentre la seconda fase prevedeva la ricostruzione della volta e il relativo arco di timpano, su progetto di Musmeci, tra il 20 novembre 1961 e il 12 febbraio 1962¹⁵³.

Nel libretto delle misure sopraccitato vengono descritte le tre fasi d'intervento per la realizzazione della semicalotta¹⁵⁴: "opere di consolidamento alle strutture murarie semicircolari dell'abside centrale", "opere sul piano orizzontale all'imposta della semicupola" e "costruzione della semicupola". Analizzando le voci del libretto delle misure è possibile leggere nel dettaglio gli interventi effettivamente svolti negli anni Sessanta per la realizzazione della semicalotta di Musmeci.

Nella parte relativa alla fase di consolidamento delle strutture murarie dell'abside si parla di: esecuzione di fori, con perforatrice meccanica, nelle strutture murarie per l'esecuzione delle iniezioni di malta fluida di cemento tipo 730; ricostruzione di parti fatiscenti con muratura di mattoncini sabbiati e malta di rena e cemento; ricostruzione della parte semicircolare e delle legature interne con muratura di mattoni zoccoli e malta di rena

¹⁵¹ Nonostante le ricerche effettuate in varie sedi, non si è riusciti a reperire i documenti originali degli anni Sessanta di cui si possiede solo il contenuto, scritto in un elaborato copiato a mano; ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Documenti vari* 1961.

¹⁵² ASSBAR, *Libretto delle misure* 1961.

¹⁵³ La relazione di Musmeci, dal titolo *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici*, è datata 7 Novembre 1961, qualche giorno prima dell'inizio vero e proprio dei lavori.

¹⁵⁴ ASSBAR, *Libretto delle misure* 1961.

e cemento; muratura di tufo lavorata a mano e malta di rena e cemento per costituire spessore tra le murature di mattoncini sabbiati e la muratura di mattoni zoccoli; “demolizione parziale o totale di murature fatiscenti per dar luogo alla ricostruzione di nuove murature [tra cui la] muratura demolita per la formazione del piano di appoggio della semicupola”¹⁵⁵.

Nella parte relativa alla fase di realizzazione delle opere sul piano orizzontale all’imposta della semicupola si parla di: costruzione del muretto di contenimento in conglomerato cementizio per la formazione del piano di appoggio della trave perimetrale, per la parete semicircolare lato esterno; formazione del cuscino di appoggio della trave perimetrale con conglomerato cementizio con cemento tipo 680; realizzazione delle strutture in c.a., tra cui la costruzione della trave perimetrale, con conglomerato cementizio con cemento tipo 750.

Nella parte relativa alla fase di costruzione vera e propria della semicupola si parla di fornitura di pignatte speciali tipo LAR-ARCO costituenti il solaio di copertura della semicupola e di malta di cemento tipo ARI per l’allettamento delle pignatte e della sovrastante caldana per la superficie della semicalotta. Vengono date delle indicazioni sulla composizione del conglomerato cementizio per le strutture in cemento armato della soletta di copertura della semicupola¹⁵⁶ e vengono indicate le dimensioni e la disposizione dei ferri di armatura. Sono presenti, inoltre, dettagli sulle operazioni svolte lungo l’arco di testata per l’innesto della semicalotta tra cui il taglio della muratura lungo l’arco di testata per l’incassatura della semicupola. La coloritura della semicalotta è stata eseguita con tinta lavabile alla caseina¹⁵⁷.

Vi sono inoltre alcune note relative agli interventi degli anni 1958-1962. Da queste note risulta che i lavori riguardanti il restauro del ‘catino absidale’ fossero in previsione già dai primi mesi del 1960; non è presente alcuna menzione relativa all’intervento di costruzione della semicupola per l’abside costantiniana che, probabilmente, è stato deciso solo successivamente, nel 1961¹⁵⁸.

¹⁵⁵ ASSBAR, *Libretto delle misure* 1961.

¹⁵⁶ ql 400 di cemento ARI, mc 0,700 di ghiaietto e mc 0,500 di sabbia.

¹⁵⁷ Furono, inoltre, richiesti dei masselli di travertino dello spessore superiore a 10 cm con parti scorniciate con qualsiasi numero di membrature poste in opera “per le mensole nell’abside centrale riproducenti quelle esistenti”; ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Documenti vari* 1961.

¹⁵⁸ Tra i lavori principali risultano fissaggi di stucchi dei lacunari con caseina e grappe, iniezioni di cemento ecc... mentre tra i lavori suppletivi risultano il consolidamento e il restauro della volta relativa all’abside e al frontone dell’aula centrale, 26 marzo 1960; *ibidem*.



fig. 49 - L'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961 (ASMZZ, foto F009634)



fig. 50 - L'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961 (ASMZZ, foto F009620)

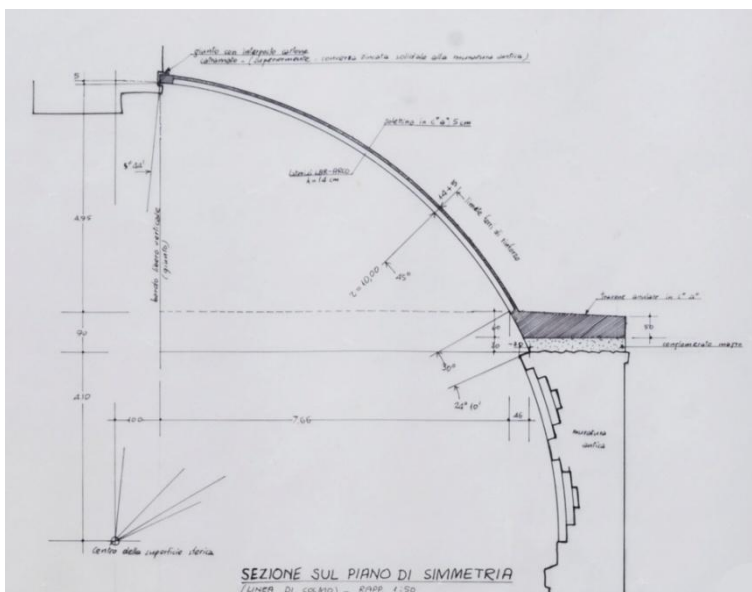


fig. 51 - Sezione della semicupola per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961-1962 (ASMZZ, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31506)

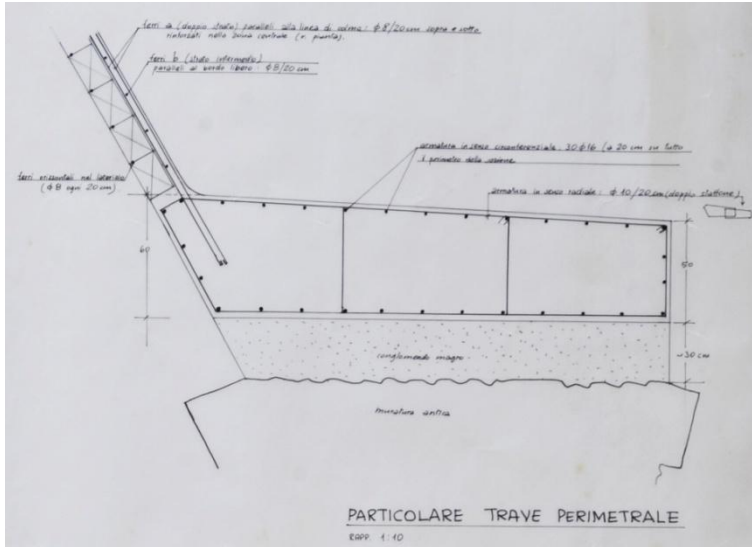


fig. 52 - Sezione del cordolo in c.a. alla base della semicalotta, Roma, 1961-1962 (ASMZZ, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31506)



fig. 53 - Veduta esterna della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961-1962 (ASMZZ foto F18540)



fig. 54 - Veduta interna della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961-1962 (foto dell'A., 2014)

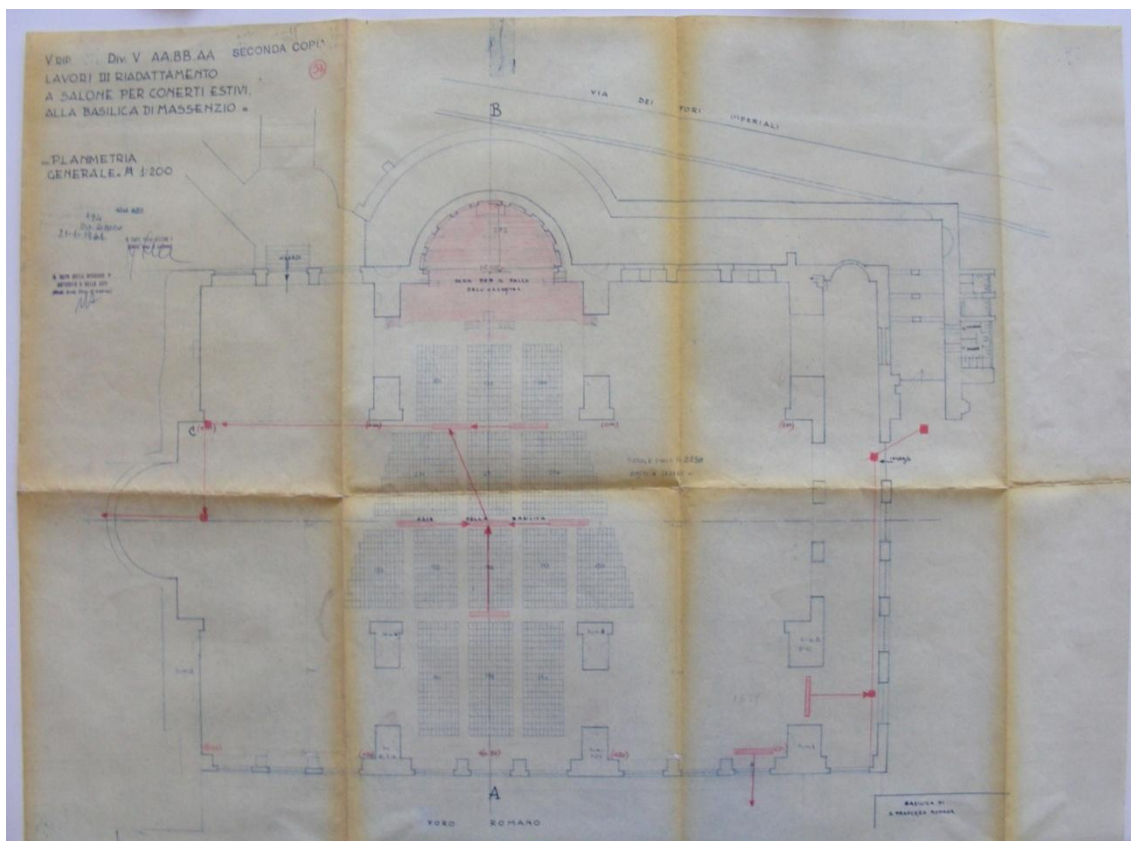


fig. 55 - Planimetria generale del progetto di riadattamento della Basilica di Massenzio a salone per concerti estivi, Roma, 1961 (ASMZZ, *Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi alla Basilica di Massenzio. Planimetria generale. 1:200*, disegno 31508)

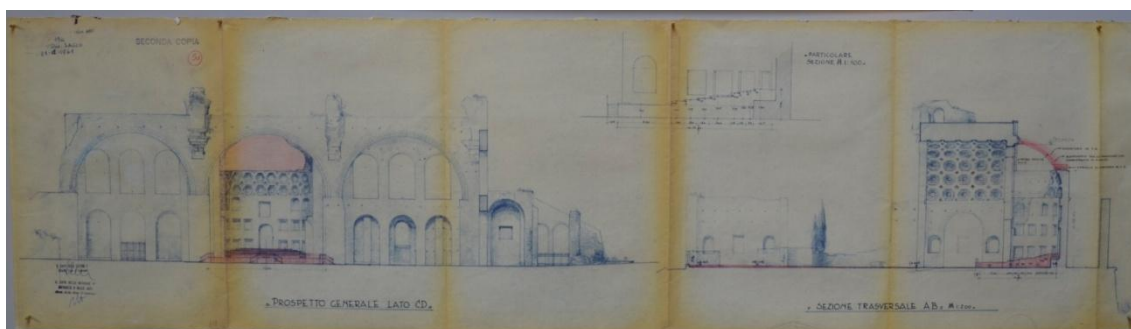


fig. 56 - Sezioni del progetto di riadattamento della Basilica di Massenzio a salone per concerti estivi, Roma, 1961 (ASMZZ, *Prospetto generale lato CD. Sezione trasversale AB 1:200. Particolare sezione 1:100*, disegno 31509)

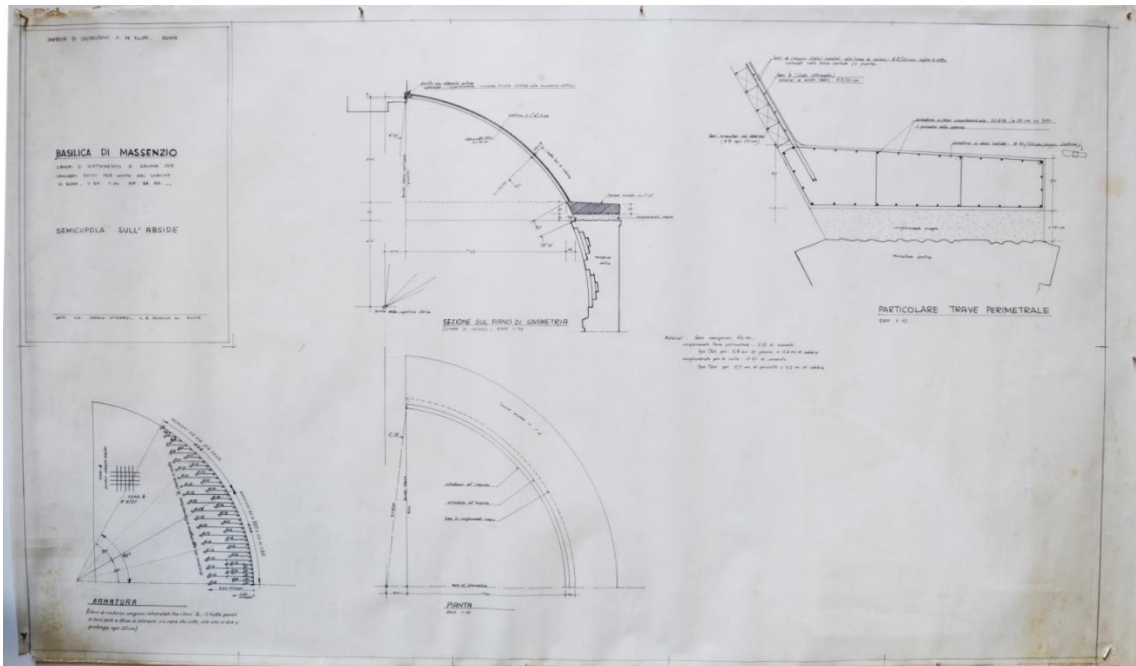


fig. 57 - Tavola esecutiva della semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio, Roma, 1961-1962 (ASMZZ, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31506)

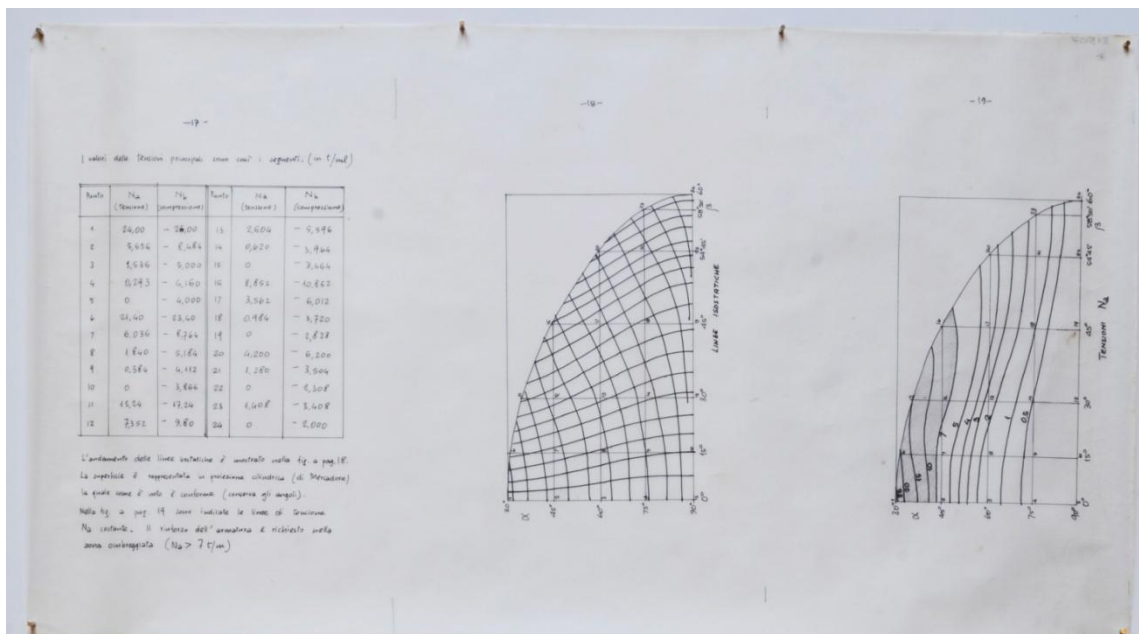


fig. 58 - Linee isostatiche e tensioni principali della semicalotta, Roma, 1961-1962 (ASMZZ, disegno 31507)

- Capitolo Quarto -

**LA DURABILITÀ DELLE OPERE DI SERGIO MUSMECI
E LA CONSERVAZIONE DELLE ARCHITETTURE DEL
NOVECENTO IN CALCESTRUZZO ARMATO**

4 PREMESSA

“L’Architettura antica faceva conto del tempo per farsi finire da lui, patinata, armonizzata, invecchiata come la Natura, oggi la lotta contro il tempo si combatte con materiali incorruttibili: alluminio, ceramica, cristallo, cemento, (e) l’architettura non vuole patinarsi. Se il tempo vince la riduce a rottame”

G. Ponti¹

Il quarto capitolo è incentrato sulle problematiche inerenti la conservazione delle architetture del Novecento in calcestruzzo armato, con particolare attenzione alle opere di Sergio Musmeci, nonché sulla questione della durabilità con l’analisi del trascorrere del tempo sulle opere oggetto di approfondimento.

Il concetto di durabilità come “presa di coscienza di fenomeni di degrado o dissesto, si è sostanzialmente palesato dalla seconda metà del 19° sec., parallelamente all’avvento di tecnologie costruttive fondate sull’impiego di nuovi materiali”². È solo negli anni Ottanta del Novecento, però, che la durabilità del c.a. inizia ad essere presa in considerazione dalla normativa italiana; solo negli anni Novanta, con il D.M. 9 gennaio 1996³, si iniziano ad avere dei riferimenti normativi sull’argomento.

Tra i vari manufatti che hanno arricchito il territorio dal XX secolo, le opere in calcestruzzo armato, che sono le più numerose, si sono rivelate più fragili e maggiormente soggette ad un degrado veloce rispetto alla pietra e al mattone⁴. I segni di deterioramento si moltiplicano e gli edifici “stentano ad acquisire la bellezza sublime che la «patina dorata del tempo» conferisce alle fabbriche e ai materiali della tradizione”⁵. Sono molte oggi le opere del Novecento che presentano diversi stati di degrado, a primo impatto estetico, che si ripercuotono sulla struttura e la stabilità del manufatto. Ci si trova spesso in presenza di copriferri esplosi, calcestruzzi disgregati, armature ossidate per insufficienza di copriferro, macchie, ruggine ed altri stati di alterazione più o meno importanti.

La terza parte di questo capitolo tratta della durabilità delle opere di Musmeci con l’analisi dello stato di degrado dei casi-studio e degli interventi di restauro, o manutenzione, che si sono succeduti nel corso degli anni.

¹ G. PONTI 2008.

² E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 15.

³ D.M. 9 gennaio 1996, *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*.

⁴ C. DI BIASE 2009, p. 11.

⁵ *Ibidem*.

4.1 LA CONSERVAZIONE DELL'ARCHITETTURA DEL NOVECENTO IN CALCESTRUZZO ARMATO: PROBLEMATICHE E RIFLESSIONI

“Gli architetti devono imparare ad auscultare gli edifici esistenti... Oggi non si tratta più di creare oggetti nuovi e ingombranti, ma di intervenire su ciò che esiste”

B. Reichlin⁶

Il problema della conservazione dell'architettura moderna e contemporanea è un tema indubbiamente attuale. Negli anni, da qualche decennio ad oggi, si è arrivati ad avere maggiore sensibilità nei confronti del patrimonio architettonico del Novecento ritenendolo degno di tutela e salvaguardia in quanto testimonianza tangibile di un particolare momento storico ricco di scoperte e sperimentazioni su nuovi materiali. Oggi si pone il problema di come intervenire su tale patrimonio architettonico.

Come afferma Simona Salvo, “l'apparato critico e storiografico su cui si fonda ancora oggi il restauro fu coniato, agli esordi del XIX secolo, appositamente per l'architettura tradizionale e quindi per espressioni artistiche radicalmente diverse dall'architettura nuova”⁷. La vicinanza temporale delle architetture ‘recenti’, rispetto al patrimonio antico, rende più difficoltosa la messa a punto di strumenti di lettura critica adeguati⁸. Il modo di apprezzare l'antico e di intervenire su di esso è maturato grazie ad un cosciente distacco dal passato. Per le architetture ‘nuove’, invece, l'assenza di una sufficiente prospettiva storica genera, come conseguenza, alcune difficoltà di instaurare con essa un rapporto critico⁹.

“L'architettura moderna era un imperativo culturale che esprimeva idee innovative”¹⁰, afferma Wessel de Jonge, segretario del Do.Co.Mo.Mo. International: “i suoi primi edifici conservano a tutt'oggi la loro potenza, e a rappresentare una componente essenziale del nostro retaggio intellettuale non è soltanto lo spirito che ha generato quelle forme, ma sono anche le forme stesse. Quel retaggio di costruzioni che esaltano lo spirito dinamico di questo secolo utilizzava una tecnologia avanzata che non sempre ha retto alle sollecitazioni del tempo, mentre le funzioni cui quegli edifici erano originariamente destinati si sono

⁶ B. REICHLIN 2010; <<http://www.ideatorio.usi.ch>>, settembre/2015.

⁷ S. SALVO 1999, p. 445.

⁸ R. GRIGNOLO 2011, p. 125.

⁹ S. SALVO 1999, p. 445.

¹⁰ W. DE JONGE 1999, p. 15.

modificate in misura sostanziale. La conservazione di edifici significativi in quanto opere d'arte costituisce un problema sia economico che fisico di non facile soluzione”¹¹.

Nei prossimi anni gli interventi sul patrimonio del Novecento sono destinati ad aumentare fortemente sia per il degrado dei materiali moderni, che all'epoca erano ancora in fase di sperimentazione, sia per l'adeguamento alle norme inerenti standard, sicurezza e risparmio energetico¹². Nelle università svizzere è in corso da diversi anni, dal 2009, un progetto di ricerca intitolato *Enciclopedia critica per il restauro e il riuso dell'architettura del XX secolo*¹³ che ha come obiettivo quello di far conoscere il patrimonio architettonico del Novecento esistente che necessita di tutela, restauro, manutenzione e che è spesso oggetto di riuso. Bruno Reichlin, promotore di questo progetto, afferma che “serve una cultura storica e una profonda conoscenza delle tecniche e dei materiali usati nel XX secolo”¹⁴ per poter operare sulle opere del Novecento.

Il calcestruzzo armato è il materiale moderno con cui si è più costruito nel Novecento. Molti progettisti, spinti da una lunga fase pionieristica, hanno fatto largo uso del nuovo materiale; a lungo si è pensato che fosse un materiale ‘eterno’ e proprio la sua decantata durabilità è stata al centro della propaganda di Hennebique¹⁵. Solo successivamente, con il passare del tempo, ci si è resi conto di come questo materiale sia soggetto ad invecchiamento rapido dovuto principalmente all'esposizione agli agenti atmosferici nonché alle modalità di esecuzione o a errori di progettazione.

Negli anni Novanta Mario Collepardi, riferendosi soprattutto alle strutture sottili e alle strutture di forma complessa, scrive che “la lavorabilità del calcestruzzo al momento del getto deve essere tanto più elevata, quanto più difficile è l'esecuzione dell'opera”¹⁶; questa caratteristica del calcestruzzo fresco, importante per la messa in opera, è uno dei fattori che influisce sulla durabilità del manufatto. La prescrizione della lavorabilità è quindi qualcosa dalla quale i progettisti non possono esimersi se vogliono garantire la durabilità delle

¹¹ *Ibidem*.

¹² R. GRIGNOLO 2011, p. 125.

¹³ Questo progetto di ricerca vede coinvolte l'Accademia di Architettura di Mendrisio (Università della Svizzera Italiana) con il prof. Bruno Reichlin, il Politecnico di Losanna con il prof. Franz Graf, e quello di Zurigo con il prof. Vittorio Magnago Lampugnani insieme alla SUPSI di Lugano e la Fondazione Archivio del Moderno di Mendrisio.

¹⁴ B. REICHLIN 2010; <<http://www.ideatorio.usi.ch>>, settembre/2015.

¹⁵ T. IORI 2010, p. 5.

¹⁶ M. COLLEPARDI 1992, p. 712.

strutture in calcestruzzo da loro progettate, soprattutto quelle di difficile realizzazione o dove la qualità della manodopera è scarsa¹⁷.

Carolina Di Biase, in diversi articoli, si sofferma in modo particolare sul calcestruzzo armato raccontandone l'evoluzione storica. Come già esposto nel primo capitolo, fin dal suo arrivo, nell'Ottocento, ci si inizia ad interrogare sulla 'durata' del nuovo materiale; sono soprattutto i chimici che, al fine di migliorare le prestazioni del calcestruzzo, indagano i fenomeni di alterazione e le principali cause di degrado. È solo negli anni Sessanta del Novecento, però, che si arriva ad una consapevolezza maggiore del fatto che il c.a. non è al riparo dalle offese del tempo¹⁸; saranno i ricercatori impegnati nello studio dei materiali e del loro comportamento nel tempo i primi a porsi il problema della durabilità del calcestruzzo, delle sue debolezze e fragilità.

Il problema delle modalità di intervento sulle architetture in calcestruzzo armato è una questione ancora aperta all'interno del dibattito relativo alla conservazione del patrimonio architettonico 'recente'. È possibile che le costruzioni future "possano contare su un *mix design* sempre più controllato, su componenti accuratamente selezionati, sulla applicazione rigorosa delle normative anche in fase di cantiere. A queste condizioni, è possibile che il processo di corrosione delle armature e l'invecchiamento precoce delle superfici siano rallentati"¹⁹. Rimangono, però, tutte le problematiche presenti nelle opere già esistenti e che riguardano il loro stato di alterazione e degrado e, in alcuni casi, la loro ri-destinazione.

"La pratica maggiormente in uso nell'edilizia corrente e in taluni interventi di tipo strutturale consiste nella rimozione e nella sostituzione del calcestruzzo"²⁰ nelle parti ammalorate; nelle parti sostituite si perdono quelle che sono le testimonianze materiali del trascorrere del tempo senza considerare il valore storico del materiale originario e senza riflettere sulla possibilità di conservare quanto ci è stato consegnato dalla storia²¹. Le tecniche tradizionali prevedono l'utilizzo di malte e calcestruzzi ordinari ma "la scarsa aderenza del nuovo al vecchio conglomerato e l'elevato ritiro - che può creare stati di coazione interna - sono i principali difetti di tale tipo di tecniche che risultano, dunque

¹⁷ È poi compito dell'impresa trovare sperimentalmente, in base agli inerti disponibili, l'acqua necessaria per raggiungere la lavorabilità prescritta dal progettista; *ibidem*.

¹⁸ C. DI BIASE 2008, p. 189.

¹⁹ C. DI BIASE 2009, p. 37.

²⁰ *Ibidem*.

²¹ P. FACCIO 2008, p. 198.

poco affidabili”²². Nel passato recente, in diversi interventi, sono state impiegate resine e malte con speciali additivi a base cementizia “senza aver dato luogo a prove convincenti, sia dal punto di vista della compatibilità che della durata”²³. Oggi la sperimentazione “di tecniche alternative alla rimozione e integrazione degli elementi degradati è fondamentale rispetto alle finalità di conservazione dei manufatti e delle loro superfici”²⁴.

Garantire il minimo intervento rappresenta l’obiettivo più difficile da raggiungere grazie al quale è possibile assicurare l’autenticità dell’idea architettonica originaria. È quindi necessario in primo luogo capire quali sono le cause del degrado e solo successivamente programmare un intervento che miri a salvaguardare l’oggetto compiendo i lavori strettamente necessari e che limitino i fenomeni di degrado. È possibile eliminare alcune delle cause di deterioramento dei materiali rallentando i fenomeni che intaccano la materia attraverso una costante opera di manutenzione. “Si tratta quindi di guidare, attraverso un piano di manutenzione programmata ... i fenomeni di trasformazione rendendoli compatibili con l’autenticità dell’edificio, in modo che l’uso, pur legittimo e incontestabile, sia finalizzato alla sua conservazione e non viceversa”²⁵.

La conservazione, secondo Giovanni Carbonara, è “l’opera di prevenzione e salvaguardia, da attuare proprio per evitare che si debba poi intervenire col restauro, il quale costituisce pur sempre un evento traumatico”²⁶. La differenza tra conservazione e manutenzione è sottile: la conservazione mira alla preservazione di un manufatto da ogni alterazione, logoramento o distruzione, mentre la manutenzione ha come fine il mantenimento della funzionalità e dell’efficienza del manufatto stesso²⁷.

La distinzione tra il restauro e la manutenzione, afferma Roberto Pane, è puramente quantitativa e non qualitativa “dato che entrambi si propongono il compito della conservazione e che lo spolverare un quadro o una pietra incisa è opera che esige una tecnica, per quanto semplice essa sia; e sarà anzi la ininterrotta continuità della manutenzione a rendere meno compromettente o sostanziale l’opera del restauratore

²² Le tecniche usate maggiormente sono dunque attività invasive “che modificano la materia strutturale, sia nella forma che nella sostanza. Ciò è determinato ... dalla esigenza del progettista di eliminare le parti ammalorate e ripulirle adeguatamente per poter eseguire, poi, le operazioni necessarie. ... già a partire dalla pulitura l’operazione non può ritenersi “soft”: idrosabbatura, sabbatura, martellinatura manuale o meccanica sembrano risultare insostituibili allorché il c.a. è degradato in profondità”; A. AVETA 2008, pp. 35-37.

²³ C. DI BIASE 2009, p. 37.

²⁴ *Ibidem*, p. 39.

²⁵ C. VARAGNOLI 2002, p. 561.

²⁶ G. CARBONARA 2010, p. 23.

²⁷ A. FARESIN 2012, p. 312.

poiché consentirà interventi parziali e distanziati nel tempo e non il rifacimento di vaste parti che il lungo abbandono ha cancellato o reso vaghe ed incerte”²⁸.

Il dibattito a livello internazionale sul restauro del moderno inizia a farsi insistente già dagli anni Ottanta²⁹. Alcune associazioni internazionali hanno tracciato, da qualche tempo, delle linee guida su come intervenire sul patrimonio architettonico del Novecento. Si tratta di analisi relative alla storia del manufatto, dalla fase di realizzazione agli interventi subiti nel corso del tempo³⁰, e di indagini sul campo costituite dall'osservazione e dalla descrizione dei fenomeni di degrado. Diverse ricerche nazionali ed internazionali hanno, quindi, “cercato di definire una modalità sistematica con la quale osservare, riconoscere e restituire i fenomeni di degrado all'interno di un percorso che analizzasse aspetti storico-architettonici, costruttivi, materici, ambientali e d'uso”³¹. Tra le principali associazioni vi è DoCoMoMo International³², nata nel 1989 presso l'Università tecnica di Eindhoven, con lo scopo di contribuire alla valorizzazione e alla conservazione del patrimonio architettonico internazionale³³ tramite la messa a punto di un metodo di catalogazione del patrimonio moderno e contemporaneo da usare come strumento di salvaguardia; quest'associazione è in primo luogo sede di dibattito internazionale che apre diverse discussioni sulle questioni tecniche del restauro e della conservazione³⁴.

Il problema principale della conservazione dell'architettura del Novecento in calcestruzzo armato è soprattutto di livello estetico; il problema riguarda in particolar modo le superfici in cemento a faccia vista. Si tratta di una problematica difficile da risolvere: “come si può intervenire sulla superficie del cemento armato a vista senza comprometterne il valore materico?”³⁵. Tale problema estetico risulta maggiore soprattutto per quelle opere che hanno come caratteristica principale quella di avere una determinata trama superficiale, data dal disegno delle casseforme o da un particolare confezionamento del calcestruzzo,

²⁸ R. PANE 1967, p. 10.

²⁹ R. GRIGNOLO 2011, p. 126.

³⁰ La conoscenza dei cambiamenti che l'opera ha subito nel corso del tempo è una fase necessaria dato che “le modifiche dell'assetto distributivo possono avere conseguenze importanti nelle variazioni del comportamento delle strutture”; C. DI BIASE 2009, p. 38.

³¹ C. DI BIASE, F. ALBANI, L. GUIDOLIN 2008, p. 192.

³² DoCoMoMo International: Documentation, Conservation of buildings, sites and neighbourhoods of the Modern Movement (Documentazione e Conservazione dell'architettura del Movimento Moderno).

³³ S. PORETTI 1999, p. 11.

³⁴ M. BENENTE 2008, p. 60.

³⁵ T. IORI 2010, p. 5.

come nelle architetture di Carlo Scarpa³⁶, Pier Luigi Nervi, Le Corbusier e altri; in questi casi la materia, il cemento armato, assume un vero e proprio valore espressivo formale.

I metodi oggi più diffusi per gli interventi locali di risanamento strutturale non danno risultati accettabili quando la superficie è a faccia vista³⁷. Un esempio è dato dall'intervento fatto sulla Tomba Brion a S. Vito di Altivole (1969-1978) di Scarpa; gli interventi di riparazione, tra cui l'integrazione del copriferro espulso, dimostrano come "tecnicamente l'intervento sia riuscito ma l'immagine risulti fortemente compromessa. L'uso di malte bicomponenti tixotropiche a base di resine sintetiche, miscele di cementi e filler ed inibitori di corrosione organico ad unica colorazione per ripristino localizzati, sottolinea un contrasto tra la trama orizzontale conferito dalla tecnica di casseratura e l'andamento verticale delle riparazioni"³⁸.

Un ulteriore esempio è rappresentato da quanto è stato fatto nell'Unité d'Habitation a Marsiglia (1947-1952), di Le Corbusier, dove la superficie ammalorata è stata asportata e ripristinata "con malte su cui «sono [state] impresse delle tavole di abete, precedentemente sabbiare per evidenziare le venature». La cura nella ricostruzione induce a «realizzare piccoli difetti, colature, irregolarità nei giunti, affinché questa particolare finitura superficiale riproducesse l'aspetto poco curato dei getti a vista»"³⁹.

È proprio nella materia, e nel trattamento superficiale della stessa, che risiede parte dell'essenza dell'opera; non si può pensare di effettuare su di essa una 'semplice' operazione di risanamento dei fenomeni di degrado, sostituendo intere porzioni in cemento armato degradate o giunte al termine del loro ciclo di vita⁴⁰. La tessitura superficiale assume, in alcuni casi, valore proprio; essa non la si può riprodurre senza il rischio di perdere parte dell'originalità dell'opera.

Durante gli iniziali dibattiti nati con la fondazione del DoCoMoMo International, di fine anni Ottanta, "vengono ripercorsi gli statuti disciplinari per verificare se esiste una unità di metodo tra l'intervento sull'architettura "antica" e quella moderna. E l'antica *querelle*

³⁶ Musmeci dice che "un uso esteso e raffinato del calcestruzzo come materiale dotato di qualità espressive capaci di essere esaltate dai modi stessi del suo trattamento superficiale, è quello che ha fatto spessissimo Carlo Scarpa con una sensibilità e con risultati ineguagliati, riconosciuti in tutto il mondo"; S. MUSMECI 1980, p. 779.

³⁷ Tra i metodi vi è il *patch repair* che prevede la rimozione del calcestruzzo ammalorato, la pulizia con spazzole metalliche con ripassivazione delle armature e la riparazione della superficie con malte tissotropiche capaci di aderire perfettamente al vecchio getto; T. IORI 2010, p. 5.

³⁸ P. FACCIO 2008, p. 201.

³⁹ M. BENENTE 2008, p. 63.

⁴⁰ *Ibidem*, p. 62.

tra restauro, ripristino e conservazione si riapre, come se i concetti di tempo, materia segnata, memoria, cultura materiale non fossero applicabili alla nostra eredità presente”⁴¹.

Simona Salvo fa delle riflessioni sull'applicabilità della teoria del restauro alle opere di architettura 'recente': “l'attività di recupero dell'esistente, ormai ampiamente sviluppata nell'ambito dell'architettura tradizionale, lascia un vuoto difficile da colmare se si tratta di manufatti recenti. Il problema si acutizza, per assurdo, nel caso di edifici più recenti degli anni cinquanta, sia sotto il profilo applicativo sia, ancor più, sotto quello teorico: in sintesi, le problematiche inerenti gli edifici di recentissima realizzazione (successivi agli anni sessanta) o contemporanei sono di rado argomento di dibattito, sebbene sia facilmente prevedibile l'insorgere del problema, visto il ritmo accelerato di obsolescenza dell'architettura contemporanea”⁴². Secondo Salvo si è assistito, nel tempo, a dei veri e propri ripristini 'in stile' o ad operazioni manutentive così radicali da eliminare tratti caratterizzanti dei manufatti in questione. Raramente si riscontrano interventi 'di tipo filologico' tesi a ricomporre parti degradate o perdute durante la pur breve vita dell'opera⁴³.

Un'altra questione che emerge fin da subito è quella sull'aspetto estetico delle opere realizzate in conglomerato cementizio. Nel 1875, durante una conferenza al R.I.B.A., si discutono i modi per facilitare la manipolazione e proteggere dall'umidità un materiale che viene considerato da molti 'brutto'⁴⁴. L'aspetto 'brutale', insito nel calcestruzzo, che caratterizza queste architetture, spiega Emanuela Carpani, forse ha contribuito a ritardare un'attenzione condivisa verso le problematiche conservative del patrimonio architettonico del Novecento⁴⁵.

Come affermato in precedenza, bisogna aspettare la fine degli anni Ottanta affinché ci sia, in Italia, una sensibilizzazione verso questo delicato tema, soprattutto grazie agli stimoli provenienti dal dibattito internazionale e dal mondo accademico. Negli atti della disciplina del restauro, tra cui carte, norme, raccomandazioni e dichiarazioni, la questione sul contemporaneo compare in modo esplicito a partire dagli anni Trenta⁴⁶. Tali riferimenti, però, non riguardano ancora in modo diretto il problema della tutela dell'architettura

⁴¹ M. BORIANI, F. B. CAVALLERI, M. GIAMBRUNO 2008, pp. 92-93.

⁴² S. SALVO 1999, p. 441.

⁴³ Simona Salvo cita il caso 'notevole' di Ville Savoye a Poissy (1928-1931) “sottoposta da più di trent'anni ad una continua manutenzione [che è consistita nella] sostituzione degli elementi costruttivi e impiantistici e delle finiture interne ed esterne”; *ibidem*, p. 442.

⁴⁴ Il colore grigio e la superficie spesso alveolata appaiono sgradevoli; C. DI BIASE 2009, p. 24.

⁴⁵ E. CARPANI 2009, p. 478.

⁴⁶ *Ibidem*.

contemporanea; si tratta di dibattiti sulla liceità d'impiego nella tecnica del restauro di materiali e tecniche moderne. Devono passare ancora diversi decenni affinché il patrimonio del Novecento, moderno e contemporaneo, inizi ad essere considerato come una testimonianza del passato, da conservare e salvaguardare per la trasmissione alle generazioni future.

Nel 1975, ad Amsterdam, viene firmata la “Carta Europea del Patrimonio Architettonico” nella quale, per la prima volta, la nozione di patrimonio architettonico viene attribuita anche ai contributi delle epoche più recenti⁴⁷. Al punto quattro, recita che “occorre ... conservare le testimonianze di tutte le epoche e di tutte le esperienze”⁴⁸, in quanto la loro immagine e il contatto diretto con le testimonianze ‘recenti’ hanno un’importanza decisiva nella formazione culturale e sociale dell’uomo.

Nella “Dichiarazione di Amsterdam”, dello stesso anno, l’architettura contemporanea viene giudicata come “il patrimonio di domani; bisogna fare tutto il possibile per assicurare un’architettura contemporanea di alta qualità”⁴⁹; e ancora “la protezione di questi insiemi architettonici può essere definita solo in una prospettiva globale tenendo conto di tutti gli edifici che hanno un valore culturale, dai più prestigiosi ai più modesti, senza dimenticare quelli dell’epoca moderna, nonché dell’ambiente in cui si inseriscono”⁵⁰.

Nonostante ciò le istituzioni in Italia iniziano ad occuparsi della tutela delle architetture del XX secolo solo nel recente passato, più tardi rispetto ad altri paesi europei⁵¹. Dall’analisi del materiale istruttorio raccolto negli anni Sessanta dalla “Commissione parlamentare Franceschini”⁵² emerge il fatto che l’architettura contemporanea viene considerata più in relazione alla compatibilità ambientale e paesaggistica che alla necessità di produrre nuovi e più efficaci strumenti di tutela⁵³. Per la prima volta in Italia la “Commissione Franceschini” ha definito e diffuso la nozione di ‘bene culturale’ come “testimonianza materiale avente

⁴⁷ C. ACCETTA 2004-2005, p. 72.

⁴⁸ *Carta Europea del Patrimonio Architettonico*, firmata ad Amsterdam, 1975, punto 4.

⁴⁹ *Dichiarazione di Amsterdam*, 1975, lettera k.

⁵⁰ *Ibidem*, conclusioni.

⁵¹ Ne è esempio, per precocità e vastità d’azione, l’esperienza francese in materia di promozione della conoscenza e della tutela del patrimonio architettonico del Novecento; E. CARPANI 2009, p. 489.

⁵² L. n. 310 del 26 aprile 1964, costituzione di una *Commissione d’indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*.

⁵³ Ad esempio, in merito ai quartieri edilizi, realizzati nella seconda metà del Novecento, si parla di assenza di verde, di servizi e di viabilità adeguata, dell’assenza quindi di un impianto urbanistico “ragionevole ed equilibrato”; E. CARPANI 2009, p. 477.

valore di civiltà”⁵⁴ ed “ha proposto la creazione di una Amministrazione autonoma dei beni culturali”⁵⁵. Negli Atti della “Commissione Franceschini” emergono tracce degli accesi dibattiti che hanno accompagnato la nascita di alcune opere del Novecento, oggi considerate esempi importanti della cultura architettonica moderna e che allora venivano criticate per l’interferenza fisica e visiva che recavano al contesto; ne è un esempio il dibattito nato dopo la costruzione della torre Velasca di Milano⁵⁶.

Verso la fine degli anni Ottanta si amplia il concetto di ‘bene culturale’ con un interesse nei confronti delle problematiche sulla conservazione delle architetture ‘recenti’; le leggi a cui si fa riferimento in quegli anni, però, sono ancora la n. 1089⁵⁷ e la n. 1497⁵⁸ del 1939 che, tra l’altro, escludevano le opere di autori viventi o le opere la cui esecuzione fosse compresa nei cinquanta anni di vita⁵⁹.

In Italia, negli anni Novanta, si forma il “DO.CO.MO.MO. Italia” un’associazione volta a promuovere, divulgare e coordinare attività di ricerca, studio, informazione e sperimentazione per quanto riguarda la tutela, la documentazione, la conservazione, il recupero ed il restauro del patrimonio edilizio ed urbanistico moderno in Italia⁶⁰. Si giunge alla consapevolezza che anche in Italia è necessario conoscere le strategie di tutela che si stanno adottando nei vari paesi e gli interventi di restauro di opere moderne che, assumendo un carattere sperimentale, pongono questioni nuove nel tradizionale settore del restauro⁶¹.

⁵⁴ *Per la salvezza dei beni culturali in Italia: atti e documenti della Commissione d’indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*, Casa Editrice Colombo, Roma 1967.

⁵⁵ “L’opera, con le sue quasi 2500 pagine e oltre 230 tavole, costituisce un documento eccezionale di quelle che erano sentite come le misure più urgenti da prendere per difendere il patrimonio culturale italiano e promuoverne la conoscenza. Purtroppo gran parte delle proposte rimasero senza seguito e solo in minima parte confluirono nella creazione, dieci anni dopo, del Ministero dei Beni Culturali e Ambientali”; <www.bianchibandinelli.it>, giugno/2015.

⁵⁶ “A proposito dei grattacieli, ad esempio, si legge: «Tralasciamo Milano, che per la sua prepotente vitalità è in continua rivoluzione urbanistica, ma che nondimeno è ancora in grado di soffrire per iniziative edilizie antiestetiche: vedasi ad esempio la cosiddetta torre Velasca»; E. CARPANI 2009, pp. 477-478.

⁵⁷ L. n. 1089 del 1 giugno 1939, *Tutela delle cose d’interesse artistico e storico*, pubblicata sulla G.U. n. 184 dell’8 agosto 1939.

⁵⁸ L. n. 1497 del 29 giugno 1939, *Protezione delle bellezze naturali*, pubblicata sulla G.U. n. 241 del 30 giugno 1939.

⁵⁹ “Non sono soggette alla disciplina della presente legge le opere di autori viventi o la cui esecuzione non risalga ad oltre cinquanta anni”; L. n. 1089 del 1 giugno 1939, *Tutela delle cose d’interesse artistico e storico*, pubblicata sulla G.U. n. 184 dell’8 agosto 1939, Capo I, Art. 1, *Disposizioni generali*.

⁶⁰ <<http://www.docomomoitalia.it>>, giugno/2015.

⁶¹ S. PORETTI 1999, p. 11.

Un interesse forte sulle pratiche di tutela delle opere contemporanee nasce solo dopo il rinnovamento dell'assetto legislativo di fine anni Novanta a seguito delle ondate riformistiche amministrative e costituzionali⁶²; in pochi anni si succedono il Testo Unico D. Lgs n. 490 del 1999⁶³ e il Codice Urbani D. Lgs n. 42 del 2004⁶⁴, con i successivi decreti correttivi ed integrativi.

Con il D. Lgs n. 368 del 1998⁶⁵, inoltre, viene istituito il nuovo Ministero per i Beni e le Attività Culturali in cui viene inserita, per la prima volta, anche la Direzione Generale riferita direttamente all'Arte e all'Architettura Contemporanea⁶⁶. “Da quel momento si è previsto un centro istituzionalmente abilitato al riconoscimento e alla tutela delle opere di architettura contemporanea che ha cominciato ad operare nel 2001”⁶⁷, a seguito dell'emanazione del nuovo D.P.R. n. 441 del 2000⁶⁸. “La creazione della *Direzione Generale per l'architettura e l'arte contemporanee* (DARC) all'interno del MiBAC ha dato notevole impulso per allargare il campo di indagine e affrontare il delicato e controverso tema della tutela dell'architettura del secondo Novecento, sviluppando nuova sensibilità per le problematiche del contemporaneo nell'amministrazione statale”⁶⁹.

Con la legge n. 237 del 1999⁷⁰, inoltre, si avvia la costituzione del Centro per la documentazione e la valorizzazione delle arti contemporanee, poi confluito nel MAXXI (Museo Nazionale delle Arti del XXI secolo). Con le nuove normative italiane viene promossa, quindi, la conoscenza e la diffusione delle testimonianze architettoniche del XX secolo.

⁶² La legge Bassanini e la legge costituzionale n. 3 del 2001; E. CARPANI 2009, p. 479.

⁶³ D. Lgs n. 490 del 29 ottobre 1999, *Testo Unico Disposizioni Legislative in Materia di Beni Culturali e Ambientali*, pubblicata sulla G.U. n. 302 del 27 dicembre 1999.

⁶⁴ D. Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*.

⁶⁵ D. Lgs n. 368 del 20 ottobre 1998, *Istituzione del Ministero per i beni e le attività culturali, a norma dell'articolo 11 della legge 15 marzo 1997, n. 59*, pubblicata sulla G.U. n. 250 del 26 ottobre 1998.

⁶⁶ “Il Ministero si articola in non più di dieci uffici dirigenziali generali con competenze nei seguenti settori: ... arte e architettura contemporanee ...”; D. Lgs n. 368 del 20 ottobre 1998, *Istituzione del Ministero per i beni e le attività culturali, a norma dell'articolo 11 della legge 15 marzo 1997, n. 59*, pubblicata sulla G.U. n. 250 del 26 ottobre 1998, art. 6, *Organizzazione del Ministero*, punto 2.

⁶⁷ E. CARPANI 2009, p. 479.

⁶⁸ D.P.R. n. 441 del 29 dicembre 2000, *Regolamento recante norme di organizzazione del Ministero per i beni e le attività culturali*.

⁶⁹ E. CARPANI 2009, p. 479.

⁷⁰ L. n. 237 del 12 luglio 1999, *Istituzione del Centro per la documentazione e la valorizzazione delle arti contemporanee e di nuovi musei, nonché modifiche alla normativa sui beni culturali ed interventi a favore delle attività culturali*, pubblicata sulla G.U. n. 173 del 26 luglio 1999.

È, però, solo con il Codice Urbani del 2004 che, per la prima volta in Italia, si includono in modo esplicito “le opere dell’architettura contemporanea di particolare valore artistico”⁷¹ nei *Beni oggetto di specifiche disposizioni di tutela*.

Il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975) di Sergio Musmeci, detto anche ‘ponte Musmeci’, è la “prima opera di architettura contemporanea italiana cui sia stata riconosciuta la valenza di bene culturale, ancor prima che il nuovo *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, entrato in vigore il 1 maggio 2004, prevedesse una specifica disposizione in tal senso”⁷². Nel 2003 infatti, come anticipato nel secondo capitolo, la Soprintendenza Regionale della Basilicata dispone la dichiarazione di ‘importante interesse culturale’ che inizia ad aprire la strada verso “interventi conservativi e di riqualificazione dell’intorno consapevoli del valore storico, artistico e culturale del ponte e dei suoi caratteri costitutivi”⁷³.

Le opere rappresentative del XX secolo sono “materiale della storia, parte del patrimonio che ogni paese tutela in nome della cultura e della memoria collettiva. Storici e architetti difendono il diritto alla sopravvivenza delle opere costruite dai maestri, luoghi dei loro studi, modello ineludibile di riflessione progettuale”⁷⁴. È per questo che gli architetti che operano sul patrimonio architettonico moderno chiedono il supporto degli organi istituzionali al fine di tutelare le opere che ne fanno parte.

Roberta Grignolo, parte attiva del progetto di ricerca promosso dalla scuola svizzera per la realizzazione di una *Enciclopedia critica per il restauro e il riuso dell’architettura del XX secolo*, si chiede, nei suoi articoli, se il patrimonio del XX secolo meriti un trattamento su misura⁷⁵. La risposta potrebbe essere positiva: sicuramente tale patrimonio presenta delle specificità. Rispetto al patrimonio più antico, ad esempio, un problema importante è quello che riguarda la messa a norma in base alla tipologia edilizia. Molte architetture degli anni Trenta e Cinquanta, veri capolavori, presentano infatti una continuità spaziale davvero complessa difficile da adeguare alle normative vigenti. Anche la scarsa inerzia termica degli involucri moderni, che rende problematico ogni sforzo per ridurre i consumi energetici, è un problema di cui tenere conto. Un’ulteriore questione da tenere in considerazione è la salvaguardia dell’opera rispetto ad alcune richieste delle autorità per la sicurezza; alcuni interventi di adeguamento, infatti, trascurando alcuni aspetti delle opere del Novecento

⁷¹ D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137, Parte II, *Beni culturali*, art. 11, *Beni oggetto di specifiche disposizioni di tutela*, comma 1, lett. e).

⁷² *Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004, p. 9.

⁷³ *Ibidem*, p. 11.

⁷⁴ C. DI BIASE 2009, pp. 19-20.

⁷⁵ R. GRIGNOLO 2014, p. 8.

rischiano di comprometterle e snaturarle. “Se tutti sono d’accordo sul fatto che non si debba realizzare il parapetto della scala elicoidale del castello di Chambord (XVI secolo), nonostante in alcuni punti questo sia più basso dell’altezza regolamentare, è difficile far capire che anche in un edificio degli anni ‘30 la messa a norma di un parapetto attraverso un elemento di sicurezza aggiunto superiormente può snaturare le proporzioni dello spazio interno”⁷⁶.

Per proteggere un’architettura di particolare interesse storico e artistico è possibile apporre un vincolo di tutela che varia a seconda delle nazioni europee⁷⁷. La questione dei vincoli per le opere ‘recenti’, in Italia, è abbastanza delicata. Anche nel Codice Urbani del 2004, come nelle precedenti normative, sono escluse le ‘cose’ che siano opera di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltre cinquant’anni di vita, se private, e settant’anni⁷⁸, se pubbliche, in riferimento al comma 1 e 3, lettera a) ed e)⁷⁹; in pratica vengono escluse tutte le opere ‘recenti’, sia pubbliche che private, che presentano “interesse artistico e storico particolarmente importante”⁸⁰. Considerando tale lasso di tempo si deduce che sono moltissime le opere ‘recenti’ che, in Italia, rischiano di essere abbandonate al loro degrado, dimenticate o addirittura demolite⁸¹.

⁷⁶ *Ibidem*, p. 9.

⁷⁷ In Italia il vincolo interessa il manufatto per intero mentre in Francia può essere protetta anche solo una porzione di edificio. Nel Regno Unito, oggi, si possono specificare quelli che sono gli elementi essenziali di un edificio da proteggere. La Svizzera assume, invece, una posizione intermedia: non vengono precisati quali sono gli elementi da conservare ma si utilizzano delle diciture generali per indicare gli elementi da proteggere; *ibidem*, p. 17.

⁷⁸ Con l’aggiornamento della normativa, nel 2011, per le cose pubbliche l’età dell’opera è estesa da cinquanta a settant’anni; D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, aggiornamento del 2011, Parte II, *Beni culturali*, art. 10, *Beni culturali*, comma 5.

⁷⁹ “Non sono soggette alla disciplina del presente Titolo le cose indicate al comma 1 che siano opera di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltre cinquanta anni, se mobili, o ad oltre settanta anni, se immobili, nonché le cose indicate al comma 3, lettere a) ed e), che siano opera di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltre cinquanta anni”; D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, aggiornamento del 2011, Parte II, *Beni culturali*, art. 10, *Beni culturali*, comma 5.

⁸⁰ In particolare al comma 3, lettera a), si fa riferimento alle “cose immobili e mobili che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico particolarmente importante, appartenenti a soggetti diversi da quelli indicati al comma 1”; D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, aggiornamento del 2011, Parte II, *Beni culturali*, art. 10, *Beni culturali*, comma 3, lett. a).

⁸¹ Al di fuori dell’Italia la situazione è ben diversa; in Francia si vincolano anche edifici appena conclusi e nel Regno Unito la soglia dei trent’anni sta lasciando il passo ad un approccio più aperto che ammette anche la protezione di edifici molto recenti; R. GRIGNOLO 2014, pp. 18-19.

Nella normativa italiana esistono, però, delle alternative. Un'alternativa può essere data dalla normativa di tutela del diritto d'autore, L. n. 633 del 1941⁸²; tale norma dà la possibilità all'autore, o agli eredi, di richiedere il riconoscimento di importante carattere artistico⁸³. Tale strumento, però, sembra tutelare esclusivamente un interesse privato e non pubblico. Non viene garantita, infatti, la piena tutela dell'opera in quanto dà facoltà all'autore di poter attuare modifiche ed intervenire sull'opera in tempi successivi⁸⁴; in sostanza viene protetto l'autore non l'architettura. In Italia, la prima opera tutelata tramite il ricorso al diritto d'autore è l'ex Casa del Fascio a Como (1932-1936) di Giuseppe Terragni, con provvedimento risalente al 1956 promosso dagli eredi. Si è voluta evitare la vendita all'asta dell'immobile, nonché scongiurare alcuni tentativi di sopraelevazione. Nel 1986, appena compiuti i cinquant'anni dalla sua realizzazione, l'ex Casa del Fascio è stata ufficialmente vincolata⁸⁵.

Se non ricorrono i requisiti dell'ultracinquantennalità e della morte dell'autore, esiste una seconda alternativa di tutela, oltre a quella del diritto d'autore; si tratta del vincolo storico relazionale⁸⁶. La limitazione imposta nel Codice Urbani del 2004, infatti, fa riferimento solo al comma 1 e 3, lettera a) ed e); non si estende quindi agli altri punti, tra cui in particolare alla lettera d) che si riferisce alle “cose immobili e mobili, a chiunque appartenenti che rivestono un interesse particolarmente importante a causa del loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte, della scienza, della tecnica, dell'industria e della cultura in genere, ovvero quali testimonianze dell'identità e della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose”⁸⁷. È proprio il caso del palazzo

⁸² L. n. 633 del 22 aprile 1941, *Protezione del diritto d'autore e di altri connessi al suo esercizio*.

⁸³ Inoltre l'art. 37 del Codice Urbani prevede che il Ministero possa concedere contributi “anche per interventi conservativi su opere di architettura contemporanea di cui il Ministero abbia riconosciuto, su richiesta del proprietario, il particolare valore artistico”; D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, aggiornamento del 2011, Parte II, *Beni culturali*, art. 37, *Contributo in conto interessi*, comma 4.

⁸⁴ L. n. 633 del 22 aprile 1941, *Protezione del diritto d'autore e di altri connessi al suo esercizio*.

⁸⁵ R. GRIGNOLO 2014, p. 24.

⁸⁶ E. CARPANI 2009, p. 487.

⁸⁷ D.Lgs n. 42 del 22 gennaio 2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, aggiornamento del 2011, Parte II, *Beni culturali*, art. 10, *Beni culturali*, comma 3, lett. d). Anche la precedente normativa, L. n. 1089 del 1939 recita che “sono altresì sottoposte alla presente legge le cose immobili che, a causa del loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte e della cultura in genere, siano state riconosciute di interesse particolarmente importante e come tali abbiano formato oggetto di notificazione, in forma amministrativa, del Ministro della pubblica istruzione”; L. n. 1089 del 1 giugno 1939, *Tutela delle cose d'interesse artistico e storico*, pubblicata sulla G.U. n. 184 dell'8 agosto 1939, Capo I, Art. 2, *Disposizioni generali*.

del Lavoro a Torino (1959-1961) di Pier Luigi Nervi. Sull'opera è stato apposto il vincolo di tutela in base al "Codice dei beni culturali e del paesaggio" che prevede che un edificio possa essere vincolato oltre che per il suo interesse artistico e storico anche per altre ragioni; l'edificio è stato vincolato "come testimonianza della storia della nazione italiana"⁸⁸, in quanto realizzato per festeggiare il centenario dell'Unità d'Italia, "e non per la sua importanza rispetto alla storia dell'architettura e dell'ingegneria del XX secolo"⁸⁹. Sembra quasi un 'paradosso' dato che oltre al fatto che l'opera è stata progettata e realizzata da Nervi, uno dei più grandi pionieri del cemento armato, la sua realizzazione "costituisce uno dei cantieri tecnicamente più innovativi e complessi del dopoguerra"⁹⁰.

In Francia diverse opere di architettura moderna, in particolare le opere di Le Corbusier, sono state salvate dalla demolizione proprio grazie ai vincoli e all'intervento delle istituzioni preposte alla tutela. È il caso, ad esempio, dell'Unité d'Habitation a Marsiglia (1947-1952) per il quale l'autore stesso ha propiziato, nel 1964, la condizione di *monuments historiques*, "opere d'artista degne di appartenere alla storia dei luoghi, alla storia della Francia, alla storia dell'architettura"⁹¹.

Un altro esempio di salvataggio di un'opera di Le Corbusier è quello di Ville Savoye a Poissy (1928-1931), icona dell'architettura moderna nonché applicazione pratica di nuovi principi e nuovi modi di abitare⁹². Tale opera, subito dopo la sua realizzazione inizia ad avere forti problemi di infiltrazioni d'acqua che arrecano notevoli danni al terrazzo e agli interni; nel 1940 viene lasciata dai proprietari⁹³. Durante la guerra viene occupata da militari, prima tedeschi e poi americani, che contribuiscono fortemente al suo degrado; negli anni Cinquanta la proprietaria utilizza la villa come rimessa e fienile, autorizzando un fattore a murare le finestre per immagazzinarvi il grano⁹⁴. In questi anni il Comune paga i diritti di

⁸⁸ R. GRIGNOLO 2014, p. 19.

⁸⁹ *Ibidem*.

⁹⁰ Il palazzo del Lavoro a Torino presenta come tipologia strutturale quella del pilastro a 'fungo'. Nervi scompone il grande volume a base quadrata in sedici elementi indipendenti a 'ombrello' di 40 m di lato, costituiti ognuno da un pilastro centrale. In quest'opera vi è l'unione di due materiali, il cemento armato per la colonna e l'acciaio per la raggiera di mensole che esce dal pilastro; C. CHIORINO, C. OSTORERO 2006, p. 3.

⁹¹ Anche la Maison Radieuse di Rezé (1953-1955), detta Le Corbu, nel 1965 è stata classificata nei 'monumenti storici' (*monuments historiques*); in particolare le facciate, i percorsi interni e la terrazza con la scuola materna; C. DI BIASE 2009, pp. 17-18.

⁹² *Ibidem*, p. 20.

⁹³ "Émilie Savoye dà inizio a una corrispondenza con l'architetto, che proseguirà fino al 1937: «Piove nell'ingresso - scrive nel settembre di quell'anno -, piove nella rampa, e il muro del garage è assolutamente fradicio. Ma più di tutto, il mio bagno viene inondato ogni volta che fuori piove»"; *ibidem*.

⁹⁴ M. ODDO 2005, p. 84.

esproprio per demolirla e per costruire al suo posto una scuola. L'ex proprietaria contatta Le Corbusier il quale si muove al fine di evitare tutto ciò attivandosi tramite la sua rete di contatti internazionali e facendo appello all'UNESCO perché supporti la sua causa. La forte mobilitazione di critici ed intellettuali segnala un "decisivo mutamento nella percezione dell'architettura costruita tra le due guerre"⁹⁵. Nel 1964 Ville Savoye viene classificata tra i *batiments civils*, ed è la prima volta che succede in Francia su un'opera che ha un autore ancora vivente⁹⁶. Nel restauro del 1996, a cura di Bruno Chauffert-Yvart e Laurence Razy, viene ripristinata la cromia originaria e vengono inseriti impianti e sistemi di sicurezza. A seguito dei vari restauri si è tornati all'assetto primitivo che si inserisce, però, "nel dibattito aperto sulla liceità dei rifacimenti ampi e delle ricostruzioni tout court, in un periodo della storia, il nostro, nel quale istanze di demolizione e progetti di ricostruzione si susseguono e convivono"⁹⁷.

Un'altra tematica inerente le opere del Novecento, non più utilizzate, è quella del loro riuso; "nonostante i contenuti formali e tecnologici di grande innovatività delle strutture"⁹⁸ del XX secolo, spesso queste sono oggetto di "sottoutilizzo dovuto agli alti costi di manutenzione, ... con i problemi e i condizionamenti posti dalla evoluzione tecnologica nelle fasi di riuso, con i vincoli di mercato e con i mutamenti culturali e sociali"⁹⁹. È proprio quanto accaduto al padiglione ipogeo di "Torino Esposizioni" (1958) di Riccardo Morandi. "Una somma di valutazioni sfavorevoli ed erranee nella necessità di adeguamenti funzionali e, soprattutto, nella mancanza di riconoscimento sociale e culturale ha portato a una scelta infelice"¹⁰⁰ per il suo riuso. Nel 1992 l'opera di Morandi viene trasformata in un parcheggio pubblico; le misure di sicurezza richieste, tra cui la creazione di pareti tagliafuoco, hanno distrutto quella che era la spazialità originaria dell'opera, opera che costituiva esempio di grandezza dell'ingegneria strutturale di quegli anni. Inoltre, l'utilizzo della "schiuma poliuretana antincendio ha omologato tutti i materiali: laterizio, calcestruzzo e acciaio, con la perdita totale dell'effetto scultoreo e della comprensione delle gerarchie strutturali"¹⁰¹.

⁹⁵ I telegrammi di Le Corbusier raggiungono José Louis Sert e Sigfried Giedion, tra i più attivi promotori dell'azione di difesa; C. DI BIASE 2009, p. 21.

⁹⁶ Il decreto di *classement aux monuments historiques* arriva nel dicembre 1965 pochi mesi dopo la morte di Le Corbusier; la procedura diventa così più rapida dato che l'autore non è più in vita; *ibidem*.

⁹⁷ *Ibidem*, p. 22.

⁹⁸ C. CHIORINO 2008, p. 144.

⁹⁹ *Ibidem*.

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 148.

¹⁰¹ *Ibidem*.

4.2 LA DURABILITÀ DEL C.A. NELL'ARCHITETTURA DEL SECONDO NOVECENTO

“La durabilità del calcestruzzo è la capacità del materiale di durare nel tempo resistendo alle azioni aggressive dell’ambiente”

M. Collepari¹⁰²

Nei manufatti in calcestruzzo armato la durabilità è un aspetto da non sottovalutare in quanto la fragilità del materiale e la vulnerabilità alle aggressioni dell’ambiente possono compromettere, oltre che l’aspetto estetico, anche la stabilità della struttura. “Sono certamente la corretta formulazione e messa in opera del calcestruzzo a garantire la preservazione delle caratteristiche nel tempo”¹⁰³.

Come si è visto, all’inizio del Novecento è proprio Hennebique ad esaltare la ‘durata’ del nuovo materiale facendo un’intensa attività di propaganda dello stesso ma, verso la metà degli anni Trenta, alcuni studi dimostrano la sua intrinseca vulnerabilità. Sono proprio le opere in calcestruzzo a faccia vista ad essere le più esposte agli attacchi dell’ambiente.

L’aggressione dell’ambiente esterno rappresenta una delle cause principali di degrado a cui si aggiungono alcune carenze qualitative da imputare agli addetti ai lavori, impresa e manodopera, e ai progettisti; l’assenza di manutenzione, inoltre, può compromettere ulteriormente la vita utile d’esercizio degli edifici¹⁰⁴. Nel corso degli anni si è constatato che sono stati pochi i fenomeni di instabilità nelle strutture in calcestruzzo armato e che questi sono stati determinati più da una cattiva esecuzione che da errori di progettazione.

Queste le parole di Nervi degli anni Sessanta: “Per ottenere efficienti strutture in cemento armato è di elementare evidenza la necessità di disporre di un buon conglomerato; ma ottenere con le normali attrezzature di cantiere un buon conglomerato non è così facile come può sembrare. Granulometria degli inerti, quantità d’acqua di impasto, dosaggio dei componenti, mezzi e modo di mescolamento, di trasporto e di posa in opera, concorrono in misura e modo di difficile valutazione empirica, al risultato finale. E se si considera che la capacità di resistenza del conglomerato può in relazione della più o meno felice convergenza di tutti questi fattori variare con rapporti da uno a due, è agevole dedurre

¹⁰² M. COLLEPARDI 1992, p. 708.

¹⁰³ A. FARESIN 2012, p. 311.

¹⁰⁴ *Ibidem*.

quale importanza, per lo sviluppo delle strutture in cemento armato, abbia tutto quanto può occorrere a migliorare e perfezionare la produzione di cantiere del conglomerato”¹⁰⁵.

Con il passare degli anni, “un progressivo miglioramento della qualità dei conglomerati cementizi ha consentito di ottenere resistenze crescenti. Inoltre ... il continuo perfezionamento delle tecniche di analisi strutturale ... hanno favorito l'adozione di dimensioni sempre più ridotte delle sezioni in c.a., rendendo più vulnerabili le strutture per l'aumento della snellezza degli elementi”¹⁰⁶. La riduzione delle sezioni resistenti e la diminuzione della quantità di cemento negli impasti hanno avuto, come conseguenza, il sorgere di fenomeni di degrado quali la corrosione delle armature per l'assenza di un copriferro adeguato, una maggiore porosità del calcestruzzo ed eccessive deformazioni.

Bisogna inoltre considerare che, mentre nelle fasi sperimentali di inizio Novecento vi è stato molto spesso un atteggiamento rigoroso e prudente degli operatori verso una cura costruttiva, un preciso rispetto del rapporto acqua/cemento, tale cura esecutiva non si ritrova sempre nei decenni successivi, “anche a fronte di calcoli strutturali sempre più raffinati e materiali sempre più tecnologicamente garantiti”¹⁰⁷.

¹⁰⁵ P. L. NERVI 1962, pp. VII-VIII.

¹⁰⁶ A. AVETA 2008, p. 31.

¹⁰⁷ *Ibidem*.

4.2.1 LA DURABILITÀ DEL CALCESTRUZZO NELLA STORIA

“La durabilità del calcestruzzo che i Romani realizzavano utilizzando calce, pozzolana e aggregati ha conferme millenarie. Sono giunte fino a noi, in condizioni di conservazione perfetta, prestigiose opere esposte all’atmosfera - come il Pantheon - e perfino costruzioni rimaste per quasi duemila anni a contatto con l’acqua di mare. È la dimostrazione che il calcestruzzo può presentare la durabilità di una pietra naturale”¹⁰⁸.

Nell’Ottocento, fin dalla nascita del calcestruzzo ‘moderno’, si possono contare diversi episodi che mettono in dubbio le reali caratteristiche del conglomerato cementizio; si inizia a riflettere sulla sua ‘durata’ nel tempo e sui fenomeni di degrado a cui è soggetto.

Di Biase, nelle sue pubblicazioni¹⁰⁹, racconta le vicende che, a partire dagli anni Quaranta dell’Ottocento, hanno portato negli anni Sessanta del Novecento ad una maggiore consapevolezza sulla vulnerabilità del materiale. Sono noti gli studi dell’ingegnere francese Louis Vicat sulla reazione dei conglomerati idraulici all’acqua di mare, conseguenti alla disgregazione del calcestruzzo nei moli di Tolone, da poco realizzati, nel 1840.

Nel marzo del 1992 la rivista “Rassegna” esce con un numero monografico¹¹⁰ sul c.a. che mette in evidenza le problematiche riguardanti la deperibilità del materiale: “gli anni Sessanta, gli stessi nei quali la gloriosa impresa Hennebique aveva interrotto la sua attività, avevano messo il luce «che il cemento armato, come gli altri materiali, non è al riparo dalle offese del tempo: esso entra nel campo della patologia»”¹¹¹.

Si cita la vicenda che ha interessato la chiesa di Le Vésine (1862-1865), caratterizzata da una struttura portante in colonne di ghisa; le pareti della chiesa sono realizzate da Coignet in calcestruzzo costipato in casseforme di legno senza giunzioni, così da esaltarne la monoliticità. Il progettista della chiesa, Louis Auguste Boileau, grande sostenitore delle costruzioni in ferro, giudica severamente la scelta di Coignet: la costruzione non è ritenuta affatto “monolitica «dato che le lesioni provocate dal ritiro si aprono per la maggior parte in verticale in ciascun letto di malta, formando successivi e accentuati fuoripiombo»; senza considerare «le enormi difficoltà di mettere in posizione le casse di legno che servono da

¹⁰⁸ M. CARSANA, P. PEDEFERRI, E. REDAELLI 2008, p. 124.

¹⁰⁹ C. DI BIASE 2009.

¹¹⁰ *Cemento armato: ideologie e forme da Hennebique a Hilberseimer*, in “Rassegna”, n. marzo 1992; citato in *ibidem*, p. 22.

¹¹¹ *Ibidem*.

forme ... Le variazioni che queste forme subiscono ... causano deformazioni che si riproducono necessariamente nell'impasto versato e costipato»¹¹².

Le critiche iniziali vengono però superate già nei primi anni del Novecento, grazie al contributo di diversi personaggi che diffondono i loro brevetti e le loro realizzazioni su scala internazionale.

In questo clima contrastante, di piena fiducia da un lato e di forti dubbi dall'altro, i chimici ricercano le cause dei fenomeni di degrado che si manifestano nel materiale. Nel primo capitolo sono stati citati gli studi di Paul Christophe il quale ritiene che il più grande difetto del nuovo sistema costruttivo sia quello di essere poco o mal conosciuto¹¹³. Camillo Guidi, riprendendo le argomentazioni di Christophe, descrive il cemento armato come un materiale "in grado di sopperire alle carenze e agli onerosi problemi di manutenzione delle strutture in ferro"¹¹⁴.

Contestualmente, però, avvengono diversi disastri edilizi come quello, già citato, riguardante i serbatoi di acqua potabile sovrapposti ai resti del torrione sud del Castello Sforzesco di Milano, costruiti secondo il 'Sistema Hennebique'; nel 1905, in seguito a quest'evento, Achille Manfredini, direttore della rivista "Il Monitore Tecnico", "scrive: «Si son viste strutture barbinamente imbastite con ferri esuberanti, mal collocati rispetto al cemento ... ferri magari opportunamente postati, ma di sezione insufficiente ... cemento di pessima qualità, insufficiente spessore nei getti Non è da tutti il progettare o il costruire il cemento armato. [Se] si vuole con questo sistema approfittare veramente dei vantaggi statici e economici, allora la struttura deve essere progettata perché i due elementi eterogenei ... siano tra loro collegati e sposati razionalmente»"¹¹⁵.

Nel 1909 l'ingegnere austriaco Fritz von Emperger¹¹⁶, direttore della rivista "Beton und Eisen", descrive quelli che sono i difetti di progettazione e di costruzione che causano i disastri edilizi; tra questi, l'insufficiente collegamento tra pilastri e travi, il calcolo errato delle armature, la scarsa qualità dei materiali ed il loro dosaggio, la messa in opera del calcestruzzo a temperature estreme.

¹¹² *Ibidem*, p. 24.

¹¹³ C. DI BIASE 2008, pp. 185-186.

¹¹⁴ Queste le parole di Camillo Guidi: "Le costruzioni metalliche devono combattere continuamente contro la ruggine; sono soggette a distruzione in caso di incendio; non sono sempre suscettibili di un rigoroso calcolo statico"; C. DI BIASE 2009, p. 27.

¹¹⁵ *Ibidem*, pp. 28-29.

¹¹⁶ C. DI BIASE 2008, pp. 187.

Tra i chimici, Joseph Malette¹¹⁷, responsabile del laboratorio di chimica dell’“Ecole des Ponts et Chaussées”, pubblica, nel 1929, *Les défauts des mortiers et des bétons*¹¹⁸ in cui esamina le caratteristiche dei materiali che compongono il conglomerato cementizio e il loro dosaggio, i problemi relativi alle modalità esecutive, i difetti del calcestruzzo in sede di costruzione, le patologie e i problemi di degrado associati ad ogni causa.

La conferenza tenutasi a Liegi nel 1930, dal titolo *Premier Congrès International du Béton et du Béton Armé*, rappresenta uno “spaccato notevole sullo stato delle conoscenze scientifiche del mondo delle costruzioni in calcestruzzo armato. Tra gli argomenti trattati, alcuni fanno esplicitamente cenno al tema del degrado”¹¹⁹. A questa conferenza partecipa Giulio Natta, laureato da pochi anni in ingegneria chimica, che presenta una relazione sulla riduzione della resistenza a compressione nei calcestruzzi porosi. Tra le cause egli individua la concomitanza di più fattori sfavorevoli, come la presenza di sabbia in quantità eccessiva rispetto alla ghiaia, l’eccesso di acqua di impasto e l’errato dosaggio del cemento.

Nervi, nel 1945, parla delle “nascoste deficienze ... che rendono quanto mai ardua, se non impossibile, la esatta previsione del comportamento di una struttura in cemento armato”¹²⁰; egli si riferisce alla grande sensibilità termica del materiale, alla sua variabilità di volume o ritiro durante la maturazione e soprattutto alla plasticizzazione sotto carico.

Negli anni Cinquanta si intensificano gli studi sulle caratteristiche del calcestruzzo anche se i suoi difetti vengono segnalati “non tanto per provvedere alla riparazione dell’esistente quanto per migliorare la qualità delle nuove realizzazioni e prevenirne il precoce invecchiamento”¹²¹.

È utile, a tal proposito, citare ancora una volta Nervi che, nei suoi scritti, sottolinea le incertezze dell’epoca e le difficoltà di una corretta progettazione ed esecuzione di strutture in c.a.: “Se l’impiego del conglomerato cementizio si sviluppa sempre più e tende ad invadere tutti i campi dell’edilizia è *purtroppo* doveroso ammettere che le nostre conoscenze nei riguardi delle più intime caratteristiche di questo meraviglioso materiale *progrediscono con un ritmo inadeguatamente lento*. *Troppe* volte si constatano, nelle strutture cementizie, impreviste debolezze e parimenti impreviste super resistenze, *troppa* differenza si nota tra risultati ed

¹¹⁷ Il testo di Malette segnala gli effetti del gelo, le fessurazioni, le efflorescenze, gli effetti dell’acqua di mare e così via; *ibidem*, p. 188.

¹¹⁸ J. MALETTE, *Les défauts des mortiers et des bétons*, Dunod, Parigi 1929; citato in *ibidem*.

¹¹⁹ Negli anni Trenta del Novecento vengono studiati diversi tipi di degrado, alcuni dei quali riconosciuti nei meccanismi e nelle cause solo nei decenni successivi; C. DI BIASE 2009, p. 33.

¹²⁰ P. L. NERVI 1945, p. 78.

¹²¹ M. BORIANI, F. B. CAVALLERI, M. GIAMBRUNO 2008, p. 93.

esperienze di laboratorio e realtà costruttiva, *troppi* dati sulla deformabilità viscosa, sul comportamento nel tempo, sul ritiro, sull'influenza reciproca delle armature metalliche e dei conglomerati nei riguardi della fessurabilità e dell'adattamento plastico delle strutture restano tuttora incerti e, se da una parte sono causa di sia pure non gravi difetti delle costruzioni cementizie, *impediscono il pieno sviluppo delle illimitate capacità termiche e costruttive del cemento armato*. Analogamente molti, troppi dati importanti della preparazione e posa in opera dei conglomerati, restano ancora affidati ad un empirismo e ad una pratica di cantiere che non sempre corrispondono alle esigenze di una ottima razionale tecnica esecutiva”¹²².

Un vero e proprio dibattito sulla questione della durabilità emerge solo negli anni Sessanta. Nel 1961 si tiene a Praga il Colloquio RILEM¹²³ *Durability of Concrete* in cui si discute, anche grazie al supporto fotografico, dei fattori che incidono sulla ‘durata’ delle costruzioni e delle azioni fisiche e chimiche.

Dopo gli anni Sessanta si inizia quindi ad avere maggiore sensibilità sulla questione anche se è solo negli anni Ottanta che la durabilità inizia ad essere considerata nella normativa italiana.

¹²² P. L. NERVI; citato in *ibidem*, p. 94.

¹²³ Il colloquio RILEM dedica la seconda questione a *Mécanique de la détérioration de la structure normale du Béton*; C. DI BIASE 2008, p. 189.

4.2.2 LA QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO E LE CAUSE DEL DEGRADO

“Un calcestruzzo di buona qualità (e analogamente un elemento strutturale in cemento armato, ben eseguito e con un buon calcestruzzo) possiede normalmente la “durabilità”, ovvero la capacità di mantenere per tempi lunghi le sue caratteristiche funzionali al livello richiesto”¹²⁴. Tuttavia le aggressioni degli agenti esterni unite a particolari condizioni di esercizio o a cause intrinseche al conglomerato, possono portare, “in tempi più o meno lunghi “degradazione”, cioè alterazioni che ne riducono le caratteristiche funzionali, fino a richiedere interventi di ripristino o, al limite, la messa fuori servizio”¹²⁵.

Collepari, in diversi articoli dei primi anni Novanta, sottolinea il fatto che il calcestruzzo armato è il materiale con cui si è più costruito, soprattutto in Italia, nel campo delle opere edili, strutturali ed infrastrutturali, nel corso di tutto il Novecento; nonostante il primato nella produzione italiana, però, la qualità del materiale non risulta ottimale. Nel corso degli anni ci si rende conto del rapido degrado a cui il calcestruzzo può essere soggetto e quindi della scarsa durabilità di molte opere in cemento armato e cemento armato precompresso.

Tra i vantaggi che hanno favorito la diffusione del calcestruzzo vi è la sua facile produzione; tuttavia, proprio quest'apparente facilità è anche la causa principale del suo degrado. Infatti, “se è facile produrre un qualsiasi calcestruzzo mescolando acqua, cemento ed aggregati, non è altrettanto facile produrre un calcestruzzo di qualità prefissata ed in particolare di durabilità programmata”¹²⁶.

Nei suoi articoli Collepari mette in luce una serie di problematiche, sulla qualità del calcestruzzo, riscontrate dagli anni Cinquanta in poi. Una serie di circostanze, verificatisi dopo la Seconda Guerra Mondiale, ha influenzato la qualità del calcestruzzo¹²⁷. Nel corso del tempo vi è stata, ad esempio, una graduale dequalificazione della manodopera nei cantieri, dovuta soprattutto al fatto che le tecniche costruttive sono divenute sempre più sofisticate; tale circostanza è strettamente connessa anche all'aumento di acqua nel rapporto acqua/cemento (a/c) richiesto dalla manodopera al fine di ottenere un calcestruzzo più fluido. La produzione di calcestruzzo preconfezionato, inoltre, sviluppatasi nel corso del tempo, richiede molta più acqua nell'impasto rispetto a quanto è necessaria per quello

¹²⁴ V. ALUNNO ROSSETTI 2007, p. 235.

¹²⁵ *Ibidem*.

¹²⁶ M. COLLEPARI 1992, p. 707.

¹²⁷ *Ibidem*, p. 708.

prodotto *in situ*, per via del trasporto a lunga distanza. Un'ulteriore circostanza è dovuta all'aumento delle sollecitazioni aggressive, meccaniche e ambientali: le opere infrastrutturali, come ponti e viadotti ad esempio, sono sottoposte tutti i giorni a sollecitazioni di esercizio sempre maggiori per l'aumento dei veicoli, le acque piovane diventano negli anni sempre più acide a causa dell'aumento dei gas inquinanti (CO_2 e SO_2) nell'atmosfera e sono aumentati i trattamenti che si effettuano per sciogliere il ghiaccio che si deposita in inverno sul manto stradale.

In merito alla prima circostanza, una tabella evidenzia la differenza tra i calcestruzzi prodotti nel periodo 1945-1950 e quelli prodotti tra il 1960 e il 1980; quest'ultimo periodo è proprio quello in cui opera Sergio Musmeci. Per mantenere la stessa resistenza¹²⁸, nonostante l'aumento del rapporto a/c, si realizzano calcestruzzi sempre più porosi, più permeabili e quindi più facilmente penetrabili dagli agenti aggressivi; il calcestruzzo prodotto tra il 1960 e il 1980 non ha la stessa durabilità di quello prodotto nel 1945 in quanto, anche a parità di resistenza meccanica, presenta una percentuale maggiore di acqua ed è, quindi, molto più vulnerabile agli attacchi aggressivi dell'ambiente.

VALORI TIPICI DEL RAPPORTO A/C DAL 1945 AL 1980 (AGGREGATO ALLUVUIONALE CON DIAMETRO MAX DI 25 mm)				
PERIODO	CEMENTO (kg/m ³)	ACQUA (kg/m ³)	A/C	R _{cm} (Mpa)
1945-1950	340	170	0,50	30
1950-1960	300	170	0,57	30
1960-1980	270	170	0,63	30

I progettisti, spiega Collepari, ritenevano che la resistenza meccanica del calcestruzzo fosse l'unico parametro a determinare la buona riuscita dell'opera; in realtà “una determinata resistenza meccanica del calcestruzzo (per esempio 30 MPa) può essere più che sufficiente dal punto di vista statico dell'opera, ma assolutamente inadeguata a garantire la durabilità”¹²⁹. Tuttavia, “anche un calcestruzzo di qualità scadente non si degrada se non esistono le condizioni aggressive dell'ambiente e, d'altra parte, un ambiente aggressivo non

¹²⁸ L'industria del cemento ha migliorato la qualità intrinseca del cemento “aumentando il contenuto di C_3S , il costituente del cemento che più contribuisce alla resistenza meccanica, e la finezza di macinazione” e ciò ha contribuito a sopperire alle carenze derivanti dall'adozione di un maggior rapporto a/c; *ibidem*.

¹²⁹ Per migliorare la durabilità di un'opera i progettisti dovrebbero prescrivere una maggiore resistenza meccanica, che corrisponde ad un rapporto a/c minore, che deve essere valutata in base alle condizioni ambientali in cui ci si trova a progettare, specialmente se si tratta di ambienti aggressivi; *ibidem*.

provoca il degrado di un calcestruzzo adeguatamente durevole”¹³⁰. La componente ambientale ha quindi giocato sempre un ruolo fondamentale nel degrado delle strutture e nella loro perdita di durabilità.

Collepari, nei suoi articoli, mostra un’indagine effettuata su un centinaio di strutture degradate che mette in evidenza la rilevanza della qualità intrinseca del calcestruzzo sulla durabilità delle strutture: “circa i due terzi delle cause di degrado delle strutture debbono essere ascritti ad una non corretta scelta - per la sua confezione o la sua messa in opera - del calcestruzzo impiegato”¹³¹. Ciò, però, non esime il progettista dal prendersi le sue responsabilità; non bisogna dimenticare, infatti, l’importanza che riveste una corretta progettazione sulla qualità delle opere.

Nervi negli anni Cinquanta scrive: “La qualità del conglomerato dipende non solo dal cemento ... ma in misura quasi altrettanto notevole dagli inerti, dal modo di impasto e getto, infine dalle condizioni ambientali di maturazione. Determinare esattamente quali debbano essere le modalità per raggiungere i migliori risultati è estremamente difficile. ... Norme troppo severe per la scelta della ghiaia e sabbie, per i rapporti granulometrici di queste, per la quantità di acqua di impasto, per la maturazione in buone condizioni ambientali, corrono il rischio di perdere, nella realtà, qualsiasi valore perché ghiaia e sabbia non possono che essere quelle che la località offre, né si può ricorrere ad approvvigionamenti molto lontani; le dosature, soprattutto di acqua, sono difficilmente regolabili in modo esatto; le condizioni ambientali di maturazione, nelle mani dei capricciosi fenomeni meteorologici”¹³².

Collepari spiega che è necessario confezionare un calcestruzzo con ‘porosità discontinua’, cioè avente cavità non collegate tra loro, così che sia più impermeabile e di conseguenza ‘durevole’; se un calcestruzzo è poroso, infatti, vi è il rischio che possa entrare dell’acqua, e con essa agenti aggressivi¹³³. Affinché si abbia una ‘porosità discontinua’ è necessaria una perfetta compattazione e costipazione del calcestruzzo fresco che porta alla

¹³⁰ *Ibidem*, p. 709.

¹³¹ Tra le principali cause di degrado delle strutture in calcestruzzo vi sono: cause tecnologiche (calcestruzzo di qualità scadente, attacco chimico del calcestruzzo, corrosione dei ferri dovuta a inadeguato spessore del copriferro e materiali non idonei), cause costruttive (scarso controllo della messa in opera o ignoranza delle tecniche esecutive) e cause strutturali (calcolo strutturale inadeguato o insufficiente per una adeguata prestazione strutturale); *ibidem*.

¹³² P. L. NERVI 1955, pp. 26-27.

¹³³ “Minore è il rapporto acqua/cemento, minore è la distanza tra i granuli di cemento e più densa, cioè meno porosa è la microstruttura derivante dall’intreccio di cristalli fibrosi prodotti per idratazione del cemento”; M. COLLEPARDI 1992, p. 710.

formazione solo di 'pori capillari', all'interno della pasta di cemento, e non di macrocavità tra la pasta e gli inerti.

Si è già detto che la "lavorabilità del calcestruzzo al momento del getto deve essere tanto più elevata, quanto più difficile è l'esecuzione dell'opera"¹³⁴; questa caratteristica indica la capacità dell'impasto di poter essere messo in opera e va prescritta in fase di progettazione. La lavorabilità del calcestruzzo è influenzata dal rapporto a/c. Con l'abbassamento del rapporto a/c si ottiene un calcestruzzo indurito con tante macroporosità per difetto di compattazione, in quanto poco lavorabile; di contro, se si aumenta troppo il rapporto a/c per ottenere un calcestruzzo molto lavorabile, si rischia di avere un calcestruzzo con 'porosità continua', cioè ricco di cavità collegate tra loro, e quindi permeabile.

Anche Nervi scrive che "specialmente per getti di strutture sottili e fortemente armate, conviene orientarsi verso conglomerati plastici ricercando la dosatura migliore in base ai risultati su provini di varia composizione"¹³⁵. "Nei riguardi della quantità di acqua degli impasti, se anche le prove di laboratorio portano ad impasti asciutti, bisogna considerare che più l'impasto è asciutto, più le probabilità di incompleti riempimenti tra i ferri aumentano"¹³⁶.

Collepardi spiega che, nel caso di strutture dal contorno geometrico complicato, di ridotto spessore e fortemente armate, è sempre stato difficile mettere in opera calcestruzzi di consistenza plastica, a meno di non disporre di sistemi di compattazione molto efficaci, come quelli degli impianti di prefabbricazione. Lo stesso tipo di struttura realizzata in cantiere, con sistemi di compattazione meno efficaci, richiede un calcestruzzo a consistenza fluida o superfluida. Per semplificare al massimo la posa in opera, spesso al calcestruzzo viene aggiunta "una quantità indiscriminata di acqua con buona pace della durabilità per l'aumento imprecisato del rapporto a/c "¹³⁷. Il compito del progettista è quello di prescrivere, oltre alle prestazioni, una lavorabilità sufficientemente elevata del calcestruzzo così da non rendere necessaria, da parte del personale di cantiere, qualsiasi aggiunta di acqua. Per migliorare la lavorabilità del calcestruzzo occorre, quindi, aumentare sia l'acqua che il cemento, così da mantenere costante il rapporto a/c.

¹³⁴ *Ibidem*, p. 712.

¹³⁵ P. L. NERVI 1955, p. 30.

¹³⁶ *Ibidem*.

¹³⁷ M. COLLEPARDI 1993, p. 366.

Tuttavia, i progressi ottenuti sulla tecnologia del calcestruzzo hanno portato, negli anni, ad avere calcestruzzi superfluidi e non segregabili grazie all'aggiunta di additivi fluidificanti che “consentono di realizzare getti della massima affidabilità anche in condizioni particolarmente difficili per il tipo di struttura e per la qualità della manodopera”¹³⁸. Si cita il ponte sul Tevere a Roma (1969-1972) di Zorzi e Moretti che, negli anni Settanta, ha permesso alla linea metropolitana l'attraversamento del fiume. In quest'opera viene utilizzato un additivo che fluidifica il calcestruzzo e ne ritarda la presa, il Pozzolite, che serve a “migliorare la lavorabilità durante il getto in continuo”¹³⁹.

Tra le principali cause di degrado del calcestruzzo la più frequente è quella chimica, dovuta all'attacco da parte dell'anidride carbonica¹⁴⁰. Tale aggressione comporta due diversi fenomeni collegati tra loro: la carbonatazione del calcestruzzo e la corrosione dei ferri. Il fenomeno della carbonatazione non deteriora il calcestruzzo ma espone i ferri di armatura all'azione corrosiva causata dalla presenza di ossigeno e di umidità; tale fenomeno è legato all'impiego di un calcestruzzo poroso e permeabile. La scarsa durabilità del calcestruzzo armato è riconducibile, per la maggior parte di casi, agli agenti atmosferici; l'ambiente aggressivo delle città innesca il fenomeno della carbonatazione “portato dalle crescenti quantità di anidride carbonica presenti nell'aria che, riducendo il valore alcalino del calcestruzzo, indeboliscono la superficie del copriferro”¹⁴¹. La corrosione dei ferri avviene “più facilmente nelle strutture in calcestruzzo armato dove il copriferro non protegge adeguatamente i ferri dalla penetrazione dell'aria umida”¹⁴². Tale corrosione è costituita da due fenomeni: quello più pericoloso riguarda la riduzione della sezione di ferro, l'altro comporta il distacco del copriferro a causa della trasformazione del metallo in ossido di ferro. L'espulsione del copriferro provoca la completa esposizione dei ferri all'azione aggressiva, che viene accelerata. “L'effetto è particolarmente pericoloso nei calcestruzzi armati precompressi dove l'azione corrosiva diviene più incisiva per effetto degli alti tassi di lavoro cui sono sottoposte le armature (*stress corrosion*)”¹⁴³. Per evitare la penetrazione di agenti che alimentano la corrosione dei ferri (ossigeno, anidride carbonica e acqua) è

¹³⁸ M. COLLEPARDI 1992, p. 712.

¹³⁹ In questo ponte il cemento armato a vista è costituito da una miscela che rende la superficie ruvida ma pregiata; è l'Italbiano, il cemento bianco che Zorzi usa in altre sue opere, a qualificare la matericità dell'impasto; T. IORI 2005-2006, p. 23.

¹⁴⁰ M. COLLEPARDI 1992, p. 718-721.

¹⁴¹ C. ACCETTA 2004-2005, p. 97.

¹⁴² M. COLLEPARDI 1992, p. 720.

¹⁴³ *Ibidem*.

necessario che il copriferro sia poco poroso, di adeguato spessore e privo di fessure. “Non è facile determinare analiticamente la velocità di progressione del fronte di carbonatazione perché dipende da molte variabili, legate alla qualità dell'impasto e alla correttezza delle modalità di esecuzione. È accertato che questa diminuisce esponenzialmente con il passare degli anni, ma comunque non si arresta”¹⁴⁴.

Le cause di degrado fisiche¹⁴⁵, invece, sono legate a fenomeni come la variazione della temperatura e l'evaporazione dell'acqua. Nel caso di opere infrastrutturali di grandi dimensioni le variazioni termiche, dovute ai cicli gelo-disgelo, sono molto frequenti a causa del cospicuo uso in inverno di sali disgelanti. Quando l'acqua congela, e il calcestruzzo è saturo di umidità, il suo volume aumenta di circa il 9% e ciò provoca una pressione interna capace di distruggere il calcestruzzo, soprattutto se il fenomeno si ripete ciclicamente. “L'azione alternata dei cicli di gelo e disgelo può provocare danni molto gravi nelle strutture ... situate in climi molto rigidi. Il fenomeno degradante si manifesta sotto forma di fessurazioni, sfaldamenti e distacchi superficiali”¹⁴⁶. Con l'abbassamento del rapporto a/c si riduce la quantità di acqua introdotta nell'impasto, che si potrebbe trasformare in ghiaccio, e si creano le condizioni favorevoli per ottenere un calcestruzzo ben stagionato, poco poroso e poco permeabile all'acqua. Il valore del rapporto a/c varia anche a seconda dello spessore del copriferro; “da 0,60 (per strutture non armate) a 0,45 per strutture sottili con copriferri molto ridotti (<25 mm)”¹⁴⁷. Il maggior dosaggio di cemento che viene richiesto per abbassare tale rapporto rappresenta un costo extra che risulta, però, trascurabile in rapporto all'aggravio dei costi che comportano manutenzione e restauro di una struttura degradata.

¹⁴⁴ T. IORI 2010, p. 5.

¹⁴⁵ L. COPPOLA 1993, pp. 199-209.

¹⁴⁶ Occorre ricordare che il calcestruzzo è composto da elementi, pasta di cemento e aggregati, che presentano coefficienti di dilatazione termica diversi; *ibidem*, p. 199.

¹⁴⁷ *Ibidem*, p. 201.

4.2.3 CALCESTRUZZO DUREVOLE SECONDO LE NORME NAZIONALI ED EUROPEE E LA DURABILITÀ DELLE GRANDI STRUTTURE IN C.A. DEL SECONDO NOVECENTO

Nonostante il problema fosse noto già da diverso tempo, la questione della durabilità delle strutture in cemento armato e cemento armato precompresso inizia ad essere presa in considerazione dalla normativa italiana solo a partire dagli anni Ottanta del Novecento: “il concetto di durabilità e della necessità di costruire opere durabili si è sviluppato solo in anni relativamente recenti e la parola durabilità non appare nelle Norme Tecniche prima del 1980; per questo numerose opere realizzate in precedenza hanno manifestato vistosi fenomeni di degrado”¹⁴⁸.

Dalla metà degli anni Ottanta, dapprima in sede UNI e successivamente ad opera del CEN, si sviluppa un’attività normativa sul tema della durabilità; oggi il progettista è obbligato sia a dichiarare la vita utile di progetto della struttura che a garantire la ‘durata’ del manufatto nel tempo, adottando sin dalla fase iniziale di progettazione opportune strategie basate sull’attuazione di accorgimenti tecnologici atti ad ottenere caratteristiche di auto-protezione delle strutture¹⁴⁹.

Fino all’inizio degli anni Settanta la normativa a cui hanno fatto riferimento tutti i progettisti di strutture in c.a. e c.a.p. è stata il R.D. n. 2228¹⁵⁰ e n. 2229¹⁵¹ del 16 novembre 1939. Fin da allora si sottolinea l’importanza di rispettare, durante l’esecuzione dell’opera, tutte le indicazioni date dal progettista¹⁵². Nella descrizione del mix-design del calcestruzzo, si parla di utilizzo di aggregati non gelivi¹⁵³ e di dosaggio di cemento, per costruzioni armate, non inferiore a 300 kg per mc¹⁵⁴; inoltre “la quantità d’acqua d’impasto è determinata in base alla plasticità occorrente per la buona lavorazione dei getti. È necessario che la dosatura di cemento venga aumentata col crescere della fluidità dell’impasto. La determinazione preliminare della dosatura può eseguirsi mantenendo costante il rapporto acqua-cemento”¹⁵⁵.

¹⁴⁸ V. ALUNNO ROSSETTI 2007, p. 235.

¹⁴⁹ *Ibidem*.

¹⁵⁰ R.D. n. 2228 16 novembre 1939, *Norme per l'accettazione dei leganti idraulici*.

¹⁵¹ R.D. n. 2229 16 novembre 1939, *Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*.

¹⁵² Il testo recita che “l’esecuzione delle opere deve essere diretta possibilmente dall’ingegnere progettista ed in ogni caso da un ingegnere od architetto iscritto nell’albo”; *ibidem*, art. 3.

¹⁵³ *Ibidem*, art. 7.

¹⁵⁴ *Ibidem*, art. 9.

¹⁵⁵ *Ibidem*, art. 11.

Successivamente il riferimento normativo per le costruzioni in c.a. e c.a.p. diventa la L. n. 1086 del 5 novembre 1971¹⁵⁶ e il D.M. del 30 maggio 1972¹⁵⁷; in quest'ultimo decreto viene aggiunto il valore minimo di copriferro necessario a garantire la protezione dell'armatura¹⁵⁸.

In tutte le norme fin qui esposte non si parla mai di durabilità; il termine viene citato, per la prima volta, nel D.M. del 26 marzo 1980¹⁵⁹, il quale afferma che “al fine di garantire la durabilità del conglomerato in ambiente aggressivo è necessario prescrivere, in funzione della granulometria o del rapporto acqua - cemento, un dosaggio minimo di cemento”¹⁶⁰.

Nel D.M. del 27 luglio 1985¹⁶¹, invece, vi è un paragrafo dedicato al concetto di durabilità: “al fine di garantire la durabilità del conglomerato particolarmente in ambiente aggressivo, così come in presenza di cicli di gelo e disgelo, è necessario studiarne adeguatamente la composizione”¹⁶².

Nei successivi D.M. del 14 febbraio 1992¹⁶³ e D.M. del 9 gennaio 1996¹⁶⁴ vengono riportate esattamente le stesse parole del D.M. del 27 luglio 1985; in tutti i decreti precedenti a quello del 1996, però, la garanzia della durabilità è lasciata a discrezione del singolo progettista. È solo con l'entrata in vigore del D.M. del 9 gennaio 1996 che si dà al

¹⁵⁶ L. n. 1086 5 novembre 1971, *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*.

¹⁵⁷ D.M. 30 maggio 1972, *Norme tecniche alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica*.

¹⁵⁸ “Qualsiasi faccia metallica deve distare dalle facce esterne del conglomerato (copriferro) di almeno 0,8 cm nel caso di solette e di almeno 2 cm nel caso di pilastri, travi e nervature. Tali misure devono essere aumentate, e al massimo, raddoppiate, in presenza di salsedine marina, di emanazioni nocive od in ambiente comunque aggressivo”; *ibidem*, capitolo 4, *Esecuzione*, paragrafo 4.5, *Copriferro ed interferro*.

¹⁵⁹ D.M. 26 marzo 1980, *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche*.

¹⁶⁰ *Ibidem*, paragrafo 2.1.8. Nel successivo D.M. del 2 agosto 1980, parlando di impalcato delle strutture portanti in cemento armato, c'è scritto che “gli spessori minimi degli elementi dell'impalcato devono essere fissati in base alle prescrizioni delle norme vigenti per i singoli tipi strutturali, tenendo conto dell'influenza dei fattori ambientali sulla durabilità dell'opera”; D.M. 2 agosto 1980, *Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali*, paragrafo 5.1.1

¹⁶¹ D.M. 27 luglio 1985, *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*.

¹⁶² *Ibidem*, paragrafo 2.1.8.

¹⁶³ D.M. 14 febbraio 1992, *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*.

¹⁶⁴ D.M. 9 gennaio 1996, *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*.

progettista un riferimento normativo; è allora, infatti, che viene detto che “si potrà anche fare riferimento alla norma UNI 9858 (Maggio 1991)”¹⁶⁵.

Il riferimento alle norme UNI viene confermato dal decreto vigente, il D.M. del 14 gennaio 2008¹⁶⁶; nel capitolo *Sicurezza e prestazioni attese*, tra i principi fondamentali, la durabilità viene definita come la “conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell’opera”¹⁶⁷. Si aggiunge, inoltre, che la durabilità “deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione”¹⁶⁸. Nel capitolo 11.2, dedicato alle strutture in calcestruzzo, vi è un paragrafo dedicato al concetto di durabilità che dice che “per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all’azione dell’ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall’attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo”¹⁶⁹.

Nella normativa del 2008 viene introdotto il concetto di ‘vita nominale’ di un’opera “intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è stata destinata”¹⁷⁰. Nel caso di opere ordinarie, ponti e opere infrastrutturali di dimensioni contenute o di importanza normale la vita nominale non deve essere inferiore a 50 anni; nel caso di grandi opere, ponti e opere infrastrutturali di grandi dimensioni o di importanza strategica la vita nominale non deve essere inferiore a 100 anni.

Il fatto, però, di stabilire con chiarezza l’aspettativa di ‘durata’ media di opere in c.a. rende abbastanza “stringente il contrasto tra un approccio basato sull’idea di durata della fabbrica che travalica il tempo storico (il restauro “dell’antico” ha a che fare con edifici che spesso hanno alle spalle una storia plurisecolare) e l’“aspettativa di vita” di una struttura in

¹⁶⁵ *Ibidem*, paragrafo 2.1.8. In questo decreto le indicazioni del copriferro minimo variano in base alla relativa classe di esposizione; *ibidem*, paragrafo 4.1.3.3, *Copriferro*.

¹⁶⁶ D.M. 14 gennaio 2008, *Norme tecniche per le costruzioni*. Nell’oggetto si riporta che “le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità”; *ibidem*, paragrafo 1.

¹⁶⁷ *Ibidem*, capitolo 2, *Sicurezza e prestazioni attese*, paragrafo 2.1, *Principi fondamentali*.

¹⁶⁸ *Ibidem*.

¹⁶⁹ *Ibidem*, capitolo 11, *Calcestruzzo*, paragrafo 11.2.11, *Durabilità*.

¹⁷⁰ D.M. 14 gennaio 2008, *Norme tecniche per le costruzioni*, capitolo 2, *Sicurezza e prestazioni attese*, paragrafo 2.4.1.

calcestruzzo armato limitata al tempo dell'uomo"¹⁷¹. Non bisogna dimenticare, però, che la vita 'effettiva' di una struttura è maggiore di quella 'nominale' dato che vi è sempre la possibilità di effettuare sull'opera interventi di manutenzione straordinaria.

Per ottenere un calcestruzzo di buona qualità è necessario rispettare una serie di regole che negli anni Novanta, come si è visto, sono state codificate nelle norme nazionali, UNI 9858¹⁷², ed europee, ENV 206¹⁷³. "L'esperienza accumulata in oltre un secolo di costruzioni e di ricerca applicata ha dimostrato che il calcestruzzo è un materiale durevole solo se ci si attiene alle seguenti regole operative"¹⁷⁴: la progettazione dell'opera deve tener conto non solo delle caratteristiche meccaniche ma anche delle interazioni con l'ambiente esterno, che costituisce la classe di esposizione ambientale; la produzione del materiale deve essere sottoposta ad un controllo di qualità; l'esecuzione dell'opera deve essere fatta in conformità a regole precise inerenti la messa in opera, la compattazione, la realizzazione del copriferro, la stagionatura e così via.

Pertanto, solo con il D.M. del 9 gennaio 1996 si iniziano ad avere dei veri e propri riferimenti normativi sulla questione della durabilità. Molte grandi opere realizzate durante tutto il Novecento sono state costruite, quindi, senza tali norme; tutto era in mano alla sensibilità del progettista.

Negli anni Ottanta Zorzi, criticando il consumismo che stava intaccando la progettazione di opere infrastrutturali, afferma che, in un periodo di rallentamento dello sviluppo, si è costruito molto e spesso male; le opere, invece, "devono risultare durature come facenti parte dello stesso contesto naturale; possibilmente senza congegni meccanici artificiosi, necessitanti costante manutenzione; più ci si affida a questi, più si deve paventare l'incuria e il guasto del tempo; meglio valersi, il più possibile, di schemi strutturali autonomi, che sfruttino le intrinseche caratteristiche elasto-plastiche dei materiali componenti"¹⁷⁵.

In quegli anni i concetti di durabilità e manutenzione entrano a far parte anche del patrimonio culturale-tecnico delle pubbliche amministrazioni; nel 1988 un documento dell'Anas sulla *Durabilità delle opere stradali* analizza tale problema alla luce di alcune cause concomitanti: "la realizzazione di opere sempre più snelle con una sistematica ed esasperata

¹⁷¹ M. BORIANI, F. B. CAVALLERI, M. GIAMBRUNO 2008, p. 95.

¹⁷² UNI 9858, *Calcestruzzo, prestazioni, produzione, posa in opera e criteri di conformità*.

¹⁷³ ENV 206, *Concrete, performance, production, placing and compliance criteria*.

¹⁷⁴ M. COLLEPARDI 1992, p. 707.

¹⁷⁵ S. ZORZI 1981, p. 46.

ricerca di leggerezza strutturale; lo studio sempre poco accurato dei particolari costruttivi e dei dettagli esecutivi, conseguenza, tra l'altro, della separazione post-ottocentesca fra i ruoli del progettista e del direttore dei lavori; l'uso sempre più diffuso di tecniche di prefabbricazione non sempre accompagnato da un impiego di materiali e di collegamenti affidabili, nonché da controlli accurati anche in fase di collaudo”¹⁷⁶.

Diverse opere del secondo Novecento, infatti, nonostante il progresso dell'analisi strutturale, hanno manifestato problemi di durabilità già a pochi anni dalla loro realizzazione. Si pensi, ad esempio, alla grande opera infrastrutturale degli anni Cinquanta e Sessanta, l'Autostrada del Sole, che ha coinvolto i più grandi progettisti del Novecento del cemento armato e del cemento armato precompresso.

Si cita il caso del viadotto sul Polcevera a Genova (1967) di Morandi che è stato oggetto di diversi interventi di consolidamento a pochi anni dalla sua realizzazione; il degrado si è manifestato in modo precoce a causa dell'aggressività dell'ambiente atmosferico circostante, aggressività notata dallo stesso Morandi già in fase di costruzione dell'opera e dovuta alla presenza di aerosol marino e di inquinanti gassosi industriali¹⁷⁷. Gravi danni si sono riscontrati successivamente sugli stralli di uno dei tre sistemi bilanciati, che costituiscono la parte “più eccezionale e innovativa”¹⁷⁸ dell'opera. Morandi, in tale viadotto, sperimenta una particolare soluzione: i cavi di acciaio che sostengono l'impalcato sono ricoperti da una guaina in calcestruzzo che rende la struttura un organismo omogeneo (fig. 1). Morandi, di questa soluzione, elogia soprattutto i “pregi delle guaine precomprese che, in assenza di fessurazioni, proteggono l'acciaio dei cavi da lesioni e attacchi atmosferici; esse inoltre attenuano l'oscillazione dei cavi, riducono il fenomeno di fatica dell'acciaio e limitano la libertà di movimento della trave in corrispondenza dell'attacco con il tirante”¹⁷⁹. Alla fine, però, i vantaggi attribuiti al tirante in calcestruzzo non hanno soddisfatto le aspettative progettuali tanto che in pochi anni sono stati necessari diversi interventi di manutenzione. Negli anni Novanta avviene il distacco di alcune parti di calcestruzzo e ciò lascia scoperti i cavi della pila 11, la più vicina al centro di Genova, che sono arrivati a snervamento e che si sono in parte spezzati e corrosi. In fase diagnostica viene evidenziata la preoccupante situazione dovuta al grave stato di ossidazione dei cavi

¹⁷⁶ E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 15.

¹⁷⁷ G. FRANCO 2001, p. 8.

¹⁷⁸ M. MARANDOLA 2005-2006, p. 27.

¹⁷⁹ *Ibidem*, p. 29.

interni di precompressione¹⁸⁰. Il consolidamento è stato eseguito, nel 1993, dall'ingegnere Pisani, il quale aveva collaborato con Morandi in fase di realizzazione del viadotto; l'intervento è consistito nella sostituzione dei cavi in acciaio interni al tirante con altri posti all'esterno della sezione in calcestruzzo, inseriti in apposite guaine di polietilene e lasciati in vista per facilitarne la manutenzione. Sono state poste, inoltre, lungo lo strallo, cravatte metalliche porta cavi con funzione di supporto delle nuove guaine esterne in polietilene; l'aggiunta del sistema di cavi corti, nella parte terminale, ha permesso così "di trasferire il tiro dai cavi vecchi a quelli nuovi. ... I nuovi cavi, affiancati ai vecchi tiranti, ricevono una forza di precompressione che garantisce alla guaina in calcestruzzo le tensioni di precompressione originarie"¹⁸¹ (fig. 2). La particolare concezione strutturale ideata da Morandi ha portato, purtroppo, a tale esito; "gli stralli infatti, elementi generalmente tesi, sono in questo caso soggetti a compressione, come anche la guaina di rivestimento, in calcestruzzo, che ha funzione collaborante"¹⁸². La sua soluzione, inoltre, non ha permesso di effettuare alcuna operazione manutentiva sui trefoli, che in molti casi avevano già raggiunto lo snervamento¹⁸³. In questo caso, le scelte progettuali di Morandi hanno reso l'opera estremamente poco 'durevole' tanto che a distanza di solo vent'anni dalla realizzazione è stato effettuato un grosso intervento di consolidamento che ne ha modificato l'aspetto originario. "La soluzione adottata, sebbene mantenga lo schema statico a catenaria e la concezione strutturale originaria"¹⁸⁴ degli stralli con guaina compressa collaborante, "modifica l'immagine del viadotto, aggiungendo un elemento estraneo all'unitarietà materica"¹⁸⁵ dell'opera (fig. 3).

Vi sono, invece, altri esempi di opere realizzate dai grandi maestri dell'ingegneria strutturale del secondo Novecento che presentano i classici fenomeni di alterazione e degrado del calcestruzzo armato. Si cita il salone di "Torino Esposizioni" (1947-1950) di Nervi (fig. 4) per il quale, in occasione del restauro, sono stati fatti una serie di accertamenti strutturali ed ispezioni sul calcestruzzo. Le analisi F.E.M. della volta hanno dimostrato la

¹⁸⁰ Vi erano trefoli, tranciati o fortemente ossidati, in avanzato stato di riduzione della sezione; altri trefoli apparivano rilasciati facendo presupporre una loro prossima rottura; G. FRANCO 2001, p. 8.

¹⁸¹ *Ibidem*.

¹⁸² *Ibidem*.

¹⁸³ "Utilizzare il calcestruzzo armato, un materiale con scarsa resistenza a trazione, sottoposto a precompressione per poter reggere la trazione a cui è soggetto un tirante, rientra nell'appassionata determinazione di Morandi di dimostrare la superiorità prestazionale del calcestruzzo armato su ogni altro materiale"; M. MARANDOLA 2005-2006, p. 29.

¹⁸⁴ G. FRANCO 2001, p. 8.

¹⁸⁵ *Ibidem*.

correttezza del progetto originale e, riguardo la ‘durata’, si sono riscontrati i “consueti, limitati, degradi dovuti alla carbonatazione e corrosione nelle parti tradizionali del calcestruzzo armato all’esterno della struttura”¹⁸⁶; l’ispezione della volta ha mostrato, invece, “un’altissima qualità di conservazione degli elementi in ferrocemento del tetto, situazione attestata dai test che hanno confermato l’assenza di carbonatazione”¹⁸⁷.

Il palavela di Torino (1961) di Levi è costituito da un guscio in c.a., elemento caratterizzante dell’edificio. La volta, una soletta sottile di 6 cm di spessore, consiste di tre grandi sezioni ad arco ancorati a terra su tre punti che nell’insieme compongono un guscio di forma esagonale. Nel 1986 è stata eseguita una ricognizione delle strutture tramite ispezione visiva delle armature precomprese nonché vari esami non distruttivi; le perizie hanno dimostrato che “la costruzione era stata ben progettata, correttamente edificata, ben conservata e in perfetta efficienza”¹⁸⁸ (fig. 5).

Diversa la situazione del palazzo del Lavoro a Torino (1961) di Nervi che è stato per oltre cinquant’anni abbandonato e lasciato al degrado tra usi inappropriati, aggiunte interne e assenza di manutenzione che hanno danneggiato gravemente l’aspetto e la durabilità dei componenti strutturali e architettonici (fig. 6). Considerando le sole parti in calcestruzzo, tutti gli elementi “esposti agli agenti esterni hanno subito profonde alterazioni dovute alla carbonatazione e alla corrosione, e le delicate superfici in calcestruzzo a vista dei pilastri interni, sebbene ancora in buone condizioni per quanto concerne la qualità del calcestruzzo, presentano colature di ruggine provocate dall’acqua piovana infiltratasi nelle strutture d’acciaio del tetto”¹⁸⁹.

¹⁸⁶ C. CHIORINO 2008, p. 145.

¹⁸⁷ *Ibidem*.

¹⁸⁸ *Ibidem*, p. 146.

¹⁸⁹ *Ibidem*, pp. 149-150.

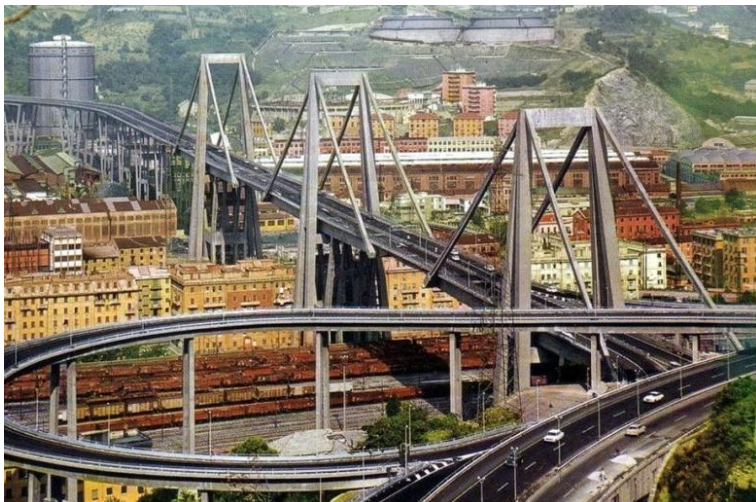


fig. 1 - R. Morandi, viadotto sul Polcevera prima dell'intervento, Genova (<http://www.retrofutur.org>, giugno/2015)



fig. 2 - R. Morandi, viadotto sul Polcevera oggi, Genova (<http://www.retrofutur.org>, giugno/2015)



fig. 3 - R. Morandi, viadotto sul Polcevera oggi, Genova (<https://it.wikipedia.org>, giugno/2015)

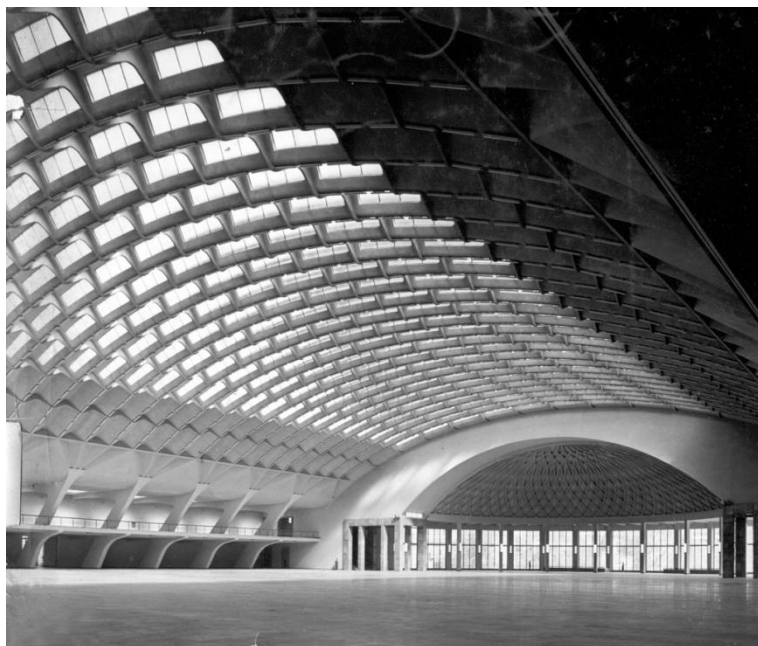


fig. 4 - P. L. Nervi, salone di
“Torino Esposizioni”, Torino
([https://ripullulailfrangente.w
ordpress.com, luglio/2015](https://ripullulailfrangente.wordpress.com, luglio/2015))



fig. 5 - F. Levi, palavela dopo
l'intervento di recupero, To-
rino ([http://www.italia61.it,
giugno/2015](http://www.italia61.it, giugno/2015))

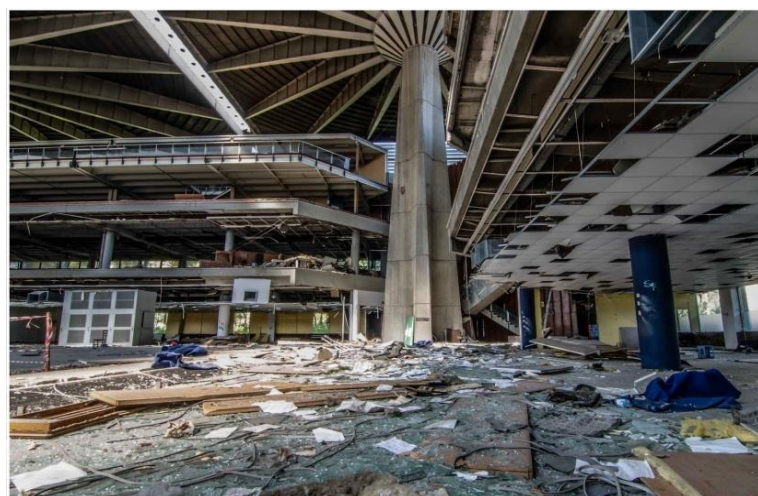


fig. 6 - P. L. Nervi, palazzo del
Lavoro oggi, Torino
([http://abbandonografando.bl
ogspot.it, giugno/2015](http://abbandonografando.blogspot.it, giugno/2015))

4.3 LA DURABILITÀ DELLE OPERE DI SERGIO MUSMECI: DEGRADO, INTERVENTI DI RESTAURO E MANUTENZIONE E PROBLEMATICHE CONSERVATIVE

“La durabilità di una struttura in calcestruzzo, o in calcestruzzo armato, o in calcestruzzo precompresso, è la capacità di durare nel tempo garantendo il servizio per il quale la struttura stessa è stata progettata”

M. Collepari¹⁹⁰

Il concetto di durabilità non è limitato ai soli materiali ma può essere esteso fino a considerare l'intera struttura. La durabilità è, infatti, la capacità di un'opera di durare nel tempo; secondo Enzo Siviero è l'attitudine di una struttura *“a conservare la sua destinazione funzionale originaria in condizioni normali di esercizio e manutenzione, durante l'intero periodo di vita attesa nel progetto”*¹⁹¹.

Si cita ancora una volta Nervi: “Purtroppo si deve ammettere che la progettazione ed esecuzione di un'opera in cemento armato di notevoli dimensioni, esposta alle variazioni termiche diurne e strutturalmente complessa, capace di rimanere perfettamente integra tanto nei primi mesi di vita come dopo 3 o 4 anni, e tale da non subire in alcuna parte sensibili deformazioni permanenti, che conservi insomma la freschezza dei primi giorni, è una cosa molto e molto difficile. ... Per le costruzioni di oggi, eseguite molto rapidamente ... quasi sempre spinte al massimo sfruttamento dei materiali, le cause di intrinseca debolezza sono talmente più numerose e più gravi, da far ritenere che la loro durata media sarà, certamente, non molto lunga”¹⁹².

Per progettare un'opera ‘durevole’ è necessario che aspetti teorico-progettuali e fasi esecutive si condizionino reciprocamente. “La teoria implica sia la necessità di un corretto calcolo strutturale, sia di un puntuale controllo, tramite disegno tecnico, del particolare costruttivo, di tutti gli elementi costituenti la struttura stessa. La prassi implica una valutazione delle modalità di svolgimento delle fasi esecutive come elemento che condiziona, determina e modifica la stessa fase di ideazione”¹⁹³.

Se un progettista opera correttamente nella definizione dello schema statico, nella progettazione dei particolari costruttivi “capaci di svolgere adeguatamente le funzioni

¹⁹⁰ M. COLLEPARDI 1992, p. 709.

¹⁹¹ E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 16.

¹⁹² P. L. NERVI 1945, pp. 81 sgg.

¹⁹³ E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 158.

protettive necessarie”¹⁹⁴, come scossaline e gocciolatoi, nella scelta dei materiali da impiegare, nel dosaggio degli elementi costituenti l’impasto e nella messa in opera del materiale, “il calcestruzzo è in grado di proteggere le armature, nella maggioranza delle condizioni ambientali”¹⁹⁵; se a ciò si aggiunge anche una costante manutenzione, una struttura in calcestruzzo armato è in grado di risultare ‘durevole’ nel tempo.

Purtroppo, proprio nell’architettura moderna e contemporanea, non sempre c’è questa cura dei dettagli costruttivi, come scossaline e gocciolatoi, che risultano spesso molto contenuti, in termini formali e dimensionali¹⁹⁶.

In questa terza parte, con riferimento ai casi di studio esaminati nel terzo capitolo, si analizza lo stato di alterazione e degrado delle opere di Musmeci nonché gli interventi di restauro e manutenzione che hanno interessato tali strutture nel corso del tempo. L’intento è quello di riflettere sulla durabilità di alcune strutture di Musmeci, approfondendo lo stato di conservazione delle opere grazie alla raccolta di informazioni e fotografie riguardanti gli interventi di manutenzione effettuati sulle stesse e grazie ad alcuni sopralluoghi. L’analisi delle opere di Musmeci è volta a comprendere se tali strutture si sono conservate fino ad oggi grazie alle scelte fatte dal progettista o anche grazie agli interventi di manutenzione effettuati negli anni.

La maggior parte delle opere di Musmeci si basa sulla teoria della membrana: struttura bidimensionale, a semplice o doppia curvatura, capace di equilibrare i carichi solo per mezzo di azioni contenute in ogni punto nel piano tangente, data la completa incapacità di fornire momenti e forze taglianti. Tra le problematiche generali legate a tali sistemi, vi è quella legata alle condizioni al contorno, cioè ai tipi di vincoli, che influenzano il comportamento a membrana e lo alterano causando ‘disturbi’ che generano sollecitazioni di momento flettente; in tal modo, viene compromessa la principale qualità delle membrane e cioè di essere caratterizzate esclusivamente da sforzi assiali. Vi è anche la problematica legata alla perdita di forma che provoca il collasso della struttura; l’efficienza di questo tipo di elementi risiede proprio nel fatto di garantire quella determinata conformazione.

“Una corretta concezione strutturale sviluppata mediante visualizzazione dei flussi di forze è sicuramente la condizione fondativa per una globale definizione dell’opera”¹⁹⁷.

¹⁹⁴ “Spesso non si presta l’adeguata attenzione alla progettazione di particolari costruttivi capaci di svolgere adeguatamente le funzioni protettive necessarie ... o non si considera la maggiore vulnerabilità delle strutture di sezioni sempre più ridotte”; A. FARESIN 2012, p. 313.

¹⁹⁵ M. CARSANA, P. PEDEFERRI, E. REDAELLI 2008, p. 124.

¹⁹⁶ A. AVETA 2008, p. 29.

Per la lettura dei segni del degrado delle opere oggetto di studio è stato preso come riferimento il testo di Di Biase¹⁹⁸ che analizza le patologie del calcestruzzo armato in diverse opere del secondo Novecento¹⁹⁹. Non c'è ancora in lingua italiana un glossario specifico per i segni di degrado e alterazione del calcestruzzo; si fa quindi riferimento al lessico UNI 11182:2006²⁰⁰ (Beni Culturali-Normal) relativo, però, ai materiali lapidei naturali e artificiali dell'edilizia tradizionale. I glossari in lingua inglese, invece, sono costituiti da due documenti che si riferiscono direttamente al conglomerato cementizio: *Guide for making a condition survey of concrete in service*²⁰¹ dell'American Concrete Institute (1992, riapprovato nel 1997) e *Diagnosis of deterioration in concrete structures*²⁰² della Concrete Society (2000) ripubblicati nel 2008 nel *Concrete Repair Manual*.

Sulla base dei testi sopraccitati sono state redatte una serie di schede per l'analisi del degrado dei casi-studio in cui si individua la patologia, attraverso il glossario italiano e inglese, e si descrivono i fenomeni di degrado con le probabili cause.

Dalla norma UNI 11182:2006 (Beni Culturali-Normal) si evincono una serie di patologie che, anche se si riferiscono ai materiali lapidei, possono essere associate al conglomerato cementizio. Per i fenomeni di degrado che, invece, si riferiscono alle strutture in calcestruzzo normale o armato, il riferimento è la *Guide for making a condition survey of concrete in service* dell'American Concrete Institute (1992-1997) e il *Diagnosis of deterioration in concrete structures* della Concrete Society (2000)²⁰³.

In nessuno dei casi di studio di seguito analizzati si è riusciti ad ottenere informazioni sulla qualità del calcestruzzo utilizzato nelle opere di Musmeci; pertanto l'analisi si basa su una valutazione visiva documentando, mediante schedatura fotografica, lo stato di degrado dei casi-studio.

¹⁹⁷ E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 161.

¹⁹⁸ *Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento* 2009.

¹⁹⁹ C. DI BIASE, F. ALBANI 2009b.

²⁰⁰ UNI 11182:2006, *Beni culturali, Materiali lapidei naturali ed artificiali, Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*, 2006.

²⁰¹ ACI 201.1R-92, *Guide for making a condition survey of concrete in service*, American Concrete Institute, 1992 (riapprovato nel 1997).

²⁰² CS TR n. 54, *Diagnosis of deterioration in concrete structures*, Concrete Society Technical Report, 2000.

²⁰³ Il glossario relativo alle patologie del calcestruzzo armato si trova negli "Apparati".

4.3.1 LA CHIESA DI S. ALBERTO A SARTEANO

La chiesa di S. Alberto a Sarteano (1969-1972), realizzata negli anni Settanta, a venticinque anni dalla sua realizzazione è stata oggetto di un intervento di restauro. Ad occuparsi dei lavori, nel 1996, è stato l'architetto Fabrizio Bardelli, un architetto del posto (fig. 7-9). Quest'ultimo descrive l'opera di Musmeci come una struttura veramente affascinante e afferma che “l'unica pecca era data dal fatto che la copertura a vela, in getto su cavi, tesi in opera, non era coibentata, né protetta con una adeguata impermeabilizzazione”²⁰⁴. Per questi motivi è stata da lui progettata e realizzata una struttura ventilata in rame soprastante, leggera e funzionale (fig. 10-11).

L'architetto ha risposto ad alcune mie domande sullo stato di conservazione della chiesa prima del suo intervento e sui lavori da lui eseguiti; ha fornito, inoltre, del materiale fotografico a supporto di questo breve colloquio²⁰⁵. L'architetto ha raccontato in che situazione si trovava l'edificio prima del suo intervento; egli ha parlato di copiose infiltrazioni di acqua piovana, di sistema di smaltimento delle acque meteoriche compromesso, di armature scoperte e fortemente ossidate in diversi punti e di copriferro decisamente insufficiente, sulla base però della normativa attuale. La chiesa, inoltre, presentava problemi di coibentazione e l'ambiente interno era ‘invivibile’, con condizioni ‘proibitive’, in quanto presentava temperature molto basse in inverno e molto alte in estate. Pertanto “aver protetto la copertura ha potuto migliorare notevolmente il comfort ambientale e salvaguardare la struttura così delicata”²⁰⁶; è noto, infatti, che queste strutture sottili in c.a. a doppia curvatura sono particolarmente sensibili alle variazioni termiche.

L'intervento più importante è consistito nel rifacimento dello strato di protezione della copertura, di 530 mq di superficie, necessario per i problemi di infiltrazione dell'acqua e di coibentazione sopracitati. La copertura, spiega l'architetto Bardelli, non era stata protetta adeguatamente poiché era “presente un solo strato di guaina, più simile alla carta catramata che ad una guaina bituminosa”²⁰⁷. L'intervento di realizzazione di una copertura ventilata in rame, afferma l'architetto, “ha dato ottimi risultati sino ad oggi e non [sembra aver] alterato la struttura esistente”²⁰⁸ (fig. 12-14).

²⁰⁴ F. GIOVANNARDI 2010, p. 32; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

²⁰⁵ Il colloquio con l'architetto Fabrizio Bardelli è consistito in uno scambio di e-mail.

²⁰⁶ Colloquio con l'architetto Fabrizio Bardelli.

²⁰⁷ *Ibidem*.

²⁰⁸ F. GIOVANNARDI 2010, p. 32; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

Come già esposto in precedenza, nel paragrafo dedicato alla qualità del calcestruzzo armato, la fase di realizzazione, e quindi di cantiere, è una fase molto importante che assicura la durabilità dell'opera; se gli elaborati del progetto esecutivo sono realizzati in modo corretto e dettagliato ed in cantiere viene eseguito tutto adeguatamente, cioè come voluto dal progettista, ne consegue che il risultato finale sarà la buona 'durata' dell'opera nel tempo.

Negli elaborati grafici conservati in archivio, in particolare tra le tavole strutturali, vengono indicate da Musmeci le fasi di messa in opera e di costruzione della tensostruttura di copertura con i relativi dettagli inerenti il sistema di ancoraggio e l'andamento, ovvero la curvatura quotata, dei cavi di precompressione: "fasi costruzione: 1) disporre i cavi secondo le quote indicate servendosi dell'armatura secondaria collegata in modo da costituire un insieme praticamente rigido; 2) effettuare il getto a strati successivi (guniti) correggendo ogni volta la flessione dei cavi mediante la loro graduale messa in tensione. Controllare a questo scopo le quote. Insieme ai cavi della copertura vanno posti in tensione i cavi disposti nella parete esterna del campanile. A getto completo la tensione nei cavi deve risultare di 10,4 tonn; 3) a maturazione avvenuta (15/20 giorni) si eleva la tensione dei cavi a 22 tonn (20 tonn per i 6 cavi della parete del campanile)"²⁰⁹.

Una delle problematiche di cui bisogna tener conto quando si progettano questo genere di strutture è rappresentata dal fatto che alcuni comportamenti della struttura nel tempo possono essere diversi da quelli previsti in fase progettuale, comportamenti che possono mettere in trazione parti in grado di resistere solo a compressione. È quindi importante che sia presente un doppio ordine di armature 'tiranti' così che la struttura venga in parte pre-compressa, in modo da rimanere sempre compressa anche nelle parti soggette a trazione; in tal modo, il problema della fessurazione viene, teoricamente, prevenuto. In merito a questa problematica Musmeci spiega che, durante la fase esecutiva, dopo che si è completato il processo di presa della soletta, di 6 cm di spessore, "si è aggiunta una sovratensione nei cavi avente lo scopo di precomprimerla in modo da porla in grado di svolgere una funzione di collegamento e di assorbimento degli sforzi secondari dovuti a condizioni di carico non uniformi"²¹⁰.

Un'altra problematica, accennata prima, è la particolare sensibilità alle variazioni termiche, maggiore nelle strutture con spessori molto sottili. Le armature che si usano nel

²⁰⁹ ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, disegno 28290.

²¹⁰ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.

calcestruzzo armato precompresso sono molto più delicate di quelle che si usano nel calcestruzzo armato tradizionale; è quindi importante che le sollecitazioni termiche siano limitate. Quest'ultime sottopongono la struttura a deformazioni tali da compromettere il regime di membrana puro facendo sorgere una serie di sforzi di trazione che 'stressano' la struttura²¹¹.

Dalle fotografie fornite dall'architetto Bardelli è stato possibile individuare alcune patologie di cui era affetta la struttura a soli venticinque anni dalla realizzazione della chiesa²¹²; tra queste patologie vi era alterazione cromatica, colatura, deposito superficiale, disgregazione, erosione oltre che espulsione del copriferro e delaminazione in diversi punti.

Dal punto di vista strutturale non sono stati riscontrati gravi fenomeni fessurativi, segno che la struttura è stata ben progettata ed eseguita. Tuttavia l'intervento del 1996 ha contribuito a preservare la durabilità nel tempo dell'opera che presentava copriferro insufficiente, in base alla normativa vigente, corrosione delle armature in diversi punti e sistema di smaltimento delle acque danneggiato. La protezione della copertura ha contribuito, oltre a rendere l'ambiente interno più confortevole, a preservare la sua delicata struttura sottile dagli effetti delle sollecitazioni termiche. In quell'occasione, spiega l'architetto Bardelli, sono state "protette le superfici in c.a. faccia a vista e ripristinati anche alcuni dettagli in c.a. che si erano quasi completamente perduti"²¹³ (fig. 15-22).

Altri piccoli dettagli riguardanti gli interventi svolti negli anni Novanta sono emersi dal confronto tra le foto pre-intervento e post-intervento; in origine vi era la presenza di una pavimentazione in battuto di cemento sostituita successivamente con una costituita da mattonelle in gres. È stata demolita, inoltre, la pensilina antistante la chiesa ed è stata realizzata una piccola rampa per disabili in corrispondenza del prolungamento della copertura (cfr fig. 7-9).

Grazie ad un sopralluogo, finalizzato a documentare lo stato attuale della chiesa di S. Alberto, si è potuto constatare lo stato di degrado in cui si trova il calcestruzzo armato, a distanza di quasi vent'anni dall'intervento di fine anni Novanta, nonché lo stato dei luoghi.

²¹¹ Le variazioni termiche sono dei fattori che allora non venivano presi in considerazione; all'epoca nessuno si occupava delle possibili variazioni termiche sulle volte. Citando Nervi: "quale imprevisto aggravio di sollecitazioni ... si venga così a creare, è ben facile intuire, ma quasi impossibile misurare. Per valutarne il più che rispettabile ordine di grandezza, basta considerare che il totale impedimento della dilatazione corrispondente ad un aumento di temperatura di 20° genera, in una struttura cementizia, una sollecitazione unitaria di circa 50 kg a cm²"; P. L. NERVI 1955, p. 26.

²¹² Sulla composizione del materiale, invece, non si sa nulla in quanto, durante l'intervento di restauro degli anni Novanta, non vennero effettuati provini.

²¹³ F. GIOVANNARDI 2010, p. 32; <www.giovannardierontini.it>, gennaio/2016.

La chiesa di S. Alberto è situata leggermente fuori dal centro di Sarteano, sul colle di S. Alberto, ed è nata insieme al centro residenziale che la circonda. Gli edifici residenziali delimitano una corte aperta che funge da piazza antistante la chiesa. Dal sopralluogo l'immagine che traspare è quella di un luogo un po' abbandonato a se stesso, poco vissuto; la chiesa, inoltre, era chiusa.

Dal sopralluogo è emersa la presenza di una 'aggiunta' al corpo principale della chiesa, aggiunta di certo successiva ai lavori di restauro degli anni Novanta, dato che non ve ne è traccia nelle foto dell'architetto Bardelli; si tratta di una baracca in legno, con tetto in eternit, che si innesta tra due dei setti in calcestruzzo, in adiacenza al campanile, nella parte posteriore della chiesa. Tale aggiunta 'impropria' deturpa l'immagine dell'opera di Musmeci, negando quelli che sono i suoi valori formali e storici (fig. 23).

In merito allo stato di conservazione del calcestruzzo, per quel che si è potuto osservare dall'esterno, la chiesa sembra vertere, a venti anni dal restauro, in uno stato di conservazione migliore rispetto a quello in cui si trovava negli anni Novanta; ciò è evidente se si confrontano le fotografie della situazione attuale con le fotografie pre-intervento, segno questo che il restauro effettuato nel 1996 ha contribuito alla conservazione dell'opera nel tempo (fig. 24-28). Nonostante ciò, l'opera, completamente costituita da calcestruzzo a faccia vista, presenta ancora segni di degrado come alterazione cromatica, colatura, colonizzazione biologica, deposito superficiale e così via. In questo caso è soprattutto la morfologia del manufatto a rendere quasi impossibile l'arrestarsi di tali fenomeni.

Si è visto, nel terzo capitolo, come le forme curve dei setti in calcestruzzo armato scaturiscano da una precisa forma statica; queste, infatti, sono disegnate "in modo da assorbire facilmente le spinte perimetrali originate dalla tensostruttura di copertura"²¹⁴. Tali superfici curve in c.a., lisce, pure e senza alcun tipo di protezione dagli agenti atmosferici, contribuiscono al proliferare dei fenomeni di alterazione del materiale. Le stesse problematiche si riscontrano anche sul campanile le cui superfici lisce, senza discontinuità, contribuiscono alla purezza delle forme rendendo, però, il materiale meno 'durevole' e bisognoso di continua manutenzione (fig. 29-31).

²¹⁴ ASMZZ, *Testo a commento del libro* 1980.



fig. 7 - Facciata principale della chiesa di S. Alberto prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 8 - Facciata principale della chiesa di S. Alberto durante i lavori, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 9 - Facciata principale della chiesa di S. Alberto dopo l'intervento; si nota la presenza di una differente pavimentazione e l'assenza della pensilina antistante la chiesa, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 10 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)

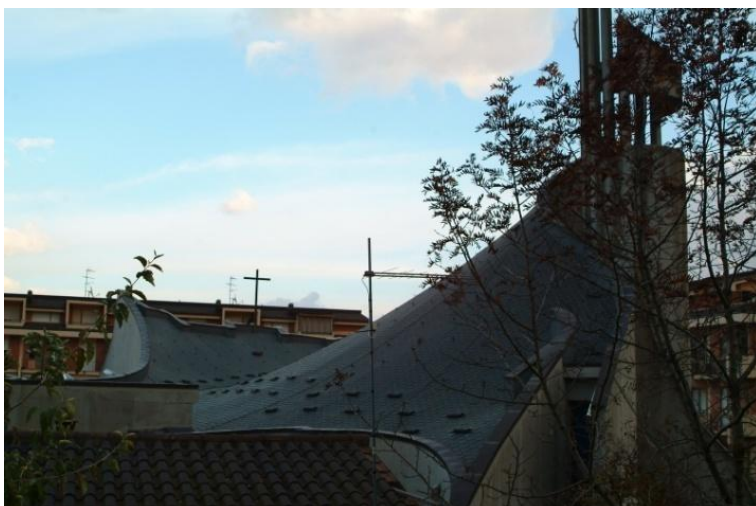


fig. 11 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto dopo l'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 12 - Particolare della copertura della chiesa prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 13 - Particolare della copertura della chiesa prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 14 - Particolare della copertura della chiesa dopo l'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 15 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 16 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto dopo l'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 17 - Particolare di un setto in c.a. della chiesa prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 18 - Particolare di un setto in c.a. della chiesa durante i lavori, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 19 - Particolare del sistema di smaltimento delle acque meteoriche della chiesa prima dell'intervento, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 20 - Particolare del sistema di smaltimento delle acque meteoriche della chiesa oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



fig. 21-22 - Particolare dei setti in c.a. della chiesa durante i lavori, Sarteano (foto dell'arch. F. Bardelli, 1996)



fig. 23 - Aggiunte improprie nella chiesa di S. Alberto oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



fig. 24 - Facciata principale della chiesa di S. Alberto oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



fig. 25 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



fig. 26 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto oggi, Sarteau (foto dell'A., 2015)



fig. 27 - Veduta esterna della chiesa di S. Alberto oggi, Sarteau (foto dell'A., 2015)



fig. 28 - Particolare della copertura della chiesa oggi, Sarteau (foto dell'A., 2015)



fig. 29 - Particolare dei setti in c.a. della chiesa oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



fig. 30 - Particolare del campanile e dei setti in c.a. della chiesa oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)

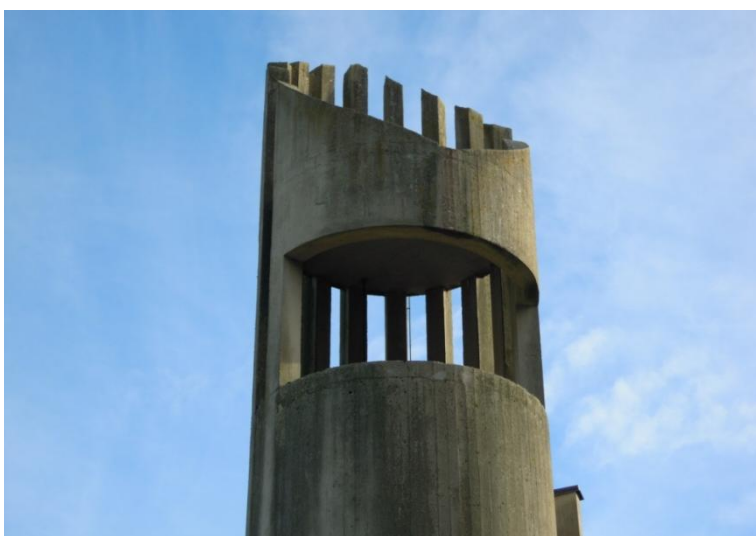


fig. 31 - Particolare della sommità del campanile della chiesa oggi, Sarteano (foto dell'A., 2015)



Stato pre-intervento anni Novanta



Stato attuale

ALTERAZIONE CROMATICA:

variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore. È generalmente estesa a tutto il materiale interessato; nel caso l'alterazione si manifesti in modo localizzato è preferibile utilizzare il termine macchia. (UNI 11182:2006)

DISCOLORATION: departure of colour from that which is normal or desired. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: l'intero manufatto presenta ampie zone di colore diversificato su tutte le superfici. La patologia è presente anche nella stato attuale.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.



Stato pre-intervento anni Novanta

COLATURA: traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. (UNI 11182:2006)

TRICKLING: the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. The flow of rainwater will tend to wash some areas preferentially, resulting in significant differences in colour between clean and dirty areas. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di ampie zone di colore scuro ad andamento verticale e parallelo su tutte le superfici del manufatto. La patologia è presente anche nello stato attuale ed interessa soprattutto le superfici non protette dagli agenti atmosferici.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.



Stato attuale



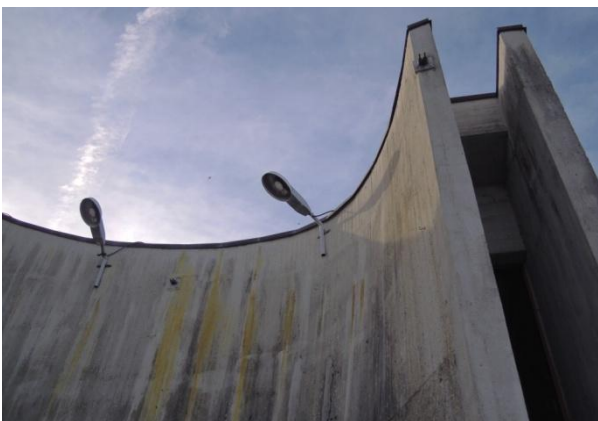
Stato pre-intervento anni Novanta



Stato attuale



Stato pre-intervento anni Novanta



Stato attuale

COLONIZZAZIONE BIOLOGICA: presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macro organismi (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori). (UNI 11182:2006)

BIOLOGICAL GROWTH: organic surface growth (micro-organism, algae, fungi, various types bacteria, lichens, plants). ... Blow-holes or rough surface form ideal sites for organic growth to become established. (CS TR 54)

PATINA BIOLOGICA: strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microorganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato. (UNI 11182:2006)

DESCRIZIONE: presenza di licheni. La patologia è presente anche nello stato attuale. Il fenomeno interessa le superfici non protette dagli agenti atmosferici.

CAUSE: agenti atmosferici, scorrimento acque meteoriche, morfologia del manufatto.

DEPOSITO SUPERFICIALE: accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante. (UNI 11182:2006)

MINERAL DEPOSIT (DUST): with concrete, the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di aree di colorazione scura tendente al nero. La patologia è presente anche nello stato attuale ed interessa la superficie del setto in c.a., dalle forme curve, che dà sulla strada.

CAUSE PROBABILI: inquinamento atmosferico, morfologia del manufatto.



Stato pre-intervento anni Novanta



Stato pre-intervento anni Novanta



Stato attuale

DISGREGAZIONE, POLVERIZZAZIONE: decoesione con caduta del materiale sotto forma di polvere o minutissimi frammenti. Talvolta viene utilizzato il termine polverizzazione. (UNI 11182:2006)

SCALING: local flaking or peeling away of the near-surface portion of hardened concrete or mortar; also of a layer from metal. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: irregolarità della superficie dell'elemento causata dalla perdita di materia.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, smaltimento e deflusso acqua meteorica, gelo/disgelo, morfologia dell'elemento.

EROSIONE: asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si presenta compatta. (UNI 11182:2006)

EROSION: progressive disintegration of a solid by the abrasive or cavitation action of gases, fluids, or solids in motion. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: perdita uniforme di materiale dalla superficie. La patologia è presente anche nello stato attuale ed interessa la superficie del setto in c.a., dalle forme curve, che dà sulla strada.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, smaltimento e deflusso acqua meteorica, morfologia del manufatto.



ESFOLIAZIONE: formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto e subparallele tra loro, dette sfoglie. (UNI 11182:2006)

EXFOLIATION: disintegration, occurring by peeling off in successive layers; swelling up and opening into leaves or plates like a partly opened book. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: asportazione di materia sotto forma di sfoglie. Il fenomeno interessa solo alcune zone della superficie del manufatto.

CAUSE PROBABILI: modalità esecutive, gelo-disgelo.



Stato attuale



Stato pre-intervento anni Novanta

COLD-JOINT LINES (RIPRESE DI GETTO, GIUNTI): visible lines on the surface formed concrete indicating the presence of joints where a layer of concrete had hardened before subsequent concrete was placed. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: discontinuità visibile sulla superficie del calcestruzzo indicativa di getti successivi. La patologia è presente anche nello stato attuale.

CAUSE PROBABILI: modalità esecutive, morfologia del manufatto.



Stato attuale



SPALLING (ESPULSIONE DEL COPRIFERRO): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass caused by reinforcement corrosion. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di elementi tridimensionali derivante dalla corrosione delle barre di armatura. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato.

CAUSE: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle barre di armatura, ridotto spessore del copriferro.



Stato pre-intervento anni Novanta



DELAMINATION (DELAMINAZIONE, DISTACCO): a separation along a plane parallel to a surface caused by the corrosion of reinforcing steel. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di materia secondo un piano parallelo alla superficie. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato.

CAUSE: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle armature, modalità esecutive, ridotto spessore del copriferro.

Stato pre-intervento anni Novanta

4.3.2 IL PONTE SUL BASENTO A POTENZA

Il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975), da poco più di dieci anni, è stato riconosciuto dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e dalla Soprintendenza Regionale della Basilicata come “Bene Culturale di interesse particolarmente importante”²¹⁵, tramite il decreto del 2 dicembre del 2003. Il ponte, da quel giorno, è considerato nel suo valore storico, artistico e culturale e nei suoi caratteri costitutivi ed è sottoposto a tutte le disposizioni di tutela previste dalla legge.

Nel 2006 quest’opera viene inserita nel censimento promosso dalla DARC (Direzione Generale per l’Architettura e l’Arte Contemporanee), finalizzato a promuovere ed avviare operazioni di protezione e valorizzazione delle opere di rilevante interesse storico ed artistico realizzate in Italia dal dopoguerra²¹⁶.

A quasi trent’anni dalla sua realizzazione, nell’ambito delle iniziative promosse per la settimana della cultura del 2003, viene organizzata una giornata di studio dal titolo “Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza”, in collaborazione con la DARC. I risultati di questa giornata vengono raccolti nella pubblicazione omonima *Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza*²¹⁷ a cura di Margherita Guccione, promossa, nello stesso anno, dal “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”: “un nuovo volume della collana “Documentare il contemporaneo” della DARC e una giornata di studi nel capoluogo lucano, sono stati dedicati al ponte progettato sul Basento nel ‘67 da Musmeci”²¹⁸.

Guccione scrive che il ‘ponte Musmeci’ non è solo un’infrastruttura ma anche “un oggetto architettonico denso di significati e di suggestioni, che ridisegna con singolare maestria il paesaggio del caos urbanistico del dopoguerra”²¹⁹. È soprattutto la spazialità, generata dalla forma della struttura, che rende l’opera di Musmeci un vero e proprio monumento di ingegneria e di architettura, “simbolo concreto della ricerca scientifica e dello straordinario intuito del suo creatore”²²⁰. Il progetto del ponte esprime linee di ricerca

²¹⁵ C. PETRIZZI 2004, p. 65.

²¹⁶ *Architetture italiane del secondo Novecento. DARC censimento e catalogazione* 2006, p. 12.

²¹⁷ *Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza* 2004.

²¹⁸ *Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza a cura di Margherita Guccione DARC, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi, Roma* 2003, p. 9.

²¹⁹ M. GUCCIONE 2004, p. 59.

²²⁰ “Il ponte ha l’ulteriore merito di avere lanciato, con grande anticipo e con una soluzione di grande fascino, alcuni dei temi cruciali del dibattito odierno: l’infrastruttura territoriale come occasione di qualificazione ambientale e paesistica, la sperimentazione ingegneristica in rapporto all’intenzionalità estetica, la dimensione comunicativa dell’innovazione tecnologica”; *ibidem*.

di grande attualità; dimostra, infatti, un'attenzione ai rapporti fra infrastruttura e territorio e affronta il tema dell'arditezza strutturale in cui l'intuizione tridimensionale si concretizza in una forma organica e innovativa. "Il guscio dallo spessore sottile, con le sue forme libere e dinamiche, non è un semplice fatto stilistico, ma una vera e propria invenzione strutturale"²²¹.

Nel 2004, ad un anno dalla giornata di studio, il Consorzio ASI (Consorzio per lo Sviluppo Industriale della provincia di Potenza) realizza una serie di opere di sistemazione dell'area sottostante al ponte, eliminando alcuni manufatti precari.

Nonostante ciò sono passati più di dieci anni da quel giorno e ancora non si è fatto nulla per la sistemazione paesaggistica dell'area che comprende la creazione del parco fluviale; non è stata mai realizzata neanche la passeggiata pedonale che doveva permettere la fruizione interna del ponte, già prevista nel progetto di Musmeci e i cui particolari dei parapetti e dei mancorrenti erano stati progettati in scala 1:1 da Zenaide Zanini (fig. 32-33). Queste le parole della moglie di Musmeci: "Era stato completato e disegnato tutto, fin nei minimi particolari"²²². "Sono entrate e uscite delle imprese, ne sono subentrate altre. ... l'incarico iniziale era stato affidato all'ingegner Livadiotti, poi solo a mio marito, poi allo studio. Successivamente è stato affidato un incarico specifico a me, proprio per il completamento degli aspetti progettuali e architettonici del percorso pedonale, mai più realizzato"²²³.

Grazie ad un sopralluogo, finalizzato a documentare lo stato attuale del viadotto, si è potuto constatare lo stato di degrado in cui si trova il calcestruzzo armato del ponte nonché lo stato di abbandono dei luoghi.

In merito all'area su cui insiste il ponte la prima impressione avuta è quella di un luogo soggetto a forte degrado e abbandono; in particolare, la zona che dà sulla strada statale basentana, che doveva rappresentare l'accesso principale all'interno del ponte, nonché l'ingresso pedonale alla città di Potenza, attualmente è utilizzata come parcheggio e presenta rifiuti e verde incolto (fig. 34-35). Dal lato opposto, quello che dà su viale Marconi, lo spazio compreso nella campata, quella adiacente ai binari della ferrovia, è utilizzato come parcheggio dal Corpo Forestale dello Stato (fig. 36).

²²¹ *Ibidem*, p. 60.

²²² Il motivo si deve, forse, alla mancanza di finanziamenti per terminare il progetto; A. VITTORINI 2004, p. 49.

²²³ *Ibidem*.

Riguardo al ponte la fruizione interna, tra centinaia di graffiti che ne deturpano la superficie, è possibile, anche se mancano i dispositivi di sicurezza per percorrerlo senza pericolo da un lato all'altro (fig. 37-39).

L'analisi diretta della costruzione ha permesso di notare alcuni dettagli della superficie: sono evidenti, ad esempio, le impronte delle tavole delle casseforme sull'intradosso della volta del ponte. Tali segni sono più accentuati in corrispondenza delle curvature maggiori della membrana a causa della notevole difficoltà di realizzazione tesa ad assecondare il modello membranale²²⁴ (fig. 40-41). Se da un lato questi segni rappresentano 'difetti' costruttivi dovuti alla difficile posa in opera del calcestruzzo, dall'altro tale tessitura caratterizza la superficie dell'opera conferendole quell'unicità che dovrebbe essere conservata (fig. 42-45).

"Il guscio riporta dunque impressa la maglia che non solo racconta la storia e le difficoltà della costruzione ma mostra, come in una radiografia, la discretizzazione geometrica che ha reso possibile lo sviluppo e il controllo del progetto dalle prime fasi del formfinding fino agli esecutivi e alla cantierizzazione"²²⁵.

Grazie al sopralluogo condotto è stato possibile, inoltre, esaminare lo stato di alterazione dell'opera; le maggiori problematiche sono state riscontrate principalmente in corrispondenza dei giunti dell'impalcato stradale dove sono state evidenziate diverse patologie tra cui distacchi, efflorescenze, copriferri esplosi, macchie di ruggine, armature a vista, ma nessuno stato fessurativo importante. Anche qui la concezione strutturale ideata da Musmeci si è dimostrata perfettamente in accordo con la vita dell'opera.

Si è già parlato inoltre, nel terzo capitolo, della bravura delle maestranze e della cura nell'esecuzione che ha richiesto l'opera in alcune parti di difficile realizzazione, lì dove le pendenze sono maggiori e nella modellazione delle curvature continue e contrapposte²²⁶. Oggi, però, i danni causati dall'acqua, penetrata attraverso i giunti dell'impalcato, si ripercuotono conseguentemente sulla volta del ponte e sulle strutture sottostanti, generando ulteriori situazioni di degrado alle quali occorrerebbe rimediare per non causare ulteriori problematiche che potrebbero compromettere l'intera stabilità dell'opera nonché un aggravio dei costi di risanamento (fig. 46-49).

²²⁴ "Le impronte delle tavole (e i difetti esecutivi) ... raccontano la storia del cantiere e ne testimoniano la complessità" dovuta alla difficoltà di cassetteria in legno a doppia curvatura, di sagomatura dei ferri e di getto del calcestruzzo; R. CAPOMOLLA 2005-2006, p. 15.

²²⁵ A. TURSI 2002-2003, p. 164.

²²⁶ Le curvature continue "sono state modellate con getti graduali di calcestruzzo sufficientemente viscoso. Particolare attenzione e cura ha richiesto poi la stagionatura"; *ibidem*, p. 165.

Dalle informazioni raccolte è emerso che il Consorzio ASI e la Soprintendenza sono in procinto di collaborare per definire le necessarie azioni di tutela in vista di un vero e proprio restauro conservativo del manufatto. Queste le parole dell'Amministratore Unico del Consorzio ASI di Potenza, dottor Antonio Bochicchio: "Per quanto attiene le azioni di tutela, sulla cui necessità è facile convenire, la definizione degli interventi dovrà opportunamente coinvolgere la Soprintendenza con cui, anche a questo scopo, il Consorzio collabora strettamente. Tali azioni, come facilmente intuibile trattandosi di lavori di vero e proprio restauro conservativo, comporteranno l'impegno di ingenti risorse per interventi di ripristino strutturale e adeguamento di un'opera che, giova ricordarlo, si approssima a compiere quaranta anni. A tal fine il Consorzio si è attivato per sensibilizzare la Regione Basilicata con lo scopo di individuare possibili canali di finanziamento ed ha altresì avviato, per quanto attiene gli aspetti di carattere "scientifico", contatti con la Facoltà di Architettura della seconda Università di Roma Tor Vergata, che sta portando avanti un progetto europeo di studio e valorizzazione delle più importanti opere in cemento armato realizzate in Italia. Riguardo all'utilizzo improprio del ponte, sarebbe auspicabile che la Soprintendenza ai Beni Culturali ne desse segnalazione alle autorità competenti, trattandosi per l'appunto di un'opera sottoposto a tutela. Sono attualmente in corso lavori di piccolo ripristino del fondo stradale del viadotto, che si rendono puntualmente necessari in seguito al verificarsi di avverse condizioni meteo. I 'grandi interventi' saranno invece programmati affrontando, auspicabilmente, anche il ripristino dei giunti del ponte"²²⁷.

Dalle notizie raccolte sembra, quindi, che nei suoi quarant'anni di vita il viadotto sia stato oggetto solo di interventi conservativi e manutentivi, locali e puntuali. Si notano, in diversi punti della superficie della volta, rappezzi che sono il segno degli interventi di ripristino puntuali e delle riparazioni utili a contrastare il deterioramento del materiale (fig. 50-51). Tali interventi sono stati certamente eseguiti in tempi e modi differenti; in alcuni casi si nota, infatti, un tentativo di riprodurre le linee delle impronte delle casseforme (fig. 52).

Lo stato di degrado in cui oggi versa il ponte rende evidente la necessità di un intervento di restauro e di manutenzione globale in grado di restituire alla superficie membranale della volta la sua uniforme matericità e in grado di rispondere, con un'adeguata integrazione, ai problemi di sicurezza e valorizzazione posti da un 'monumento' dell'ingegneria moderna. Tali interventi, quindi, dovrebbero estendersi all'intero contesto,

²²⁷ <<http://www.astronik.it/il-ponte-musmeci-abbandonato-a-se-stesso/>>, luglio/2015.

per una valorizzazione dei luoghi e per un eventuale completamento della fruibilità dell'opera di Musmeci.

A fine maggio del 2015, in occasione dei quarant'anni dalla realizzazione del ponte, è stato realizzato un impianto di illuminazione scenografica²²⁸ (fig. 53-54). Tale progetto di valorizzazione illuminotecnica, promosso dal Consorzio per lo Sviluppo Industriale di Potenza, con il coordinamento dell'Ufficio Turismo del Dipartimento Attività Produttive della Regione Basilicata, è teso a sensibilizzare e a riportare l'attenzione sull'opera di Musmeci per rendere possibili gli interventi di restauro finalizzati alla tutela dell'opera. “Tra gli obiettivi del progetto anche quello di ‘accendere le luci’ sull'opera d'architettura contemporanea più rilevante della regione, con l'auspicio che sia possibile presto realizzare anche un complessivo intervento di restauro e riqualificazione che valorizzi e tuteli l'opera dell'ingegnere Sergio Musmeci”²²⁹.

²²⁸ “L'iniziativa, a sostegno di Matera capitale europea della cultura 2019, rientra nel programma “Vivi una Vita che Vale” che promuove, attraverso la valorizzazione dell'Arte Creatività e Cultura la diffusione di stili di vita più sani, corretti ed armoniosi, per definire un modello di sviluppo etico sostenibile ... È stata l'occasione per accendere finalmente i riflettori su Ponte Musmeci e farne l'Icona di una città, Potenza, e di una regione, la Basilicata per un risveglio culturale e un rilancio sociale ed economico, anche in considerazione che questa Opera d'Arte, attualmente versa in un grave stato di degrado che richiede l'inserimento prioritario nella nuova programmazione regionale PO FESR 2014/2020 di un intervento organico e integrato relativo a: - Restauro Statico, - Sistemazione scenografica delle aree a verde di pertinenza con eliminazione delle alberature che ne impediscono la visione, - Valorizzazione scenografica del Ponte con attrezzature multimediali luci, audio e video, - Predisposizione di un Percorso in sicurezza della cavità interiore, - Trasformazione del Ponte Musmeci in un grande attrattore di un itinerario turistico emozionale”; <http://www.archiportale.com/news/2015/05/eventi/ponte-musmeci-luci-scenografiche-un-protocollo-e-una-passeggiata-emozionale-per-festeggiare-i-suoi_45995_32.html>, febbraio/2016.

²²⁹ <<http://www.consorzioasipz.it/index.html>>, febbraio/2016.

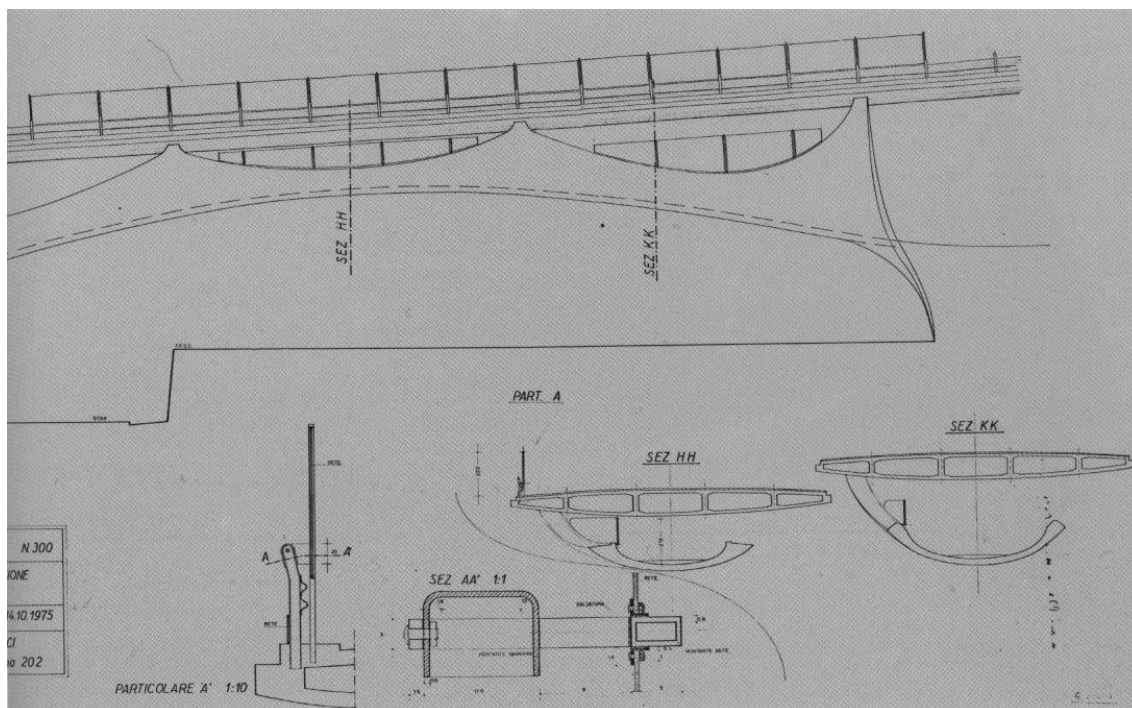


fig. 32 - Progetto dei particolari dei parapetti e dei mancorrenti del ponte sul Basento, Potenza (A. VITTORINI 2004)

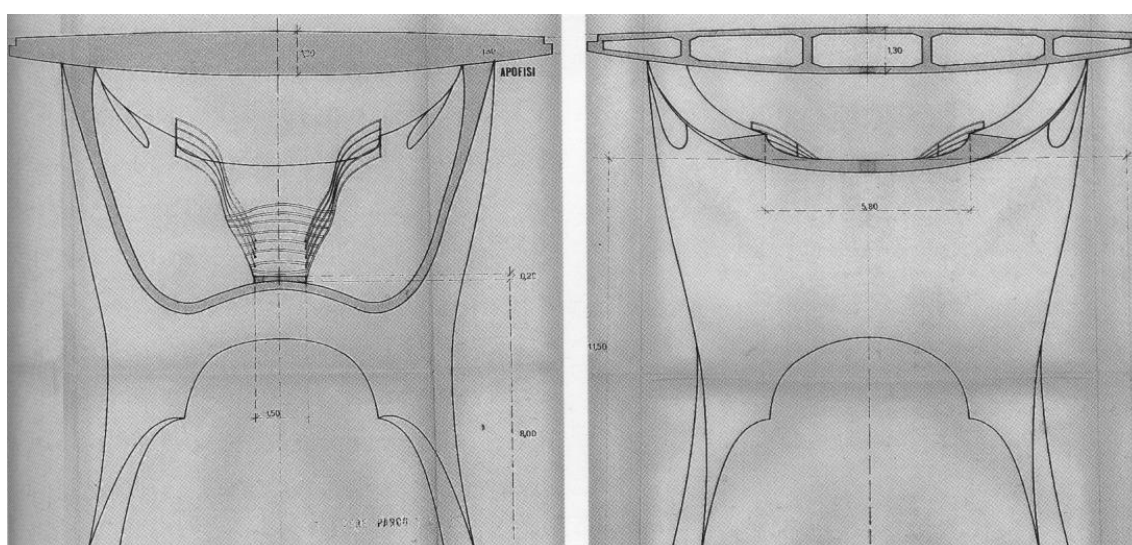


fig. 33 - Progetto dei particolari dei parapetti e dei mancorrenti del ponte sul Basento, Potenza (A. VITTORINI 2004)



fig. 34 - Accesso pedonale all'interno del ponte sul Basento dal lato della strada statale basentana, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 35 - Area in corrispondenza dell'accesso pedonale all'interno del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 36 - Campata del ponte sul Basento dal lato di viale Marconi, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 37 - Attraversamento pedonale all'interno del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 38 - Attraversamento pedonale all'interno del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 39 - Attraversamento pedonale all'interno del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 40 - Particolare dei segni delle tavole delle casseforme sull'intradosso della volta del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)

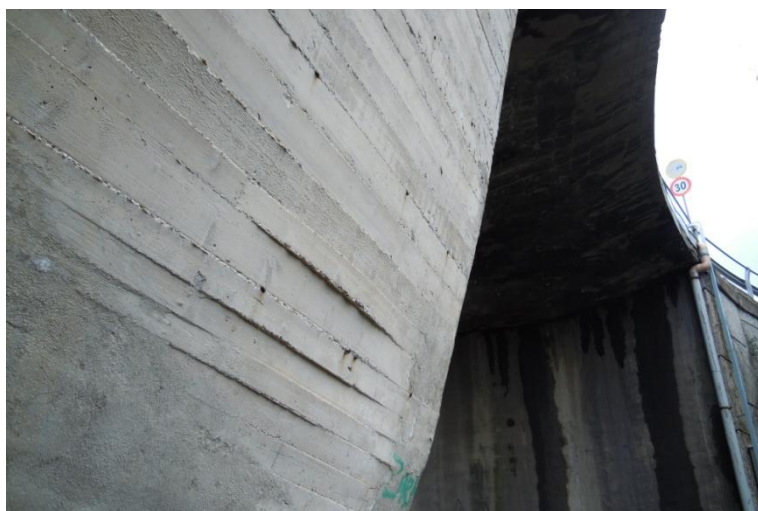


fig. 41 - Particolare dei segni delle tavole delle casseforme sull'intradosso della volta del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)

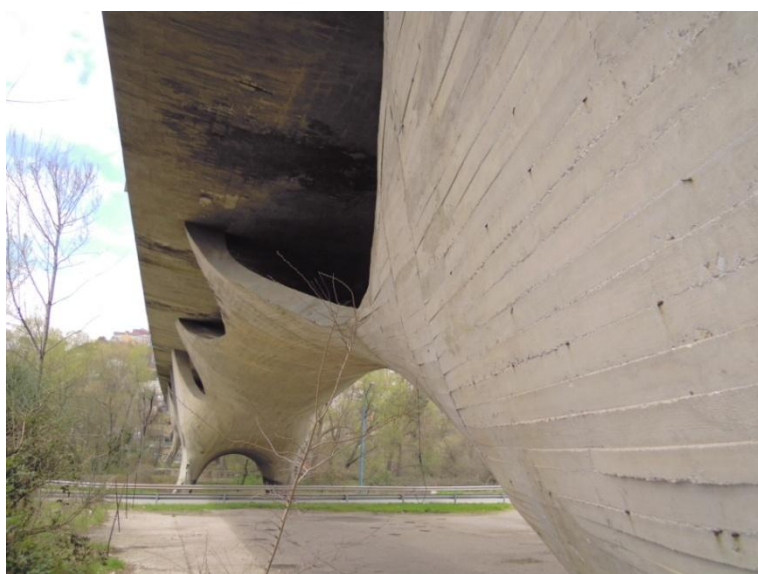


fig. 42 - Tessitura superficiale dell'intradosso della volta del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 43 - Tessitura superficiale dell'intradosso della volta del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 44 - Tessitura superficiale dell'intradosso della volta del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 45 - Tessitura superficiale dell'intradosso della volta del ponte sul Basento, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 46 - Stato di alterazione e degrado del c.a. del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 47 - Stato di alterazione e degrado del c.a. del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 48 - Stato di alterazione e degrado del c.a. del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)

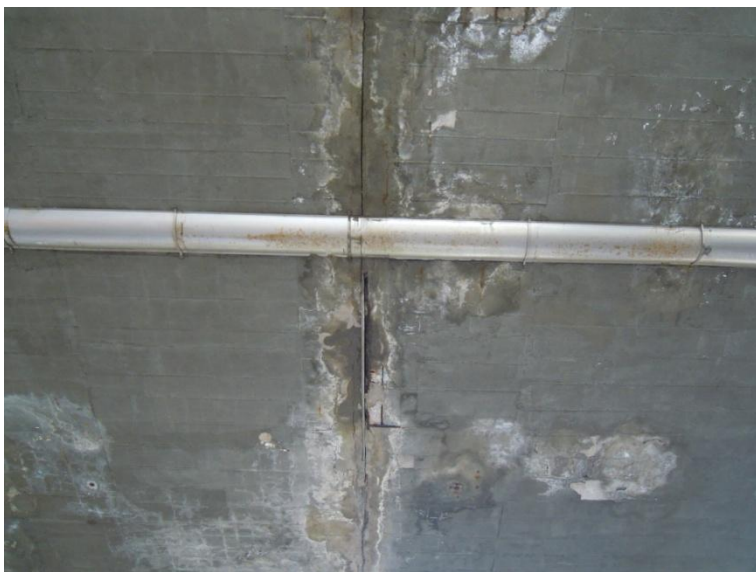


fig. 49 - Stato di alterazione e degrado del c.a. del ponte, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 50 - Particolare di alcuni interventi di manutenzione, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 51 - Particolare di alcuni interventi di manutenzione, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 52 - Particolare di alcuni interventi di manutenzione, Potenza (foto dell'A., 2015)



fig. 53 - Illuminazione scenografica del ponte, Potenza (<http://www.archiportale.com>, febbraio/2016)



fig. 54 - Illuminazione scenografica del ponte, Potenza, (<http://www.archiportale.com>, febbraio/2016)



Stato attuale



Stato attuale

ALTERAZIONE CROMATICA: variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore. È generalmente estesa a tutto il materiale interessato; nel caso l'alterazione si manifesti in modo localizzato è preferibile utilizzare il termine macchia. (UNI 11182:2006)

DISCOLORATION: departure of colour from that which is normal or desired. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: l'intero manufatto presenta ampie zone di colore diversificato sulla superficie dell'impalcato e sulle superfici di intradosso ed estradosso della volta del ponte.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.

COLATURA: traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. (UNI 11182:2006)

TRICKLING: the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. The flow of rainwater will tend to wash some areas preferentially, resulting in significant differences in colour between clean and dirty areas. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colore scuro ad andamento verticale sulle superfici membranali della volta del ponte.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, infiltrazione di acqua meteorica dai giunti, morfologia del manufatto.



Stato attuale

DEPOSITO SUPERFICIALE: accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante. (UNI 11182:2006)

MINERAL DEPOSIT (DUST): with concrete, the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di materiale estraneo sulla superficie del manufatto.

CAUSE PROBABILI: inquinamento atmosferico.



Stato attuale

DISGREGAZIONE,

POLVERIZZAZIONE: decoesione con caduta del materiale sotto forma di polvere o minutissimi frammenti. Talvolta viene utilizzato il termine polverizzazione. (UNI 11182:2006)

SCALING: local flaking or peeling away of the near-surface portion of hardened concrete or mortar; also of a layer from metal. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: irregolarità della superficie causata dalla perdita di materia. Il fenomeno interessa solo piccole zone della volta del ponte.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, deflusso acqua meteorica, gelo/disgelo, urti, azioni meccaniche, morfologia del manufatto.



DISTACCO: soluzione di continuità tra strati di un intonaco, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi.

DELAMINATION: a separation along a plane parallel to a surface as in the separation of a coating from a substrate or the layers of a coating from each other or in the case of concrete slab, a horizontal splitting, cracking or separation of a slab in a plane roughly parallel to, and generally near, the upper surface. (ACI 201.1R-92)



DESCRIZIONE: discontinuità della superficie causata dal distacco di porzioni di materia. Il fenomeno interessa alcune zone della superficie del manufatto.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, gelo/disgelo, morfologia del manufatto, materiali costitutivi, escursioni termiche.

Stato attuale



EFFLORESCENZA: formazione superficiale di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastro. (UNI 11182:2006)

EFFLORESCENCE: a deposit of salts, usually white, formed on a surface, the substance having emerged in solution from within either concrete or masonry and subsequently been precipitated by evaporation. (ACI 201.1R-92)



DESCRIZIONE: presenza di zone di colore biancastro al di sotto dell'impalcato del ponte. Il fenomeno interessa principalmente le zone in corrispondenza dei giunti dell'impalcato.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, infiltrazioni d'acqua meteorica.

Stato attuale



ESFOLIAZIONE: formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto e subparallele tra loro, dette sfoglie. (UNI 11182:2006)

EXFOLIATION: disintegration, occurring by peeling off in successive layers; swelling up and opening into leaves or plates like a partly opened book. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: asportazione di materia sotto forma di sfoglie. Il fenomeno interessa diverse zone della superficie del manufatto.

CAUSE PROBABILI: modalità esecutive, gelo-disgelo.



Stato attuale



GRAFFITO VANDALICO: apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate. (UNI 11182:2006)

DESCRIZIONE: presenza di graffiti, scritte e murali distribuite sull'intera superficie del ponte.

CAUSE PROBABILI: atti vandalici.



Stato attuale



Stato attuale



Stato attuale

MACCHIA: variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale (concentrazione di pirite nei marmi) sia alla presenza di materiali estranei (acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostanze organiche, vernici, microrganismi per esempio). (UNI 11182:2006)

STAINING: a cosmetic problem affecting the appearance of the structure (oxides and salts of copper and bronze, rust). (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colorazione scura. Il fenomeno interessa principalmente le zone in prossimità dei giunti dell'impalcato.

CAUSE PROBABILI: percolazione acqua meteorica, morfologia del manufatto, tecnica di esecuzione dell'elemento strutturale.

RUST SPOTS (MACCHIE DI RUGGINE): a problem affecting the appearance of the structure produced by reinforcement corrosion. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colore rosso bruno, causate dalla ruggine, sulla superficie in corrispondenza di corrosione delle barre di armatura. Il fenomeno interessa diverse zone della superficie del manufatto.

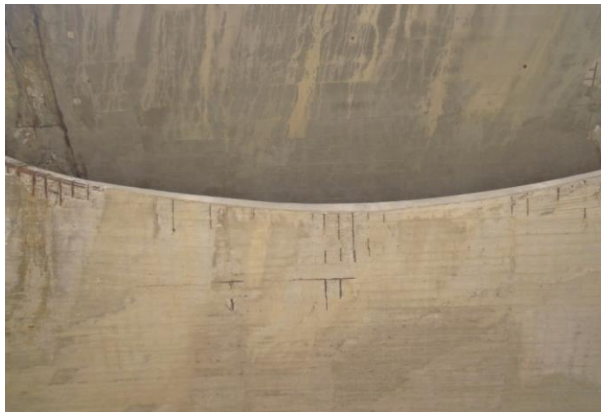
CAUSE PROBABILI: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle barre di armatura, ridotto spessore del copriferro.



SPALLING (ESPULSIONE DEL COPRIFERRO): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass caused by reinforcement corrosion. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di elementi tridimensionali derivante dalla corrosione delle barre di armatura. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato. Il fenomeno interessa numerose zone della superficie del manufatto.

CAUSE: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle barre di armatura, ridotto spessore del copriferro.



Stato attuale



DELAMINATION (DELAMINAZIONE, DISTACCO): a separation along a plane parallel to a surface caused by the corrosion of reinforcing steel. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di materia secondo un piano parallelo alla superficie. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato principalmente a causa della percolazione di acqua meteorica in prossimità dei giunti dell'impalcato. Il fenomeno interessa numerose zone della superficie del manufatto.

CAUSE: percolazione acqua meteorica, carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle armature, modalità esecutive, ridotto spessore del copriferro.



Stato attuale



PATTERN CRACKING (FESSURE A TRAMA IRREGOLARE): fine openings in concrete surfaces in the form of a pattern; resulting from a decrease in volume of the material near the surface, or increase in volume of the material below the surface, or both. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: discontinuità con forma assimilabile ad una rete poligonale irregolare. Il fenomeno interessa solo alcune zone della superficie del manufatto.

CAUSE: variazione del volume del calcestruzzo, dosaggio dei componenti, stagionatura, ritiro, agenti atmosferici.



Stato attuale

4.3.3 IL VIADOTTO SULL'APPIA ANTICA A ROMA

Del viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980), come già detto nel terzo capitolo, Musmeci ha curato solo il progetto preliminare. Dopo la sua scomparsa, lo studio tecnico incaricato di redigere il progetto esecutivo e di seguire la realizzazione dell'opera non è riuscito a rispettare il sistema statico ideato da Musmeci. Lo studio CG ha modificato l'impostazione costruttiva del viadotto cercando, però, di mantenere le forme ideate da Musmeci.

Nonostante ciò si è ritenuto di svolgere un'analisi di tale opera reperendo materiale utile a documentare la vita del viadotto e facendo alcuni sopralluoghi. È stato rintracciato, tra il materiale d'archivio appartenente al fondo Musmeci, un documento del 1999 dal titolo "Progetto lavori di completamento opera e manutenzione e sistemazione area archeologica (opera 106)"²³⁰ in cui figura il nome di Zenaide Zanini Musmeci. Questo documento mette in evidenza come, circa quindici anni dopo la realizzazione del viadotto, fossero previsti interventi di completamento e di manutenzione. Inoltre l'architetto Zanini ha continuato, negli anni, a progettare la sistemazione archeologica dell'area, ad oggi ancora non eseguita.

Tra le informazioni contenute in tale documento è presente una 'breve cronaca' sugli eventi che sono seguiti alla realizzazione dell'opera: "il giorno 27 Marzo 1986, Z. Zanini alla sua visita (pressoché quotidiana) al cantiere, trova inaspettatamente tutto deserto. Da qualcuno gli viene detto che l'impresa Del Favero aveva consegnato quel giorno il cantiere al Comune. Quella stessa mattina da Z. Z. è stata consegnata al protocollo del comune di Roma una sua relazione che denunciava le incompletezze dell'opera che si stava realizzando"²³¹. In attesa dello sblocco della situazione Zanini riceve l'incarico di consulente artistico della commissione per la sistemazione dell'area archeologica dell'Appia. È proprio in questa occasione che viene previsto "l'inserimento del ponte in un più grande intervento che prevede l'accesso al parco dell'Appia"²³².

²³⁰ ASMZZ, *Ponte sull'Appia (progetto ex 580) documenti 1980-1999*.

²³¹ ASMZZ, *Ponte (Sergio Musmeci) di via Marco Polo sull'Appia Antica. Relazione 1980-1999*.

²³² Il 7 Aprile del 1995 viene spedito al Sindaco, agli Assessori, alle varie Ripartizioni ed Enti e alla Soprintendenza Archeologica un fax denunciante il problema e lo stato di completo abbandono nel quale si trova l'opera. Il 17 Maggio dello stesso anno l'Assessore Montino comunica la decisione di completare l'opera, e programma un sopralluogo per prendere visione del problema esistente. Il 13 Giugno del 1995 Zanini esegue un sopralluogo sul ponte "con un tecnico specializzato della Italcementi per avere il miglior supporto tecnico alla soluzione dei problemi sospesi"; *ibidem*.

Tra i documenti di archivio vi è una relazione che ha come oggetto “Lavori di completamento del ponte di via Marco Polo sull’Appia Antica”²³³ in cui sono indicate, sinteticamente, le tipologie dei lavori da svolgere per il completamento dell’opera. Tra le lavorazioni è previsto il completamento della martellinatura, fatta a mano, su tutta la superficie del guscio in entrambe le campate²³⁴.

Zanini lamenta il fatto che, a causa dei lavori non completati, la spalla verso via Cilicia “è stata lasciata tutti questi anni nel più totale abbandono, in corrispondenza del giunto stradale sopra di essa si è prodotta una forte infiltrazione di acqua piovana in molti punti, si teme possa, se non si interviene con sollecitudine, arrivare a pregiudicare la solidità della struttura stessa”²³⁵. Nella relazione vengono indicate, inoltre, tutte quelle parti in cui sussiste il rischio di infiltrazione d’acqua dovuto all’intasamento dei canali di raccolta e di deflusso. Zanini ritiene necessario eseguire la pulitura ed il restauro del profilo dell’impalcato del ponte, oltre che la pulitura delle specchiature trasparenti dei parapetti e la sostituzione dei montanti danneggiati; inoltre, tutte le parti imbrattate andrebbero preliminarmente pulite “con molta cura con speciali sistemi e trattamenti adeguati”²³⁶.

Nella suddetta relazione si parla anche della sistemazione a verde dell’area, da arredare con panchine e cartelli informativi, e della realizzazione della passeggiata archeologica con la possibilità di allestire una piccola sala espositiva nello spazio interno al guscio maggiore.

Il sopralluogo ha permesso di accertare che, in merito alla passeggiata archeologica e alla sistemazione a verde, i lavori descritti nella relazione non sono mai stati portati a termine. Attualmente tutta l’area in cui si trova il viadotto, nonché i ruderi e i reperti archeologici, è lasciata al totale degrado e all’abbandono (fig. 55-63).

²³³ ASMZZ, *Oggetto: Lavori di completamento del ponte di via Marco Polo sull’Appia Antica. Relazione 1980-1999.*

²³⁴ “Il guscio della spalla che si presenta sull’Appia è stato lasciato non finito nei profili, nei raccordi, nelle levigature ed impreciso nelle lineari curve a corda molle e non ha la martellinatura finale fatta a mano su tutta la superficie del guscio. ... La stessa incompletezza nella finitura si trova nel cemento armato sul lato destro. ... La superficie di questo lato va completata, rifinita e martellinata”; *ibidem*.

²³⁵ *Ibidem*.

²³⁶ *Ibidem*.



fig. 55 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 56 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 57 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 58 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 59 - Resti archeologici all'interno del viadotto, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 60 - Viadotto sull'Appia Antica, Roma (foto dell'A., 2015)



fig. 61 - Resti archeologici
all'interno del viadotto, Roma
(foto dell'A., 2015)



fig. 62 - Resti archeologici
all'interno del viadotto, Roma
(foto dell'A., 2015)



fig. 63 - Resti archeologici
all'interno del viadotto, Roma
(foto dell'A., 2015)



Stato attuale



Stato attuale

ALTERAZIONE CROMATICA:

variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore. È generalmente estesa a tutto il materiale interessato; nel caso l'alterazione si manifesti in modo localizzato è preferibile utilizzare il termine macchia. (UNI 11182:2006)

DISCOLORATION: departure of colour from that which is normal or desired. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: l'intero manufatto presenta ampie zone di colore diversificato sulla superficie di intradosso della volta del ponte.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.

COLATURA: traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. (UNI 11182:2006)

TRICKLING: the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. The flow of rainwater will tend to wash some areas preferentially, resulting in significant differences in colour between clean and dirty areas. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colore scuro ad andamento verticale e parallelo sulla superficie del manufatto. Il fenomeno interessa le superfici in prossimità dei giunti dell'impalcato.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, infiltrazione di acqua meteorica dai giunti, morfologia del manufatto.



Stato attuale

EFFLORESCENZA: formazione superficiale di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastro. (UNI 11182:2006)

EFFLORESCENCE: a deposit of salts, usually white, formed on a surface, the substance having emerged in solution from within either concrete or masonry and subsequently been precipitated by evaporation. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colore biancastro. Il fenomeno interessa l'intradosso del guscio in prossimità dell'attacco con l'impalcato stradale.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, infiltrazioni d'acqua meteorica, morfologia del manufatto.



Stato attuale

EROSIONE: asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si presenta compatta. (UNI 11182:2006)

EROSION: progressive disintegration of a solid by the abrasive or cavitation action of gases, fluids, or solids in motion. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: perdita uniforme di materiale dalla superficie.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, smaltimento e deflusso acqua meteorica, morfologia del manufatto.



GRAFFITO VANDALICO: apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate. (UNI 11182:2006)

DESCRIZIONE: presenza di graffiti, scritte e murali.

CAUSE PROBABILI: atti vandalici.



Stato attuale

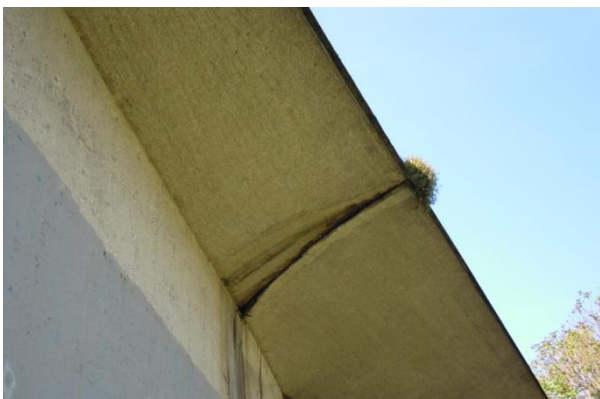


PRESENZA DI VEGETAZIONE: presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei. (UNI 11182:2006)

BIOLOGICAL GROWTH: organic surface growth (micro-organism, algae, fungi, various types bacteria, lichens, plants). ... Blow-holes or rough surface form ideal sites for organic growth to become established. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di vegetazione infestante localizzata in corrispondenza dei giunti dell'impalcato del ponte.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, scorrimento acque meteoriche.



Stato attuale



AIR VOIDS (VUOTI D'ARIA): a space in cement paste, mortar, or concrete filled with air; an entrapped air void is characteristically 1 mm or more in size and irregular in shape. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: presenza di cavità di piccole dimensioni che causano la discontinuità della superficie.

CAUSE: modalità esecutive, caratteristiche dell'aggregato, presenza di bolle d'aria intrappolate nel conglomerato in fase di confezionamento e di messa in opera e rilevate alla rimozione dei casseri.



Stato attuale

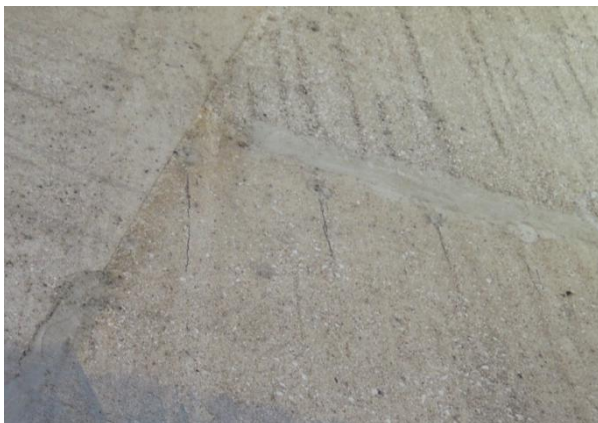


PLSTIC CRACKING (FESSURE DA ASSESTAMENTO O DA RITIRO PLASTICO): cracking that occurs in the surface of fresh concrete soon after it is placed and while it is still plastic. (ACI 201.1R-92)

SHRINKAGE CRACKING (FESSURE DA RITIRO): cracking of a structure or member due to failure in tension caused by external or internal restraints as reduction in moisture content develops, or as carbonation occurs, or both. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: soluzione di continuità ad andamento lineare, verticale e parallelo, sulla superficie del manufatto.

CAUSE: modalità esecutive, materiali costitutivi.



Stato attuale



SPALLING (ESPULSIONE DEL COPRIFERRO): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass caused by reinforcement corrosion. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di elementi tridimensionali derivante dalla corrosione delle barre di armatura. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato. Il fenomeno interessa piccole zone in corrispondenza dell'attacco con l'impalcato stradale.

CAUSE: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle barre di armatura, ridotto spessore del copriferro.



Stato attuale

4.3.4 LA SEMICALOTTA PER LA COPERTURA DELL'ABSIDE COSTANTINIANA DELLA BASILICA DI MASSENZIO

La semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio (1961-1962), realizzata negli anni Sessanta, è stata oggetto di alcuni interventi svolti tra gli anni Novanta e Duemila dalla Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma.

Come anticipato nel capitolo precedente, è stato visionato il materiale elaborato dalla Soprintendenza Archeologica di Roma, ed in particolar modo quello elaborato dall'architetto Giuseppe Morganti²³⁷. Da un colloquio avuto con i progettisti che si sono occupati del restauro della Basilica, l'architetto Morganti, l'ingegnere Bellini e l'architetto Giovannoni, è emerso che sono state due le fasi di intervento eseguite sulla semicalotta durante i lavori di restauro fatti in occasione del Giubileo del Duemila.

La prima fase è stata caratterizzata da un intervento di *Manutenzione straordinaria per la salvaguardia delle strutture monumentali e degli apparati artistici*²³⁸ riguardante il rifacimento dell'impermeabilizzazione della volta. La semicalotta era protetta da una guaina di asfalto che si era nel tempo screpolata²³⁹ (fig. 64); la presenza di una folta vegetazione la rendeva soggetta al rischio di ulteriore degrado. In quell'occasione, spiega l'architetto Morganti, si è proceduto anche al consolidamento del cordolo in calcestruzzo armato, alla base della semicalotta, il quale era stato realizzato senza gocciolatoio e si era quindi degradato a causa delle infiltrazioni d'acqua (fig. 65). L'acqua piovana, che scivolava sulla semicalotta, si infiltrava nel cordolo in c.a. e di conseguenza nella muratura in laterizio sottostante; dalle fotografie pre-intervento si nota il degrado dei ferri di armatura nonché la presenza di vegetazione sulla parte in laterizio che cresceva a causa delle acque meteoriche percolanti dalla semicupola (fig. 66). L'intervento è consistito nel reintegro della porzione degradata della trave anulare in calcestruzzo armato, nella realizzazione di una leggera pendenza per il convogliamento delle acque e nella creazione di un'aletta, sempre in c.a., per favorire

²³⁷ L'architetto Giuseppe Morganti, della Soprintendenza Archeologica di Roma, ha messo a disposizione l'intero archivio del suo ufficio da cui ho tratto materiale riguardante gli interventi svolti nel corso degli anni sulla semicalotta progettata da Musmeci.

²³⁸ ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria per la salvaguardia delle strutture monumentali e degli apparati artistici* 1996.

²³⁹ Le informazioni dettagliate sul tipo di impermeabilizzazione della semicupola sono state rintracciate nell'elaborato copiato a mano ed in particolare nel libretto delle misure, entrambi citati nel terzo capitolo: "impermeabilizzazione del "tipo speciale": 1) prima stratificazione di bitume ossidato, 2) prima applicazione di cartone cilindrato talcato, 3) seconda stratificazione di bitume ossidato, 4) seconda applicazione di cartone cilindrato talcato, 5) terza stratificazione di bitume ossidato, 6) terza applicazione di cartone cilindrato talcato, 7) quarta ed ultima stratificazione di bitume ossidato sabbato"; ASSBAR, *Libretto delle misure* 1961.

l'allontanamento delle stesse. Il filo esterno del cordolo che oggi si vede risulta in tal modo più alto rispetto a quello originario di Musmeci proprio a causa di quest'intervento di manutenzione, aspetto che altera in qualche modo l'idea dell'autore (fig. 67-70). Ad oggi, tutta l'acqua piovana della Basilica di Massenzio scivola sulla semicalotta, viene raccolta nel canale di gronda ed esce dai due doccioni posti agli estremi della semicupola.

Durante i lavori di manutenzione, si rende evidente una situazione 'anomala' al di sopra della semicalotta, in prossimità del giunto tra la volta in c.a. e le murature antiche; si tratta della presenza di una sorta di 'crostone' cementizio realizzato, probabilmente, in maniera sbrigativa, a completamento della semicalotta di Musmeci²⁴⁰ (fig. 71). La Soprintendenza di Roma negli anni Novanta ha provveduto a demolire tale porzione insistente sulla sommità della semicalotta risolvendo la situazione in altro modo. La problematica principale era data dal rischio di infiltrazione d'acqua attraverso il giunto progettato da Musmeci; per questo motivo, una volta rimosso il 'crostone' cementizio a copertura del giunto, si è reso necessario intervenire in modo diverso rispetto a come fatto nel 1961. La soluzione adottata negli anni Novanta era provvisoria (fig. 72) e la problematica si sarebbe risolta in modo definitivo solo qualche anno dopo, durante la seconda fase di lavori.

La seconda fase, quella degli anni Duemila, è consistita in un intervento strutturale realizzato in prossimità della parte superiore della semicalotta. Nonostante gli interventi degli anni Sessanta, infatti, la compagine soprastante la semicupola era rimasta in opera incerta; quest'ultima è stata ricostruita, quindi, dalla Soprintendenza di Roma come struttura semplicemente appoggiata, sovrapposta ma non gravante sulla leggera semicupola²⁴¹; è stata inserita una cortina laterizia sorretta da una parete sottostante in c.a. dalla forma ad arco ed appoggiata sui bipedali massenziani²⁴² (fig. 73). In quell'occasione, spiega Morganti, è stato rispettato sia il monumento antico sia l'intervento moderno di Musmeci, non gravando sulla semicalotta²⁴³ (fig. 74-79).

²⁴⁰ I ferri erano disposti in maniera non idonea in quanto mancava l'armatura di ripartizione nella seconda direzione. Tale lavoro viene realizzato in questo modo molto probabilmente per la mancanza di fondi.

²⁴¹ M. BELLINI 2003, p. 131.

²⁴² *Ibidem*, p. 132.

²⁴³ Dal colloquio con l'ingegnere Bellini è emersa l'ipotesi, da lui avanzata, che Musmeci abbia realizzato anche l'impalcato in c.a. copertura dello scavo antistante la Basilica di Massenzio in cui si trovano i resti degli *Horrea Piperataria*; non vi è, però, alcun tipo di documento a sostegno di tale ipotesi basata solo su alcuni particolari come, ad esempio, la presenza di travi in c.a. a geometria variabile o l'utilizzo di un letto di sabbia simile a quello realizzato per la costruzione del magrone di appoggio della semicalotta. Tutte le travi presentavano parte del copriferro mancante, e quindi ferri a vista; la corrosione in atto stava riducendo i ferri fino ad una sezione di 4 mm. L'avanzato stato di degrado in cui versava tale impalcato in c.a. ha costretto la

È utile fare alcune considerazioni sul sistema statico adottato da Musmeci per comprendere se possa o meno divenire causa di degrado della semicalotta. La scelta di Musmeci, come già detto, era finalizzata alla realizzazione di un giunto alla sommità della volta che non trasmettesse spinte alle murature antiche: “il bordo verticale anteriore si attesta sulle strutture antiche mediante un giunto in modo da escludere una trasmissione di forze. Il bordo verticale si considera quindi completamente libero; questa circostanza esclude che la volta possa comportarsi come una normale cupola; in essa si instaurerà invece un regime di sforzi caratterizzato dall'annullarsi di ogni sollecitazione sul bordo verticale”²⁴⁴. Questa scelta, dettata da una volontà personale, avrebbe potuto influire negativamente sulla durabilità della volta in cemento armato. Senza la presenza del giunto, o bordo libero, si ha un equilibrio tra la spinta della volta in c.a. e la spinta di contrasto da parte delle murature antiche (fig. 80). Si ha, quindi, un comportamento a cupola completo, caratterizzato da sforzi di pura compressione che risultano favorevoli sia per la muratura che per il calcestruzzo. Musmeci, invece, ha voluto evitare il contrasto tra le parti. La spinta proveniente dalla semicalotta in c.a. è quindi una spinta non contrastata (fig. 81). Come si ottiene, allora, l'equilibrio? La spinta va a finire sulla fascia terminale della semicalotta, in corrispondenza dell'attacco con le murature antiche; tale fascia terminale è assimilabile ad una trave orizzontale, fatta ad arco, che riceve queste spinte orizzontali, provenienti dalla volta in c.a. (fig. 82). Il diagramma dei momenti di tale fascia terminale è equivalente, quindi, a quello di una trave appoggiata con il carico uniformemente distribuito, immaginandola vista dall'alto; dal diagramma si evince che la zona tesa è situata vicino al bordo con i valori massimi nella parte centrale (fig. 83). C'è bisogno, quindi, di una resistenza a trazione prossima al bordo che viene garantita dall'armatura disposta lungo tutta la fascia terminale, con un infittimento nella parte centrale. Musmeci, nel disegno di progetto, indica con un'ombreggiatura la parte dove è necessaria una maggiore quantità di armatura (fig. 84). Senza il giunto il comportamento statico sarebbe stato, quindi, bidirezionale, senza trazioni e caratterizzato dal contrasto fra le parti, tra semicalotta e murature antiche. Nella soluzione adottata, invece, Musmeci mette in parte in trazione la semicalotta in calcestruzzo armato al fine di non interferire con le murature antiche. Il

Soprintendenza ad una riprogettazione totale di quest'ultimo basata un sistema di precompressione semplice; ASSBAR, *Ripristino della struttura in cemento armato dell'impalcato al piano di calpestio della Basilica di Massenzio in Roma*.

²⁴⁴ ASMZZ, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici* 1961.

contrasto fra le parti, che Musmeci ha voluto evitare, avrebbe generato tensioni minori in quanto ci sarebbe stato un comportamento a membrana completo.

Dalle informazioni avute durante il colloquio con i tecnici sopraccitati e dall'analisi del materiale fotografico, degli anni Novanta, si evince che la semicalotta di Musmeci, ad eccezione della trave anulare di base, non presentava alcuna fessurazione o lesione e non era in condizioni tali da richiedere interventi diretti su di essa. Se si prende in considerazione, quindi, solo la semicalotta, ciò porta ad affermare che, nonostante lo stress tensionale a cui era sottoposta, la soluzione strutturale pensata da Musmeci è risultata pienamente efficiente. Prendendo in considerazione, però, l'intero intervento di Musmeci, bisogna constatare che la mancanza di elementi di dettaglio finalizzati all'allontanamento delle acque meteoriche ha compromesso la durabilità del cordolo, cosa che avrebbe potuto danneggiare, in un secondo momento, l'intera struttura, nonché le murature antiche sottostanti.

Oggi, a distanza di quasi vent'anni dall'intervento di consolidamento, lo stato di degrado del cordolo in c.a. risulta minore di quello degli anni Novanta; di conseguenza anche la semicalotta risulta in perfette condizioni (fig. 85-91).

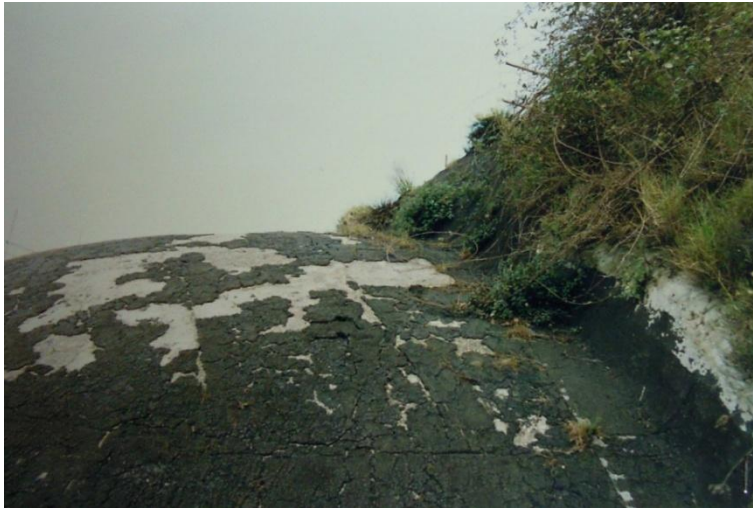


fig. 64 - Vista superiore della semicalotta, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria per la salvaguardia delle strutture monumentali e degli apparati artistici*, 1996)



fig. 65 - Vista superiore del cordolo in c.a. alla base della semicalotta, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 66 - Particolare del cordolo in c.a.; si nota il degrado dei ferri di armatura e la vegetazione sulla parte laterizia che è alimentata dalle acque meteoriche percolanti dalla semicalotta, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 67 - Il cordolo in c.a. dopo la scarifica del copriferro e la posa delle armature di bordo; integrazione di armatura in rete per riportare la trave anulare sul filo della muratura, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 68 - Sabbatura dei ferri e della superficie del cordolo in c.a., Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 69 - Ferri, getto reoplastico e casseri, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Impermeabilizzazione e convogliamento acque, indagini archeologiche. Documentazione fotografica*, 1996)



fig. 70 - Il cordolo in c.a. alla base della semicalotta dopo l'intervento, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 71 - La demolizione dei rinfianchi, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 72 - Ripresa muraria sui rinfianchi, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)

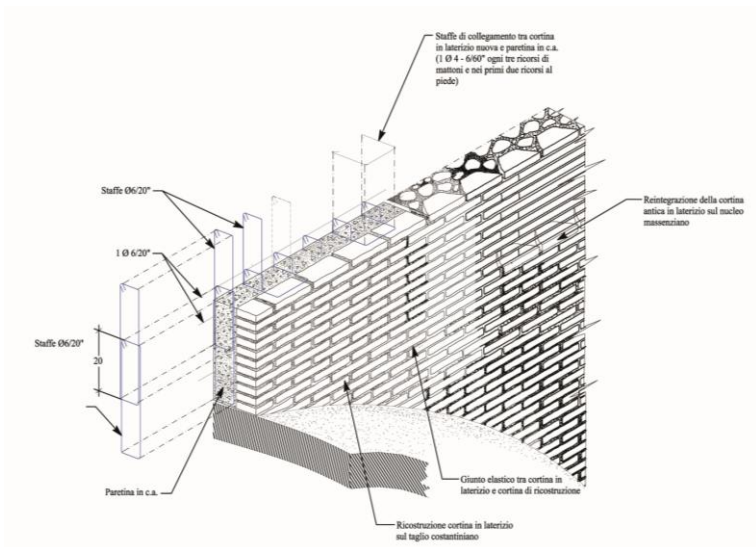


fig. 73 - Particolare assonometrico dell'intervento degli anni Duemila, Roma (M. BELLINI 2003)

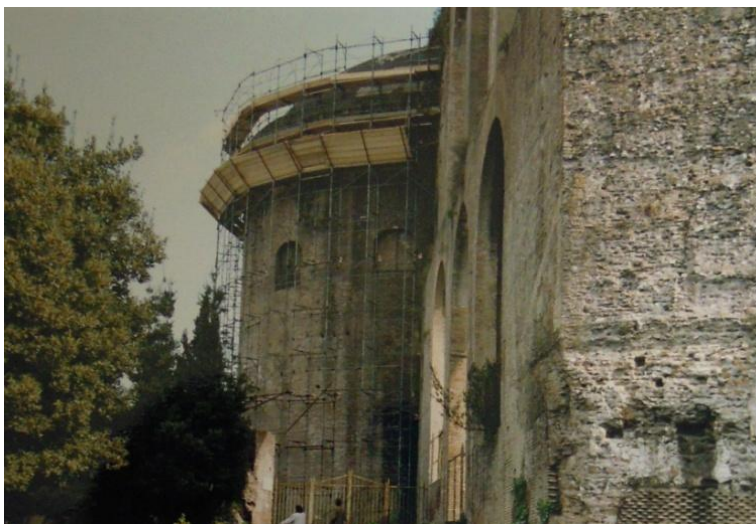


fig. 74 - La semicalotta durante i lavori, Roma (ASSBAR, anni Novanta)



fig. 75 - La semicalotta dopo l'intervento degli anni Novanta, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)

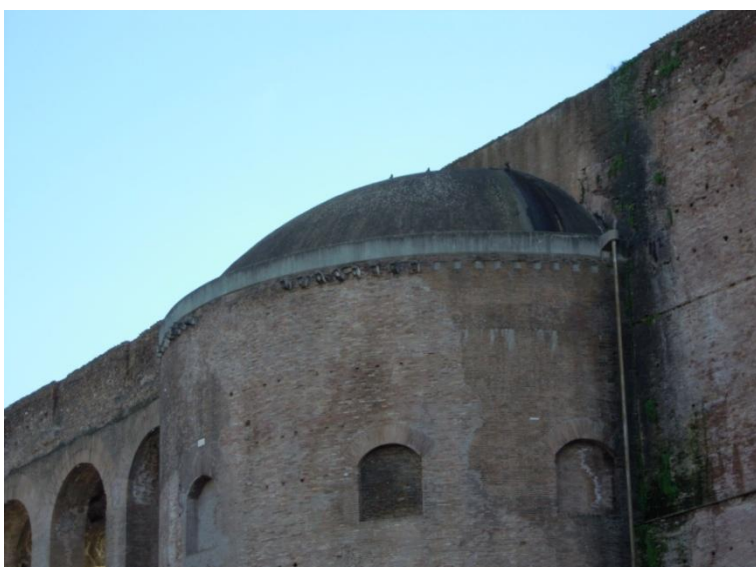


fig. 76 - Veduta esterna della semicalotta oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



fig. 77 - La semicalotta prima dell'intervento degli anni Novanta, Roma (ASSBAR, anni Novanta)



fig. 78 - La semicalotta durante i lavori, Roma (ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria...*, 1996)



fig. 79 - Veduta esterna della semicalotta oggi, Roma (foto dell'A., 2014)

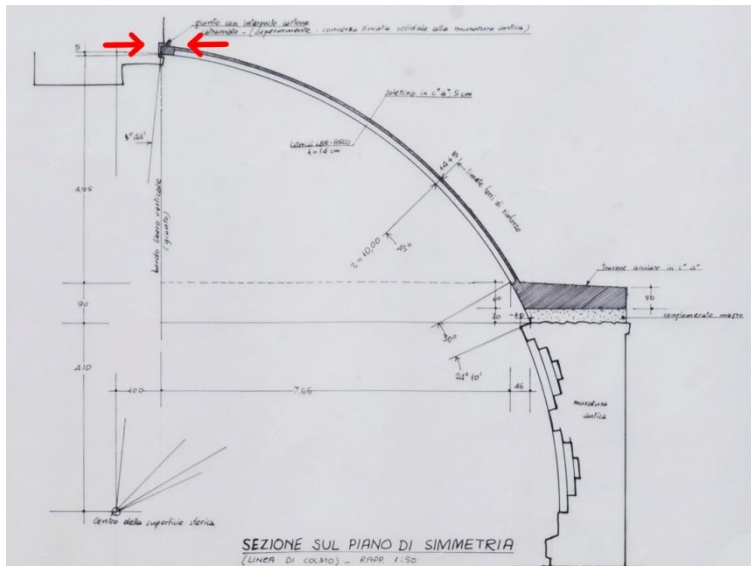


fig. 80 - Sezione della semicalotta; senza la presenza del giunto si ha un equilibrio tra la spinta della volta in calcestruzzo armato e la spinta di contrasto da parte delle murature antiche (rielaborazione dell'A., 2014)

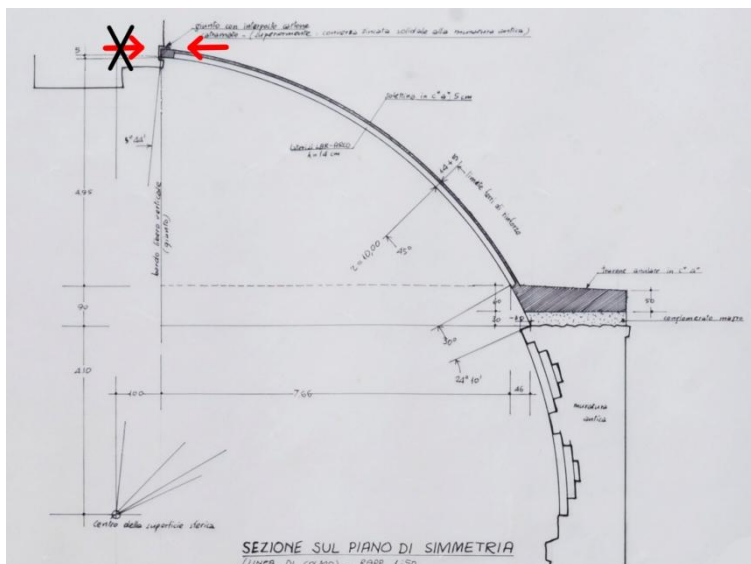


fig. 81 - Sezione della semicalotta; la presenza del giunto fa sì che la spinta proveniente dalla semicalotta in c.a. è una spinta non contrastata (rielaborazione dell'A., 2014)

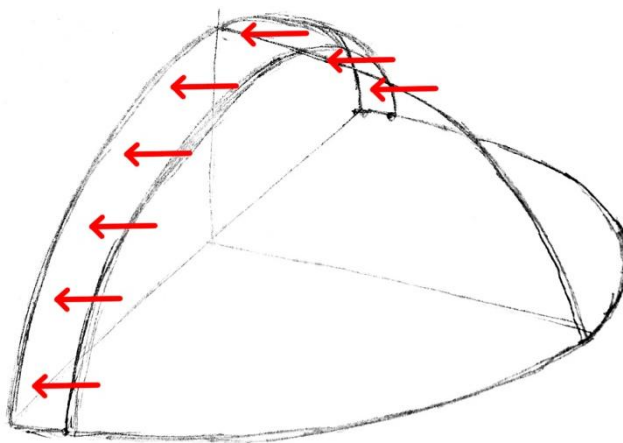


fig. 82 - Schizzo assonometrico della semicalotta; la spinta proveniente dalla semicalotta in c.a. va a finire sulla fascia terminale della semicalotta che è assimilabile ad una trave orizzontale, fatta ad arco (rielaborazione dell'A., 2014)

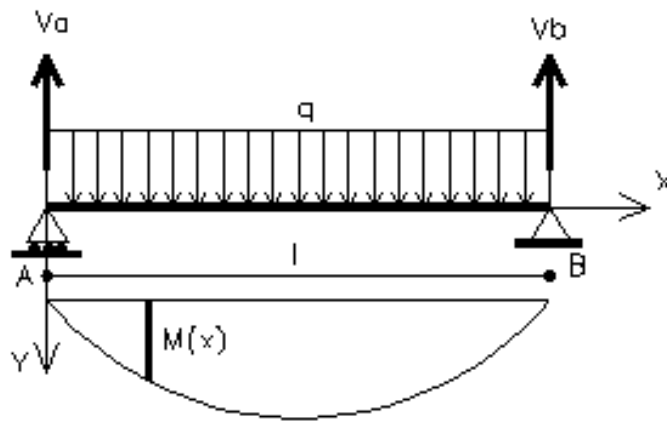


fig. 83 - Il diagramma dei momenti della fascia terminale della semicalotta è equivalente a quello di una trave appoggiata con il carico uniformemente distribuito; dal diagramma si evince che la zona tesa è situata vicino al bordo con i valori massimi nella parte centrale

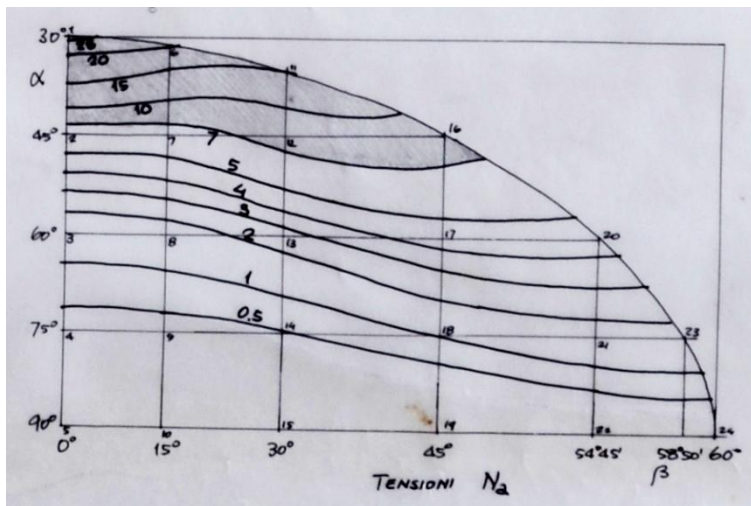


fig. 84 - Linee isostatiche e tensioni principali della semicalotta; l'ombreggiatura indica la parte dove è necessaria una maggiore quantità di armatura (ASMZZ, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31507)



fig. 85 - Veduta esterna della semicalotta oggi, Roma; foto dell'A., 2014.

fig. 86 - Particolare del cordolo in c.a. oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



fig. 87 - Particolare del cordolo in c.a. oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



fig. 88 - Particolare del cordolo in c.a. oggi, Roma (foto dell'A., 2014)





fig. 89 - Veduta interna della semicalotta oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



fig. 90 - Veduta interna della semicalotta oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



fig. 91 - Veduta interna della semicalotta oggi, Roma (foto dell'A., 2014)



Stato pre-intervento anni Novanta



Stato attuale



Stato attuale

ALTERAZIONE CROMATICA: variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore. È generalmente estesa a tutto il materiale interessato; nel caso l'alterazione si manifesti in modo localizzato è preferibile utilizzare il termine *macchia*. (UNI 11182:2006)

DISCOLORATION: departure of colour from that which is normal or desired. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: l'intero manufatto presenta ampie zone di colore diversificato sulla superficie della semicalotta e del cordolo in c.a. La patologia è presente anche nello stato attuale.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.

COLATURA: traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. (UNI 11182:2006)

TRICKLING: the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. The flow of rainwater will tend to wash some areas preferentially, resulting in significant differences in colour between clean and dirty areas. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di zone di colore scuro ad andamento verticale sulla superficie della semicalotta e ad andamento verticale e parallelo sulla superficie del cordolo in c.a.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, morfologia del manufatto.



DEPOSITO SUPERFICIALE: accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante. (UNI 11182:2006)

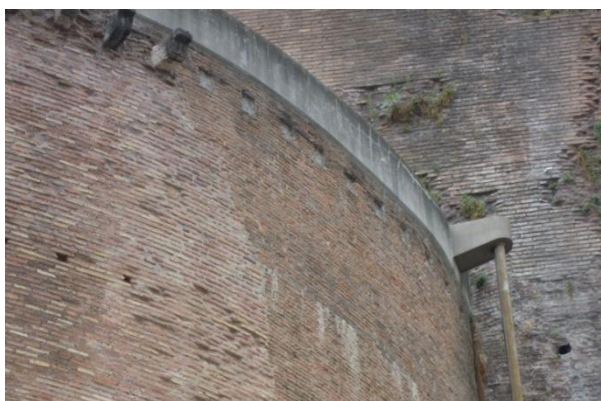
MINERAL DEPOSIT (DUST): with concrete, the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di materiale estraneo sulla superficie del manufatto.

CAUSE PROBABILI: inquinamento atmosferico, morfologia del manufatto.



Stato attuale



PLASTIC CRACKING (FESSURE DA ASSESTAMENTO O DA RITIRO PLASTICO): cracking that occurs in the surface of fresh concrete soon after it is placed and while it is still plastic. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: soluzione di continuità ad andamento lineare, sia verticale che orizzontale, che si forma sulla superficie del calcestruzzo ancora fresco dopo il getto o mentre è ancora plastico. Il fenomeno interessa l'intera superficie del cordolo in c.a.

CAUSE: variazione del volume del calcestruzzo, dosaggio dei componenti, stagionatura, ritiro, agenti atmosferici.



Stato attuale



Stato pre-intervento anni Novanta

PRESENZA DI VEGETAZIONE: presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei. (UNI 11182:2006)

BIOLOGICAL GROWTH: organic surface growth (micro-organism, algae, fungi, various types bacteria, lichens, plants). ... Blow-holes or rough surface form ideal sites for organic growth to become established. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: presenza di vegetazione infestante. La patologia è presente anche nello stato attuale ma solo in modo localizzato.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, scorrimento acque meteoriche.



Stato attuale



EROSIONE: asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si presenta compatta. (UNI 11182:2006)

EROSION: progressive disintegration of a solid by the abrasive or cavitation action of gases, fluids, or solids in motion. (ACI 201.1R-92)

DESCRIZIONE: perdita uniforme di materiale dalla superficie. Il fenomeno interessa l'intera superficie del cordolo in c.a.

CAUSE PROBABILI: agenti atmosferici, smaltimento e deflusso acqua meteorica, morfologia del manufatto.



Stato pre-intervento anni Novanta



SPALLING (ESPULSIONE DEL COPRIFERRO): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass caused by reinforcement corrosion. (CS TR 54)

DESCRIZIONE: perdita di elementi tridimensionali derivante dalla corrosione delle barre di armatura. La mancanza del copriferro rende visibili le barre di armatura corrose in modo generalizzato. Il fenomeno interessa l'intera superficie del cordolo in c.a.

CAUSE: carbonatazione del calcestruzzo, corrosione delle barre di armatura, ridotto spessore del copriferro.

Stato pre-intervento anni Novanta

CONSERVARE IL CONTEMPORANEO: RIFLESSIONI GENERALI E SUI CASI DI STUDIO

“Quando costruiamo, pensiamo che stiamo costruendo per sempre. E non facciamo per la nostra soddisfazione di oggi, né per la sola utilità del momento; che la nostra opera sia tale da far sì che i nostri discendenti ce ne ringrazino”

J. Ruskin¹

Dal quarto capitolo sembra chiaro che il dibattito su ‘come conservare il contemporaneo’ è ancora acceso. Abbiamo l’obbligo, oggi, di salvaguardare tutto il patrimonio storico, artistico ed architettonico del Novecento che ci è stato tramandato e che, già a distanza di pochi decenni, necessita di interventi di restauro, consolidamento e manutenzione che siano rispettosi dell’oggetto da recuperare. Si tratta di un patrimonio di grande rilievo, “in gran parte ancora sconosciuto e privo di strumenti di salvaguardia”². Con gli ultimi provvedimenti legislativi ci si sta muovendo in questa direzione ma il percorso è ancora lungo e sono molte le problematiche non ancora risolte.

Come si è visto, in modo particolare per l’architettura ‘recente’ in calcestruzzo armato, spesso la pratica del ripristino, cioè la sostituzione di calcestruzzo ammalorato o di parti degradate, è stata ed è ancora molto utilizzata per gli interventi locali di consolidamento strutturale. Il lavoro di restauro deve tener conto dell’opera nella sua interezza formale e strutturale e salvaguardare l’idea che l’autore ha voluto trasmettere attraverso la sua opera. “Occorre giudicare la struttura non soltanto entro i suoi termini tecnici, ma come parte dell’espressione architettonica”³, afferma Aldo Aveta riprendendo un concetto espresso da Rogers nel 1959.

“Nell’architettura contemporanea ... cosa conservare? L’oggetto, il progetto o la storia?”⁴. Secondo alcuni l’atto del conservare è un atto architettonico, secondo altri è una questione di archiviazione; non bisogna dimenticare, però, che il restauro è prima di tutto un atto critico.

Come è stato esposto nel quarto capitolo l’errore più comune, quando ci si trova ad operare su opere moderne, o comunque ‘recenti’, è quello di pensare quasi esclusivamente

¹ J. RUSKIN 2007.

² M. GUCCIONE, D. PESCE, L. SALVATORI PRINCIPE 1999, p. 95.

³ A. AVETA 2008, p. 30.

⁴ M. ODDO 2005, p. 80.

alla ri-funzionalizzazione dell'opera, in termini, quindi, economici. Spesso manca il 'riconoscimento del valore dell'opera' che finisce in secondo piano rispetto al valore che si dà alla stessa dal punto di vista economico; questo è il motivo per cui si è rischiate, e si rischia, la demolizione di opere di architettura moderna e contemporanea.

La pratica della demolizione è divenuta sempre più frequente nei vari paesi europei, come in Francia, in Olanda, in Gran Bretagna e in Germania e non solo per motivi economici ma anche per motivi di abbellimento, igiene e salute pubblica⁵. Se si pensa all'opera di Le Corbusier, ad esempio, sono diversi i casi in cui le ville da lui progettate sono state abbandonate per decenni dai proprietari e, alcune di esse, sono state demolite a causa degli alti costi delle operazioni di manutenzione⁶.

Come afferma Cesare Brandi, quando si parla di opera d'arte "il ristabilimento della funzionalità, se pure rientra nell'intervento di restauro, non ne rappresenta in definitiva che un lato o secondario o concomitante, mai quello primario e fondamentale che ha riguardo all'opera d'arte in quanto opera d'arte"⁷.

Purtroppo ci si interroga spesso se convenga conservare o meno alcune opere contemporanee esistenti; a volte demolire e ricostruire un edificio con la stessa funzione costa meno che restaurarlo ed adeguarlo alle funzioni e alle norme vigenti.

Tale problematica si ha anche per le opere di tipo infrastrutturale; si pensi al viadotto sul Polcevera a Genova (1967) di Morandi che, a soli vent'anni dalla sua realizzazione, ha subito un grosso intervento di consolidamento. Gli eccessivi costi degli interventi di monitoraggio e di consolidamento dell'opera nel corso degli anni hanno fatto pensare, in più occasioni, ad una sua demolizione tesa alla sostituzione di quel tratto autostradale con un altro viadotto.

"La questione del restauro del nuovo si può porre in termini efficaci se, prima di affrontare le problematiche inerenti il "come" restaurare le architetture nuove, se ripristinarle o mantenerle continuamente, ricostruirle o demolirle, si tenterà di rispondere al quesito sul "perché conservare il nuovo". Ma qui il problema della conservazione e del restauro del nuovo non dista in alcun modo da qualsiasi altro caso di restauro, posto che l'oggetto venga apprezzato, scelto e valutato per la sua storicità e per la sua figuratività.

⁵ C. DI BIASE 2009, p. 12.

⁶ Tra le opere di Le Corbusier si cita la casa Cook a Boulogne-sur-Seine (1925-1926) del muscista P. Ternisien modificata e in parte demolita dieci anni dopo la realizzazione, la villa Church (1927-1931) demolita nel 1965, la villa Besnus a Vaucresson totalmente modificata e ora irriconoscibile, e molte altre; M. ODDO 2005, pp. 83-84.

⁷ C. BRANDI 1977, p. 4.

Solo immettendo l'opera all'interno d'un circuito di manufatti cui si riconosce un valore culturale di memoria avremo sufficienti strumenti storico-critici di cui avvalerci per procedere, poi, alla scelta di come intervenire fattivamente su di essa”⁸.

La salvezza dell'architettura del XX secolo sta proprio nell'essere riconosciuta come materiale della storia, “parte del patrimonio che ogni paese tutela in nome della cultura e della memoria collettiva”⁹.

Nel caso specifico, il valore storico, artistico e culturale delle opere di Sergio Musmeci è certo, perché frutto di numerose ricerche, per le insite sperimentazioni di forme ‘inedite’ e ‘moderne’, per la loro espressività formale dovuta a precise considerazioni statiche, per le tecniche costruttive adottate e, ovviamente, in quanto testimonianza di un particolare momento storico. In particolar modo, il valore del ponte sul Basento viene confermato nel 2003 quando viene riconosciuto dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e dalla Soprintendenza Regionale della Basilicata come ‘Bene Culturale di interesse particolarmente importante’; l'intero archivio di Musmeci, inoltre, ottiene la dichiarazione di ‘notevole interesse storico’ dalla Soprintendenza Archivistica del Lazio già nel 1997¹⁰.

Come conservare, allora, l'architettura moderna e contemporanea? In che modo si può intervenire sul patrimonio ‘recente’? In realtà, “non si tratta della formazione di un nuovo settore: piuttosto il restauro del moderno è un nuovo tema che deve essere assimilato in vari settori esistenti”¹¹.

“È ormai coscienza comune nei restauratori - afferma Rosalba Ientile - che le ragioni e i modi della conservazione del nuovo patrimonio trovano la loro collocazione nella tradizione del restauro e che questo non occupa un posto diverso dalle architetture del passato. Come questione di metodo, si osserva nell'odierno dibattito, il restauro “del nuovo” ricade “nella più generale e matura riflessione sul restauro””¹².

Quando si parla di restauro, quindi, bisognerebbe pensare non solo al patrimonio antico ma anche a quello ‘recente’. Anche per l'architettura moderna e contemporanea “si pone la questione dell'autenticità. Essa non può prescindere dalle vicissitudini che la

⁸ S. SALVO 1999, p. 445.

⁹ C. DI BIASE 2009, pp. 19-20.

¹⁰ L'archivio Musmeci ottiene la dichiarazione di notevole interesse storico il 30 aprile 1997. All'epoca l'archivio era tenuto dagli eredi, a Roma, ed era consultabile tramite la Soprintendenza Archivistica del Lazio; *Sergio Musmeci* 2002, p. 92. Nel 2003 l'archivio Musmeci viene donato al MAXXI, dagli eredi, per le collezioni di architettura; M. GUCCIONE 2008, p. 2.

¹¹ S. PORETTI 1999, p. 12.

¹² R. IENTILE 2008, p. 265.

fabbrica attraversa nel tempo, pure non lungo, della sua esistenza, né dalle tecniche e dai materiali impiegati nel cantiere di costruzione, che documentano lo stato dell'arte, la sperimentazione dei nuovi procedimenti costruttivi, il farsi concreto dell'architettura del XX secolo”¹³.

La paura più comune è proprio quella delle tendenze al ripristino che affliggono il patrimonio ‘recente’. In realtà il restauro del moderno non intende solo ripristinare; “l’atto dell’intervento è piuttosto modifica soltanto di quel tanto che occorre”¹⁴ per la conservazione del bene e “in questo atto consiste la progettualità all’interno del restauro, che può essere solo critico-conservativo”¹⁵.

Ormai è abbastanza nota la vulnerabilità del calcestruzzo armato e oggi i capolavori degli architetti del moderno sono “tutti potenzialmente nella fascia di età da risultare vulnerabili: anche se le loro opere sono state realizzate con sapienza di cantiere tale da rallentare drasticamente il fenomeno della carbonatazione, questo è certamente innescato”¹⁶.

Potrebbe sembrare un concetto banale ma sembra doveroso ricordare che la durabilità delle opere in c.a. può essere migliorata con un intervento preventivo consistente in un attento programma di manutenzione che riduca al minimo gli interventi sul manufatto nel futuro.

Nel caso delle opere di Musmeci, nei casi analizzati, queste sono risultate in buone condizioni. Hanno contribuito a questo gli interventi di restauro e manutenzione effettuati? Sicuramente essi hanno in qualche modo arrestato o rallentato il degrado che, con il passare del tempo, avrebbe potuto estendersi e compromettere i manufatti per intero.

Nel caso della semicalotta per la copertura dell’abside costantiniana della Basilica di Massenzio, l’intervento di protezione della semicalotta e di consolidamento del cordolo in c.a. è stato necessario per la situazione di degrado che si era venuta a creare e che avrebbe potuto compromettere la durabilità dell’intera opera di Musmeci, nonché danneggiare le murature in laterizio sottostanti, a causa della continua esposizione agli agenti atmosferici e per l’assenza di una soluzione di dettaglio per l’allontanamento delle acque.

La realizzazione da parte della Soprintendenza del canale di gronda, tramite la creazione di un’aletta in c.a. in continuità con la trave anulare di base e la realizzazione dei

¹³ C. DI BIASE 2009, p. 22.

¹⁴ C. BELLANCA 2008, p. 51.

¹⁵ *Ibidem*.

¹⁶ T. IORI 2010, p. 5.

due doccioni posti agli estremi della semicupola, ha risolto il problema dello smaltimento dell'acqua piovana. L'intervento eseguito ha, però, in qualche modo modificato l'aspetto finale dell'opera di Musmeci, dato che il filo esterno del cordolo è oggi più alto rispetto a quello originario. Tuttavia si è visto come, oggi, non siano più presenti gli stessi problemi riscontrati negli anni Novanta.

Diverso è risultato l'intervento realizzato successivamente per la protezione del giunto tra la muratura antica e la semicupola. In questo caso, infatti, come già detto, è stata realizzata una struttura semplicemente appoggiata, sovrapposta ma non gravante sulla leggera semicalotta; avendo quindi riconosciuto il valore dell'opera di Musmeci, l'architetto Morganti ha tenuto a precisare che l'intervento è stato finalizzato al rispetto sia del monumento antico che dell'opera moderna¹⁷.

Come analizzato nel quarto capitolo, l'idea di Musmeci di staccare la semicalotta in c.a. dalle murature antiche è risultata pienamente efficiente dal punto di vista statico e ha dimostrato che si può utilizzare un materiale moderno senza interferire o intaccare il monumento storico romano.

Nel caso della chiesa di S. Alberto a Sarteano, così come per la semicalotta della Basilica di Massenzio, la copertura è risultata in perfette condizioni comprovando l'effettiva adeguatezza della soluzione strutturale adottata da Musmeci. Tuttavia, non è risultata altrettanto adeguata la protezione della copertura che ha dato problemi di infiltrazioni di acqua che avrebbero potuto compromettere in un secondo momento la delicata struttura sottile. Anche in questo caso l'intervento di protezione della copertura e di alcune superfici in c.a., in cui il copriferro è risultato inadeguato, ha garantito, a distanza di altri vent'anni, la durabilità dell'opera.

Contestualmente, come si evince dal sopralluogo, le superfici lisce e pure dei setti in calcestruzzo armato e del campanile, la cui caratteristica risiede nella loro essenzialità, necessitano di continua manutenzione proprio per l'assenza di soluzioni protettive di dettaglio contro l'aggressione dell'ambiente esterno.

Le aggiunte al corpo di fabbrica principale, emerse dal sopralluogo, come la baracca situata sul retro della chiesa, adiacente al campanile, e il fatto che la chiesa fosse chiusa, fanno pensare che il valore di quest'opera non sembra essere pienamente riconosciuto dai fruitori.

¹⁷ Colloquio con l'architetto Giuseppe Morganti.

Nel caso del viadotto sul Basento a Potenza, nonostante l'effettivo riconoscimento di 'bene culturale', l'opera e l'area risultano totalmente abbandonate. Lo stesso ponte non è mai stato valorizzato adeguatamente e, ad oggi, a quarant'anni di distanza e con diverse situazioni di degrado, non è stato ancora organizzato un effettivo intervento di conservazione che consideri l'opera nella sua interezza e nei suoi valori formali, culturali e storici.

Queste le parole di Alberto Musmeci, in un articolo del 2014, in cui dichiara la sua preoccupazione sul futuro dell'opera del fratello Sergio: "Negli oltre quarant'anni trascorsi dalla costruzione del ponte di Potenza, è stato più volte evidenziato come le strutture in calcestruzzo armato a vista siano vulnerabili agli agenti esterni. ... Non è un caso se nella normativa si è introdotto il concetto di "vita utile" di una struttura, periodo che va programmato, già in fase di progetto, in base all'importanza dell'opera, definita secondo una precisa classificazione. I fattori che influiscono su questa durata sono: tipo di calcestruzzo, compattezza del getto, classe di esposizione, ed entità del copriferro. Nel caso del ponte di Potenza, applicando a posteriori queste norme, avremmo una vita utile di 50 anni. Come si vede, non manca ormai molto, a meno che non si proceda a un risanamento. Penso alla vergogna di tutto un Paese che ha avuto la capacità progettuale, tecnica e amministrativa di realizzare opere di grande valore culturale se dovesse poi dismetterle o, in definitiva, demolirle. Del resto, analoghi ponti stradali in calcestruzzo di rilevante valore culturale, per esempio quelli progettati da Maillart negli anni trenta in Svizzera, dopo sessanta-settanta anni sono stati tutti soggetti a integrali interventi conservativi ai fini di ripristinarne la durabilità"¹⁸.

Rispetto agli altri casi di studio, per il ponte sul Basento non si è riusciti a reperire una specifica documentazione relativa ad interventi di manutenzione. Tuttavia, negli anni successivi alla costruzione si operò varie volte per contrastare il progressivo deterioramento del materiale; ne sono testimonianza i diversi rappezzi riscontrati sulla volta del ponte, alcuni dei quali eseguiti con la precisa volontà di riprodurre la tessitura dovuta alle impronte delle tavole delle casseforme.

Ad oggi, l'opera di Musmeci è in attesa di fondi finalizzati ad un effettivo progetto di conservazione e restauro; tale progetto dovrebbe, oltre che rallentare lo stato di degrado in cui versa oggi il ponte, dovuto all'aggressione dell'ambiente esterno e alla mancanza di una

¹⁸ <<http://www.ilquotidianodellabasilicata.it/news/cronache/723843/Chi-si-fara-carico-del-ponte.html>>, febbraio/2016.

costante manutenzione, valorizzare la sua unicità formale e materica e rendere l'opera pienamente fruibile risolvendo i problemi di sicurezza esistenti.

In tutti i casi di studio la concezione strutturale ideata da Musmeci si è dimostrata sempre adeguata; non si può dire lo stesso dei particolari inerenti gli elementi di protezione dagli agenti atmosferici e nei casi di copriferro insufficiente, considerando però la normativa attuale. Si è potuto constatare come gli interventi di restauro e manutenzione, nei casi della semicalotta della Basilica di Massenzio e della chiesa di Sarteano, siano riusciti a rallentare il degrado esistente e contribuiscano, ancora oggi, a proteggere l'opera e a renderla 'durevole'. Per il viadotto di Potenza, invece, la mancanza di manutenzione ha fatto sì che, oggi, il degrado in cui versa l'opera stia lentamente consumando e deteriorando il calcestruzzo della volta del ponte.

Nonostante all'epoca non esistessero tutte le norme odierne, che danno maggiore attenzione alla questione della durabilità, era insito nell'operatività del 'buon progettista' il concetto di 'opera duratura'.

Nel testo di Enzo Siviero dal titolo *Durabilità delle opere in calcestruzzo*, nel capitolo dedicato agli aspetti progettuali, si sottolinea quanto possa essere fondamentale per la durabilità di un'opera una corretta concezione strutturale. È in quest'occasione che viene citato Musmeci il quale "conscio della molteplicità di variabili che definiscono la struttura, intuisce che *la scienza delle costruzioni deve ormai essere estesa fino a divenire una teoria delle strutture comprendente la sintesi delle forme, e la loro valutazione sia dal punto di vista della sicurezza, ma anche della loro intrinseca economicità e aderenza ad un programma capace di dare senso al progetto*. Il concetto di durabilità deve dunque sottendere sin dall'inizio le scelte progettuali"¹⁹.

Bisogna sempre ricordare, infatti, che affinché un'opera 'duri' le 'buone pratiche' devono essere messe in campo fin dalla concezione architettonica e strutturale, estendendosi alla fase realizzativa e proseguendo con gli interventi programmati di manutenzione²⁰. "Pertanto la ricerca del progettista che interviene nel restauro di strutture moderne e nuove sarà rivolta essenzialmente a conservare e a bloccare la lenta consunzione della materia in cui è riposta parte della poetica dell'opera"²¹.

¹⁹ E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995, p. 158.

²⁰ A. AVETA 2008, p. 39.

²¹ S. CASIELLO 2008, p. 137.

APPARATI

REGESTO BIOGRAFICO

1926

Sergio Musmeci nasce il 2 giugno a Roma in una casa a Trastevere. Il padre Mariano (1898-1973), originario di Acireale (CT), vive a Roma fin da quando è molto piccolo e, dopo aver preso il diploma di ragioneria, lavora come funzionario della Banca Commerciale Italiana. La madre Elide (1900-1968), di origine mantovana, laureata in lettere alla “Sapienza”, è casalinga e si occupa della famiglia e dell’educazione.

1928

Nasce il fratello Alberto, secondogenito della famiglia Musmeci, che condividerà con Sergio la passione per l’astronomia.

1930

Tutta la famiglia, composta dai genitori, Mariano ed Elide, i figli, Sergio ed Alberto, i nonni materni ed una bisnonna, si trasferisce nel nuovo quartiere Ludovisi-Parioli, in via Tacchini 12.

1932

Nasce la sorella Alina (1932-1953).

1943

Sergio ottiene a pieni voti la maturità classica a soli 17 anni presso l’Istituto pubblico Regina Elena.

Da settembre del 1943 a giugno del 1944 Sergio rimane chiuso in casa per il pericolo delle retate, a causa dall’occupazione tedesca. Nonostante tutte le difficoltà del periodo, sono gli anni della Grande Guerra (1940-1945), Sergio riesce comunque a studiare autonomamente le materie del biennio universitario comune a tutte le facoltà scientifiche.

La passione, comune con il fratello Alberto, per i corpi celesti e le leggi che governano l’universo si manifesta fin dall’adolescenza tanto da spingerlo ad ipotizzare di studiare astronomia; sulla base delle condizioni economiche della famiglia, però, il padre consiglia ai due fratelli di frequentare la facoltà di Ingegneria, a quel tempo disciplina molto ambita in quanto capace di offrire numerose possibilità lavorative. Tale facoltà, inoltre, sembra offrire una risposta ai suoi interessi per le materie scientifiche.

1944

Finita l’occupazione tedesca, si iscrive alla facoltà di Ingegneria e, in un solo anno, conclude tutti gli esami del biennio (matematica, fisica, chimica, mineralogia e geologia). In quello stesso anno inizia a frequentare il triennio della Scuola di Applicazione per Ingegneri, settore civile-edile.

1948

Si laurea in ingegneria civile a soli ventidue anni, con una tesi sulle volte sottili di tipo scatolare ottenendo un premio, la Medaglia d’oro della Fondazione ing. Roberto Almagià, come miglior laureato dell’anno.

Subito dopo la laurea, inizia a lavorare presso lo studio dell’ingegnere Riccardo Morandi, dove conosce Zenaide Zanini (1926), studentessa di architettura e disegnatrice presso lo studio Morandi, che sposerà nel 1953.

1950

All'inizio dell'anno chiude il rapporto di collaborazione con Morandi ed inizia a lavorare per la Nervi&Bartoli a fianco di Pier Luigi Nervi.

Elabora un progetto per un ponte sull'Autostrada del Sole (1950, progetto).

Elabora il progetto strutturale della sala pubblica della Cassa di Risparmio a L'Aquila (1950-1953, opera realizzata) con gli architetti Serena Boselli e Massimo Parboni Arquati, che avevano ottenuto il primo premio al concorso.

Partecipa al concorso per il progetto di un ponte a Sasso Marconi (BO) (1950, progetto).

1951

Partecipa al concorso per il progetto del mercato del pesce e scuola Professionale Marittima a Pescara (1951, progetto) con l'architetto Serena Boselli; il gruppo ottiene il secondo premio ex aequo.

1953

Intraprende, per un breve periodo, un rapporto professionale con l'architetto Antonio Nervi, figlio di Pier Luigi Nervi; insieme organizzano uno studio che, con la chiusura della Nervi&Bartoli, viene successivamente acquisito dallo stesso Nervi, che in precedenza era stato loro consulente.

Nello stesso anno viene chiamato a prestare servizio militare frequentando il corso di ufficiale in aeronautica; si iscrive nuovamente all'università, alla Scuola di Ingegneria dell'Università di Roma, prendendo la sua seconda laurea, in ingegneria aeronautica, con una tesi sul progetto strutturale di una fusoliera del tipo "wide body" per un aereo da trasporto civile.

Sergio sposa, il 31 dicembre, Zenaide Zanini.

Tra il 1953 ed il 1955, presso lo studio Nervi soggiorna l'architetto Myron Goldsmith che Musmeci conosce personalmente diventandone amico.

Partecipa al concorso per il ponte sull'Arno a Firenze (1953, progetto). Il gruppo vincitore è quello formato da Giorgio Giuseppe Gori, Enzo Gori, Ernesto Nelli e Riccardo Morandi.

Elabora il progetto di massima per la copertura del palazzetto dello Sport a Roma (1953-1954, progetto) in collaborazione con l'architetto Annibale Vitellozzi; il progetto viene ripreso e realizzato da Nervi e Vitellozzi nel 1960.

Progetta, insieme ad Annibale Vitellozzi, la scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia (LT) (1953-1955, opera realizzata) redigendo, in particolare, il progetto strutturale della palestra.

Esegue i calcoli strutturali di un edificio a ballatoio del quartiere INA-Casa al Tuscolano a Roma (1953-1955, opera realizzata) progettato dagli architetti Adalberto Libera e Myron Goldsmith. In questa occasione Sergio conosce Libera.

1954

Sergio, appena ventottenne, inizia a lavorare in proprio insieme alla moglie Zenaide.

Partecipa al concorso per il progetto del fabbricato viaggiatori della Stazione di Napoli (1954, progetto) con gli architetti Annibale Vitellozzi e Vasco Fatigati; il gruppo ottiene il secondo premio ex aequo mentre il primo premio va al gruppo di Nervi, Zevi, Cocchia e Vaccaro.

Pubblica l'articolo *Coperture a volte paraboliche*, in "L'Ingegnere", n. 5, 1954, pp. 487-490.

1955

Nasce Fabio, il primo dei suoi quattro figli.

Elabora un progetto per la copertura del cinema Araldo nel quartiere Prenestino a Roma (1955, progetto), facente parte di un complesso edilizio progettato dall'ingegnere Carlo Ammannati.

Progetta alcuni edifici residenziali tra cui la casa colonica di Camillo Ungari a Terni (1955-1960 ca.) e l'abitazione di Clemente Fornasieri a La Storta a Roma (1955-1960 ca.). Si occupa di una variante di progetto per il villino di Giuseppe Strongoli in via dei Colli a Roma (1955-1956), progettato dall'ingegnere Carlo Ammannati.

Progetta, insieme all'architetto Adalberto Libera, il palazzo della Regione a Trento (1955-1962, opera realizzata).

Pubblica l'articolo *Cubierta de bovedas parabolicas para un mercado rural*, in "Revista informes de la construcion", n. 71, maggio 1955.

1956

Inizia la carriera accademica nella facoltà di Architettura dell'Università di Roma inizialmente con il ruolo di assistente del professor Tedone, professore di "Statica Grafica" e "Meccanica Razionale".

Elabora un progetto per il ponte sull'Astico a Vicenza (1956, progetto) con l'architetto Sergio Ortolani e l'ingegnere Antonio Cattaneo; il progetto viene esposto alla XI triennale di Milano e all'EXPO di Bruxelles.

Realizza lo stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta (LU) (1956, opera realizzata) con l'architetto Eugenio Montuori e l'ingegnere Leo Calini.

Progetta le strutture dell'albergo Michelangelo a Roma (1956-1958, opera realizzata) progettato dall'architetto Italo Bruni e dall'ingegnere Ugo Luccichenti.

Partecipa al concorso per il progetto del teatro D'Annunzio di Pescara (1956, progetto) con l'architetto Francesco Palpacelli. Il progetto ottiene il quarto premio.

Si occupa dei calcoli strutturali per il progetto della passerella pedonale della Valletta di Belfiore a Mantova (1956, progetto) progettata dagli architetti Italo Insolera e Mario Manieri Elia. Il gruppo ottiene il primo premio ex aequo.

Elabora un progetto per la copertura della chiesa del S. Cuore Immacolato di Maria a Bologna (1956, progetto), progettata dagli architetti Adalberto Libera e Giuseppe Vaccaro. La chiesa viene realizzata nel 1960 su progetto di Nervi e Vaccaro.

Pubblica l'articolo *Volte ad archi poligonali*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. I, n. 6, marzo-aprile 1956, pp. 880-882.

1957

Nasce Paolo, il secondo dei suoi quattro figli.

Realizza il cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore (VI) (1957, opera realizzata) con l'architetto Sergio Ortolani e l'ingegnere Antonio Cattaneo.

Elabora un progetto per la cappella dei Ferrovieri a Vicenza (1957-1958, progetto) con l'architetto Sergio Ortolani.

Elabora un progetto per il ponte sulla Dora Baltea a Ivrea (TO) (1957, progetto) con gli architetti Ludovico Quaroni, Bruno Zevi e l'ingegnere Adolfo De Carlo.

Progetta l'aerostazione intercontinentale di Roma-Fiumicino (1957, progetto).

Progetta, insieme a Zenaide Zanini, la casa economica per alloggi dipendenti P.T. a Belluno (1957-1958, progetto).

Partecipa al concorso per il progetto del ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma (1957-1959, progetto) con l'ingegnere Ugo Luccichenti.

Realizza il viadotto sull'autostrada Savona-Ceva (1957, opera realizzata).

Progetta le strutture del nucleo sud del quartiere Ponte Mammolo a Roma (1957-1962, opera realizzata) progettato dagli architetti Giuseppe Vaccaro e Francesco Palpacelli.

Si occupa dei calcoli strutturali del quartiere C.E.P. a Bologna (1957-1962, opera realizzata) progettato dagli architetti Giuseppe Vaccaro, Francesco Palpacelli, R. Amaturò, S. Brugnoli e A. Manzone.

Pubblica l'articolo *Ponte sull'Astico, presso Vicenza*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. II, n. 17, marzo 1957, pp. 829-831.

1958

Progetta la palestra del CONI a Frosinone (1958, progetto) con Zenaide Zanini.

Realizza la stazione di servizio "Aquila" a Bologna (1958, opera realizzata) con l'architetto Giuseppe Vaccaro.

Progetta la casa economica per alloggi dipendenti P.T. a Bressanone (BZ) (1958-1960, progetto).

Realizza le palazzine in via Vallombrosa a Roma (1958-1959, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Progetta un viadotto sull'autostrada Roma-Fiumicino (1958, progetto).

Partecipa al concorso per il progetto del teatro comunale di Alessandria (1958-1960, progetto) con l'architetto Francesco Palpacelli, come consulente tecnico. Il progetto ottiene il quarto premio.

Progetta i Mercati Generali di Roma (1958-1960, progetto) con gli architetti Annibale Vitellozzi, Massimo Castellazzi e Giulio Dall'Anese.

Partecipa al concorso per il progetto del ponte sull'Adige a Verona (1958-1961, progetto) con l'architetto Alberto Ferrante.

1959

Realizza la copertura del ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma (1959, opera realizzata) con gli architetti Enrico Del Debbio e Annibale Vitellozzi. Pier Luigi Nervi e Antonio Nervi realizzano la piscina coperta nel 1964.

Progetta la sede della Società Fiorentina in via Tiburtina a Roma (1959, progetto) con gli architetti Massimo Starita e Nicola Germano.

Partecipa al concorso per il progetto del palazzo del Lavoro a Torino (1959-1960, progetto) con gli architetti Carlo Mollino e Carlo Bordogna. Il gruppo presenta tre diverse proposte e ottiene il secondo premio. Il gruppo vincitore è quello formato da Pier Luigi Nervi, Antonio Nervi e Gino Covre.

Pubblica gli articoli: *Appalto concorso per il nuovo ponte a Tor di Quinto - Roma*, in "Notiziario di tecnica moderna applicata all'ingegneria civile", n. 2-3, settembre 1959, pp. 93-101; *Un hangar nell'aeroporto internazionale di San Francisco*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. V, n. 43, n. 1, maggio 1959, pp. 63-66.

1960

Nasce Mario, il terzo dei suoi quattro figli.

Elabora il progetto strutturale dell'auditorium del Centro Atomico di Bombay in India (1960-1961, opera realizzata) progettato dall'ingegnere Leo Calini e dagli architetti Eugenio Montuori e Radiconcini.

Elabora il progetto per la chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza (1960, opera realizzata) con l'architetto Sergio Ortolani, l'ingegnere Antonio Cattaneo e Zenaide Zanini. Il progetto ottiene il premio In-Arch nel 1962.

Realizza la villa di Camillo Ungari in corso Umberto I a Piediluco (TR) (1960, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Partecipa al concorso per la Biblioteca Nazionale di Roma (1960-1961, progetto) con gli architetti Giuseppe Vaccaro, Guido Gigli, Mario Manieri Elia e Manfredi Nicoletti. Il gruppo ottiene il primo premio per l'urbanistica ed il secondo premio ex aequo per l'architettura.

Realizza la sede centrale dell'INADEL a Roma (1960, opera realizzata) con l'architetto Mario Loreti.

Partecipa al concorso per il monumento ai Mille a Marsala (TP) (1960, progetto) con Zenaide Zanini. Il progetto ottiene il secondo premio.

Realizza la sede della Società TETI a Roma (1960-1962, opera realizzata) con gli architetti Alessandro Bombetti e Italo Bruni.

Partecipa al concorso per un cavalcavia tipo ANAS (1960-1962, progetto) con Zenaide Zanini. Il progetto viene segnalato.

Elabora il progetto strutturale del tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste (1960-1967, opera realizzata) progettato dall'architetto Antonio Guacci, con l'architetto Umberto Nordio e l'ingegnere Donato Abate.

Pubblica l'articolo *Copertura pieghettata per un'industria a Pietrasanta*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. V, n. 52, n. 10, febbraio 1960, pp. 710-713.

1961

Realizza la semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio a Roma (1961-1962, opera realizzata).

Realizza la sede della SIFIR in via Po a Roma (1961-1965, opera realizzata) con l'architetto Eugenio Montuori e l'ingegnere Leo Calini.

Progetta la copertura per lo stabilimento Ursus a Cassino (FR) (1961, progetto).

Realizza la villa Russo a Forio d'Ischia (NA) (1961-1965, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Pubblica l'articolo *Edificio in elementi prefabbricati a Roma*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. VI, n. 65, n. II, marzo 1961, pp. 726-731.

1962

Nasce Livia, quarta e ultima figlia.

Partecipa al concorso per il monumento alla Resistenza a Cuneo (1962, progetto) con Zenaide Zanini. Il progetto ottiene il primo premio ex aequo.

Progetta la villa Lombi-Russo a Nemi (RM) (1962, progetto) con Zenaide Zanini.

Progetta il palazzo dello Sport a Foggia (1962, progetto) con gli architetti Guido Gigli, Marcello Rutelli e Sergio Bonamico.

1963

Realizza il deposito Italtubi a Roma (1963-1965, opera realizzata) con gli ingegneri Aldo Livadiotti e Italo Stegher.

Progetta alcuni edifici residenziali tra cui la villa Russo a Pescasseroli (AQ) (1963-1964) con Zenaide Zanini, la villa di Giuseppe e Luigi Di Pauli a Spinaceto-Tre Pini a Roma (1963, progetto), la villa Pischiutta nel quartiere Appio-Pignatelli a Roma (1963-1964) e la casa in via Fogliano a Latina (1963-1965, progetto) con l'architetto Riccardo Cerocchi. Publica l'articolo *Chiesa parrocchiale di S. Benedetto in Vicenza*, in "Fede e arte - Rivista Internazionale di Arte Sacra", a. XI, n. 3, luglio-settembre 1963, pp. 350-353 (è presente un errore nel titolo che riporta S. Benedetto anziché S. Carlo).

1964

Realizza il ponte svincolo sull'autostrada Roma-Civitavecchia (1964, opera realizzata) con gli ingegneri Italo Stegher e Paolo Cogliati.

Progetta il capannone industriale della Società Arrigoni a Cesena (1964, progetto).

Elabora un progetto per la copertura della cappella del santuario Pontificio di Pompei (NA) (1964-1965, opera realizzata) con l'architetto Giovanbattista Azzone.

Realizza la centrale elettrica ENEL di Porto Torres a Sassari (1964-1965, opera realizzata) con Zenaide Zanini. Il progetto viene segnalato dall'In-Arch.

Partecipa al concorso per il progetto del ponte sul Lao a Laino Borgo (CS) (1964, progetto). Il progetto ottiene il secondo premio ex aequo In-Arch.

1965

Elabora il progetto strutturale della sala conferenze della Biblioteca Nazionale di Roma (1965-1971, opera realizzata), progettata dagli architetti Annibale Vitellozzi, Massimo Castellazzi e Giulio Dall'Anese.

Partecipa al concorso per il progetto del palazzo dello Sport a Firenze (1965-1966, progetto). Il progetto ottiene il secondo premio ex aequo.

Realizza l'edificio a torre per l'esposizione dei Mobili Kei a Latina (1965-1966, opera realizzata) con gli ingegneri Mario Desideri e Vittorio D'Erme.

Publica l'articolo *Edificio SIFIR in via Po a Roma*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XXXV, n. 6, giugno 1965, p. 339 sgg.

1966

Compra un motoscafo cabinato di 8 metri che chiama FAPAMALI, dalle iniziali dei nomi dei suoi quattro figli (Fabio, Paolo, Mario, Livia).

Progetta le strutture speciali del teatro Regio di Torino (1966-1970, opera realizzata) progettato dall'architetto Carlo Mollino con gli ingegneri Zavelani Rossi e Carlo Graffi.

Progetta il monumento alla Resistenza a Trieste (1966, progetto) con Zenaide Zanini.

Publica l'articolo *Premesse per una scelta razionale delle soluzioni strutturali*, in "Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino", a. XX, n. 12, dicembre 1966, pp. 412-414.

1967

Progetta il ponte sul Basento a Potenza (1967-1975, opera realizzata) con Zenaide Zanini e gli ingegneri Aldo Livadiotti ed Emanuele Filiberto Radogna.

Realizza la villa Grimaldi all'Eur (1967, opera realizzata).

Partecipa al concorso per il progetto del palazzo dell'Aria e dello Spazio a Parigi (1967, progetto) con l'architetto Maurizio Vitale.

Realizza il fabbricato Casa Fiorita in largo di Vigna Stelluti a Roma (1967-1970, opera realizzata) con gli architetti Alessandro Bombetti e Italo Bruni.

Pubblica l'articolo *Un particolare invariante delle strutture*, in "L'Ingegnere", n. 1, gennaio 1967, pp. 3-8.

1968

Ottiene l'incarico di insegnamento del corso di "Meccanica Razionale" nella facoltà di Architettura dell'Università di Roma.

Pubblica gli articoli: *Il minimo strutturale*, in "L'Ingegnere", a. XLII, n. 5, maggio 1968, pp. 407-414; *Su un modo d'introdurre i principi della statica*, in "Cultura e Scuola", n. 25, gennaio-marzo 1968.

1969

Ottiene l'incarico di insegnamento del corso di "Ponti e Grandi Strutture" nella facoltà di Architettura dell'Università di Roma.

Realizza il padiglione italiano per l'EXPO 70 di Osaka (1969-1970, opera realizzata) con lo Studio Valle.

Progetta la chiesa di S. Alberto a Sarteano (SI) (1969-1972, opera realizzata) con l'architetto Giancarlo Petrangeli.

Progetta una palazzina a Pordenone (1969, progetto) con Zenaide Zanini.

Partecipa al concorso per il progetto del palazzo dello Sport a Milano (1969, progetto) con gli ingegneri Riccardo Morandi, Vittorio Mosco, Italo Stegheer e Dagoberto Ortenzi.

Partecipa al concorso internazionale di idee, bandito dall'ANAS, per il progetto del ponte sullo Stretto di Messina (1969) con l'architetto Ludovico Quaroni per l'urbanistica, Zenaide Zanini per la direzione artistica e con gli architetti G. Barbaliscia, S. Dienna, F. P. D'Orsi Villani, G. Esposito e A. Quistelli. Il progetto ottiene il primo premio ex aequo insieme ad altri sei progetti vincitori.

Pubblica la voce: *Ponte* in "Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica", Istituto Editoriale Romano, Roma 1969, pp. 490-493.

Pubblica gli articoli: *Il Tempio mariano a Trieste*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XXXIX, n. 9, settembre 1969, pp. 641-662; *Caratteristiche principali delle strutture in cemento armato*, in "L'Ingegnere", a. XLIII, n. 7-8-9, luglio-agosto-settembre 1969, pp. 687-694.

1970

Sergio compra uno dei primi prototipi di computer, un Toshiba. Successivamente compra un HP 9815 con cui sviluppa alcuni giochi.

Elabora il progetto strutturale del grattacielo Elicoidale a New York (1970, progetto) con l'architetto Manfredi Nicoletti.

Progetta le strutture della chiesa di S. Gregorio Barbarigo a Roma (1970-1972, opera realizzata) progettata dall'architetto Giuseppe Vaccaro con G. Gualtieri.

Pubblica l'articolo *Un ponte sullo stretto per la città regione*, in "Moebius", a. III, n. 5, 1970, p. 110 sgg.

1971

Pubblica il libro *La statica e le strutture*, Cremonese, Roma 1971.

Realizza i serbatoi pensili a Torre a Pordenone (1971, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Realizza il ponte sul Vara a La Spezia (1971-1979, opera realizzata).

Pubblica gli articoli: *Il progetto di Sergio Musmeci (per il ponte sullo Stretto di Messina)*, in "L'Ingegnere", n. 11, 1971; *Il Ponte sullo Stretto di Messina. I problemi della struttura*, in "L'architetto italiano - Inarch", n. 5, ottobre 1971, p. 16 sgg; *La campata di 3000 metri di Musmeci*, in "L'Industria delle Costruzioni", a. V, n. 22, marzo-aprile 1971, pp. 10-25.

1972

Partecipa al concorso per il progetto dell'aerostazione di Genova (1972, progetto) con lo Studio Valle; il gruppo ottiene il primo premio ex aequo.

Progetta l'archivio di Stato di Firenze (1972, progetto) con Zenaide Zanini e gli architetti Sergio Bonamico ed Enzo Mastelloni.

Progetta serbatoi e piezometri a Zulia in Venezuela (1972, progetto) con Zenaide Zanini e l'architetto Giuseppe Dello Russo.

Partecipa al concorso per il progetto del centro direzionale "Latina Nova" a Latina (1972, progetto) con gli architetti Vittorio D'Erme, E. Lusana, M. Taviano e M. Valori. Il gruppo ottiene il secondo premio.

Elabora il progetto preliminare strutturale della chiesa a Gibellina Nuova (TP) (1972, opera realizzata), progettata e realizzata dagli architetti Ludovico Quaroni, Luisa Anversa e Giangiacomo D'Ardia.

Pubblica gli articoli: *Il calcolo elettronico e la creazione di nuove forme strutturali*, in "Architettura e computer", Bulzoni Editore, Roma 1972, pp. 147-166; *Un grattacielo elicoidale. Analisi strutturale*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XVII, n. 196, n. 10, febbraio 1972, pp. 656-660.

1973

Nell'anno accademico '73-'74 insegna anche nella facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona tenendo un corso di "Ponti e Grandi Strutture".

Realizza la sua villa, villa Musmeci, a Formello (RM) (1973-1975, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Elabora il progetto strutturale dell'edificio residenziale IACP ad Ancona (1973-1975, opera realizzata) progettato dall'architetto Sergio Lenci.

Elabora un progetto per il ponte a Marina di Classe (RA) (1973, progetto) con Zenaide Zanini.

Realizza l'albergo Castello a Martina Franca (TA) (1973, opera realizzata) con l'architetto Domenico Esposito.

Elabora un progetto per una piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma (1973, progetto) con Zenaide Zanini.

Pubblica gli articoli: *La previsione tecnologica*, in "L'architetto italiano - Inarch", numero speciale dedicato al piano di ricerche IT 30, a. III, n. 9, settembre 1973, pp. 22-24; *Le*

strutture speciali del nuovo Teatro Regio a Torino, in “Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino”, n. 9-10, settembre-ottobre 1973, p. 91 sgg.

1974

Elabora il progetto strutturale della casa a Cumiana (TO) (1974, opera realizzata) progettata dall'architetto Carlo Graffi.

Progetta le strutture del complesso residenziale di Bunker Hill a Los Angeles (1974) progettato dall'architetto Marco Zanuso.

Progetta le strutture del complesso sportivo a Vallo del Diano (SA) (1974, progetto).

Progetta il centro direzionale a Fontivegge (PG) (1974, progetto) con Zenaide Zanini.

Pubblica l'articolo *Finalità dell'architettura*, in “Università e Computer”, n. 5, 1974, p. 1.

1975

Elabora un progetto per il viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran (1975-1976, progetto) con Zenaide Zanini, l'architetto Sandro Morabito e la Pars Consulting Engineers di Teheran.

Partecipa al concorso per il progetto del ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano a Latina (1975-1976, progetto) con gli architetti Ernesto Lusana, V. D'Erme, R. Funiciello, G. Giovagnoli, A. Angelucci e M. De Cuni. Il gruppo ottiene il secondo premio.

1976

In seguito al terremoto del Friuli del 1976, viene chiamato dall'Associazione degli Industriali della Provincia di Pordenone per coordinare i tecnici per i sopralluoghi delle zone terremotate. Musmeci tiene, per tre giornate, un seminario di ingegneria antisismica che avrebbe dovuto contribuire ad arricchire le conoscenze di chi era impegnato nella ricostruzione del Friuli

Progetta la sala cinematografica a Jeddah (1976-1977, progetto) con l'architetto A. Morabito.

Pubblica l'articolo *Rapporto tra struttura e architettura nell'ultima esperienza dell'Architetto Libera: il palazzo della Regione a Trento*, in “L'Industria Italiana del Cemento”, a. XLVI, n. 4, aprile 1976, pp. 237-250.

1977

Elabora un progetto per il ponte sul Niger ad Ajaokuta in Nigeria (1977, progetto).

Partecipa al concorso per il progetto di un palazzo per uffici a Riyad (1977, progetto) con l'architetto Giorgio Biuso.

Partecipa al “Symposium on structures in historic buildings”, ICCROM, (Roma, 14-18 settembre), Roma 1977, con un intervento dal titolo *La Basilica di Massenzio e l'intervento del 1961 sull'abside di Costantino. (Restoration of the Basilica of Massenzio, The Basilica of Maxentius and the Works Carried Out on the Apse of Constantine in 1961)*.

Pubblica gli articoli: *Le strutture del nuovo Teatro Regio di Torino*, in “L'Industria Italiana del Cemento”, a. XLVII, n. 11, novembre 1977, pp. 885-906; *Ponte sul Basento a Potenza*, in “L'Industria Italiana del Cemento”, a. XLVII, n. 2, febbraio 1977, pp. 77-98.

1978

Pubblica il libro *Introduzione alle costruzioni antisismiche*, Associazione degli Industriali della Provincia di Pordenone, Grafiche Editoriali Artistiche Pordenonesi, Pordenone 1978.

Progetta l'hangar Jumbo a Beirut (1978).

Progetta un centro commerciale ad Amman (1978) con A. Paradisi.

Elabora il progetto strutturale del complesso direzionale "Due Torri" a Teheran (1978, progetto) progettato dagli architetti Francesco Palpacelli, B. Galletta, M. A. Gandolfo e P. Marcon.

Realizza il padiglione Oikos a Bologna (1978-1980, opera realizzata) con Zenaide Zanini.

Partecipa al concorso per il progetto di un ponte urbano sul Talvera a Bolzano (1978-1980, progetto) con Zenaide Zanini.

1979

Realizza alcune strutture sperimentali, poliedri o 'strutture reticolari spaziali', in occasione della "Settimana dell'Architettura" a Roma in piazza San Salvatore in Lauro.

Elabora un progetto per il ponte sul Natisone a Cividale (UD) (1979-1980, progetto) con Alessandro Tedeschi, Sergio Dell'Anna e Zenaide Zanini.

Pubblica gli articoli: *La genesi della forma nelle strutture spaziali*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 12-33; *Architettura e pensiero scientifico*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 34-36; *Le tensioni non sono incognite*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 36-47 (pubblicato nuovamente in "Parametro", a. XXXII, n. 237, 2002); *L'eredità di Pier Luigi Nervi*, in "L'industria delle costruzioni", n. marzo 1979, pp. 5-20.

1980

Compra un HP 85, un proto PC, programmabile in Basic con il video incorporato.

Elabora il progetto preliminare per il viadotto sull'Appia Antica a Roma (1980, opera realizzata). Il progetto, donato da Sergio Musmeci al Comune di Roma, viene finito e realizzato successivamente da Zenaide Zanini e dallo Studio CG.

Pubblica gli articoli: *Struttura e architettura*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 10, 1980, pp. 771-786 (pubblicato nuovamente in "Il cemento armato in Italia - Cinquant'anni dell'Industria Italiana del Cemento", AITEC, Associazione Italiana Tecnico Economica del Cemento, Roma 1980); *Strutture nuove per un materiale nuovo*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 5, 1980, pp. 345-360.

A maggio gli viene diagnosticato un tumore al cervello.

1981

Pubblica l'articolo *L'ispirazione strutturale di Eugenio Montuori*, in E. Montuori, "Eugenio Montuori architetto", Edizioni Over, Milano 1981.

Muore il 5 marzo, all'età di cinquantquattro anni.

ATTIVITÀ PROFESSIONALE DI SERGIO MUSMECI (1950-1980)									
N.	OPERA	ANNO	LUOGO	DEST. D'USO	INTERV.	COLLABORAZIONI	TIPOLOGIA	COMMITTENTI	NOTE
1	Ponte sull'Autostrada del Sole	1950	-	infrastruttura	progetto	-	progetto (app. concorso)	-	-
2	Sala pubblica della Cassa di Risparmio a L'Aquila	1950-1953	L'Aquila	terziario	prog. strutturale	arch. S. Boselli e M. Parboni Arquati (prog. arch.)	opera realizzata (concorso)	Cassa di Risparmio di L'Aquila	1° premio
3	Ponte a Sasso Marconi	1950	Sasso Marconi (BO)	infrastruttura	progetto	in collaborazione	progetto (concorso)	-	Partecipazione di P. L. Nervi e C. Cestelli Guidi al concorso
4	Mercato del pesce e scuola Professionale Marittima	1951	Pescara	terziario	prog. strutturale	arch. S. Boselli (prog. arch.)	progetto (concorso)	-	2° premio ex aequo
5	Ponte sull'Arno a Firenze	1953	Firenze	infrastruttura	progetto	in collaborazione	progetto (concorso)	-	1° premio: G. G. Gori, E. Gori, E. Nelli e R. Morandi
6	Palazzetto dello Sport a Roma	1953-1954	Roma	sport	prog. di massima	arch. A. Vitellozzi (prog. arch.)	progetto (concorso)	CONI	Il progetto viene ripreso e realizzato da P. L. Nervi e A. Vitellozzi nel 1960
7	Scuola Nazionale di Atletica Leggera del CONI a Formia	1953-1955	Formia (LT)	sport	prog. strutturale	arch. A. Vitellozzi (prog. arch.)	opera realizzata	CONI	-
8	Edificio a ballatoio del quartiere INA-Casa al Tuscolano	1953-1955	Roma	residenziale	calcoli strutt.	arch. A. Libera (prog. arch.) e M. Goldsmith	opera realizzata	Società Romana Beton S.p.A.	In questa occasione S. Musmeci conosce A. Libera

9	Fabbricato viaggiatori della Stazione di Napoli	1954	Napoli	terziario	prog. strutturale	arch. A. Vitellozzi e V. Fadigati (prog. arch.)	progetto (concorso)	-	2° premio ex aequo (1° premio: P. L. Nervi, B. Zevi, Cocchia e G. Vaccaro)
10	Cinema Araldo a Roma	1955	Roma	spettacolo	prog. strutturale	ing. C. Ammannati (prog. arch. del complesso edilizio)	progetto	-	-
11	Cassa di Risparmio di Roma "La Prebenda" a Frosinone	1955	Frosinone	terziario	calcoli strutt.	ing. G. Valchera e P. Bruno	-	Cassa di Risparmio di Roma	-
12	Case popolari a Torre Gaia	1955	Torre Gaia (RM)	residenziale	calcoli strutt.	-	opera realizzata	Istituto Autonomo Case Popolari prov. di Roma	-
13	Casa colonica a Terni	1955-1960 ca.	Terni	residenziale	-	-	-	propr. Camillo Ungari	-
14	Abitazione a La Storta a Roma	1955-1960 ca.	Roma	residenziale	-	-	-	propr. Clemente Fornasieri	-
15	Villino in via dei Colli a Roma	1955-1956	Roma	residenziale	variante di progetto	ing. C. Ammannati (prog. arch.)	opera realizzata	propr. Giuseppe Strongoli	-
16	Palazzo della Regione a Trento	1955-1962	Trento	terziario	prog. strutturale	arch. A. Libera (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
17	Ponte sull'Astico a Vicenza	1956	Caltrano (VI)	infrastruttura	progetto	arch. S. Ortolani e ing. A. Cattaneo	progetto (app. concorso)	Amministrazione provinciale di Vicenza	Progetto esposto alla XI triennale di Milano e all'EXPO di Bruxelles
18	Stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta	1956	Pietrasanta (LU)	industriale	progetto	arch. E. Montuori e ing. L. Calini	opera realizzata	-	-
19	Albergo Michelangelo	1956-1958	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. I. Bruni e ing. U. Luccichenti (prog. arch.)	opera realizzata	-	-

20	Teatro D'Annunzio di Pescara	1956	Pescara	spettacolo	prog. strutturale	arch. F. Palpacelli (prog. arch.)	progetto (concorso)	Comune di Pescara	4° premio
21	Passerella pedonale della Valletta di Belfiore a Mantova	1956	Mantova	infrastruttura	calcoli strutt.	arch. I. Insolera e M. Manieri Elia (prog. arch.)	progetto	Comune di Mantova	1° premio ex aequo
22	Base aeronavale Awti a Decimomannu	1956	Decimomannu (CA)	terziario	calcoli strutt.	-	opera realizzata	Comando Aeronautica Sardegna, direzione territoriale demanio	-
23	Chiesa del S. Cuore Immacolato di Maria a Bologna	1956	Bologna	religioso	prog. strutturale	arch. A. Libera e G. Vaccaro (prog. arch.)	progetto	-	L'edificio viene realizzato su progetto di P. L. Nervi e G. Vaccaro nel 1960
24	Cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore	1957	Montecchio (VI)	spettacolo	progetto	arch. S. Ortolani e ing. A. Cattaneo	opera realizzata	-	-
25	Cappella dei Ferrovieri a Vicenza	1957-1958	Vicenza	religioso	progetto	arch. S. Ortolani	progetto	-	-
26	Ponte sulla Dora Baltea a Ivrea	1957	Ivrea (TO)	infrastruttura	progetto	arch. L. Quaroni, B. Zevi e ing. A. De Carlo (prog. arch.)	progetto	-	-
27	Aerostazione intercontinentale di Roma-Fiumicino	1957	Fiumicino (RM)	terziario	-	-	progetto (app. concorso)	Ministero dei lavori pubblici, direzione generale della viabilità ordinaria e delle nuove costruzioni ferroviarie	-
28	Casa economica per alloggi dipendenti P.T. a Belluno	1957-1958	Belluno	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	Ministero delle poste e telecomunicazioni	-
29	Ponte sul Tevere a Tor di Quinto a Roma	1957-1959	Roma	infrastruttura	progetto	ing. U. Luccichenti	progetto (app. concorso)	-	1° premio: C. Cestelli Guidi

30	Chiesa della borgata San Cesareo	1957	-	religioso	calcoli strutt.	arch. Mazzanti	-	-	-
31	Viadotto sull'autostrada Savona-Ceva	1957	Prov. Savona	infrastruttura	progetto	-	opera realizzata	-	-
32	Nucleo sud del quartiere Ponte Mammolo a Roma	1957-1962	Roma	residenziale	prog. strutturale	arch. G. Vaccaro (prog. arch.), F. Palpacelli (prog. urb. e strutt.), R. Amaturò, S. Brugnoli e A. Manzone	opera realizzata	INA-Casa	-
33	Quartiere C.E.P. a Bologna	1957-1962	Bologna	residenziale	calcoli strutt.	arch. G. Vaccaro, F. Palpacelli, R. Amaturò, S. Brugnoli e A. Manzone (prog. arch.)	opera realizzata	C.E.P.	-
34	Palestra del CONI a Frosinone	1958	Frosinone	sport	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
35	Stazione di servizio "Aquila" a Bologna	1958	Bologna	terziario	prog. strutturale	arch. G. Vaccaro (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
36	Casa economica per alloggi dipendenti P.T. a Bressanone	1958-1960	Bressanone (BZ)	residenziale	progetto	-	progetto	Ministero delle poste e telecomunicazioni	-
37	Palazzine in via Vallombrosa a Roma	1958-1959	Roma	residenziale	prog. strutturale	arch. Z. Zanini (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
38	Viadotto sull'autostrada Roma-Fiumicino	1958	Fiumicino (RM)	infrastruttura	progetto	-	progetto (app. concorso)	-	-
39	Teatro comunale di Alessandria	1958-1960	Alessandria	spettacolo	consulenza tecnica	arch. F. Palpacelli (prog. arch.)	progetto (concorso)	-	4° premio
40	Mercati Generali di Roma	1958-1960	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. A. Vitellozzi, M. Castellazzi e G. Dall'Anese (prog. arch.)	progetto (app. concorso)	-	-

41	Ponte sull'Adige a Verona	1958-1961	Verona	infrastruttura	progetto	arch. A. Ferrante (prog. due soluzioni)	progetto (concorso)	Comune di Verona	-
42	Ristorante dello Stadio Olimpico del Nuoto a Roma	1959	Roma	sport	prog. strutturale	arch. E. Del Debbio e A. Vitellozzi (prog. arch.)	opera realizzata	CONI	P. L. Nervi e A. Nervi realizzano la piscina coperta nel 1964
43	Sede della Società Fiorentina in via Tiburtina a Roma	1959	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. M. Starita e N. Germano	progetto	-	-
44	Palazzo del Lavoro a Torino	1959-1960	Torino	terziario	progetto	arch. C. Mollino e C. Bordogna (prog. tre soluzioni)	progetto (concorso)	-	2° premio (1° premio: P. L. Nervi, A. Nervi e G. Covre 1959-1964, realizzato)
45	Auditorium del Centro Atomico di Bombay	1960-1961	Bombay (India)	spettacolo	prog. strutturale	ing. L. Calini, arch. E. Montuori e Radiconcini (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
46	Chiesa di S. Carlo del Villaggio del Sole a Vicenza	1960	Vicenza	religioso	progetto	arch. S. Ortolani, ing. A. Cattaneo e arch. Z. Zanini (prog. interni)	opera realizzata	-	Premio In-Arch (1962)
47	Villa Ungari in corso Umberto I a Piediluco	1960	Piediluco (TR)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	propr. Camillo Ungari	-
48	Biblioteca Nazionale di Roma	1960-1961	Roma	culturale	prog. strutturale	arch. G. Vaccaro, G. Gigli, M. Manieri Elia e M. Nicoletti (prog. arch.)	progetto (concorso)	-	1° premio (urbanistica) 2° premio ex aequo (architettura)
49	Sede centrale dell'INADEL a Roma	1960	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. M. Loreti	opera realizzata	-	-
50	Monumento ai Mille a Marsala	1960	Marsala (TP)	monumenti	progetto	arch. Z. Zanini e scult. F. Placidi	progetto (concorso)	-	2° premio
51	Sede della Società TETI a Roma	1960-1962	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. A. Bombetti e I. Bruni	opera realizzata	-	-

52	Cavalcavia tipo ANAS	1960-1962	-	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini	progetto (concorso)	Concessioni e Costruzioni Autostrade S.p.A.	Progetto segnalato
53	Tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste	1960-1967	Prov. Trieste	religioso	prog. strutturale	arch. A. Guacci (prog. arch.), arch. U. Nordio e ing. D. Abate	opera realizzata	-	-
54	Casa ad Albano	1960 ca.	Albano (RM)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
55	Edificio in via Trieste a Civitavecchia	1960 ca.	Civitavecchia (RM)	residenziale	ricostruzione	-	-	Propr. Zavota, Molini, Angelini ed altri	-
56	Sede della SIFIR in via Po a Roma	1961-1965	Roma	terziario	prog. strutturale	arch. E. Montuori e ing L. Calini (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
57	Stabilimento Ursus a Cassino	1961	Cassino (FR)	industriale	prog. strutturale	-	progetto	-	-
58	Semicalotta per la copertura dell'abside costantiniana della Basilica di Massenzio	1961-1962	Roma	edilizia storica	progetto restauro strutturale	-	opera realizzata	Comune di Roma V Rip. - V Div. AA.BB.AA.	-
59	Villa Russo a Forio d'Ischia	1961-1965	Forio d'Ischia (NA)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	Propr. Russo	-
60	Monumento alla Resistenza a Cuneo	1962	Cuneo	monumenti	progetto	arch. Z. Zanini	progetto (concorso)	-	1° premio ex aequo
61	Villa Lombi-Russo a Nemi	1962	Nemi (RM)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	-	Propr. Russo	-
62	Palazzo dello Sport a Foggia	1962	Foggia	sport	progetto	arch. G. Gigli, M. Rutelli e S. Bonamico	progetto (concorso)	-	-
63	Banca commerciale ad Accra	1963	Accra (Ghana)	terziario	-	-	-	-	-
64	Esattoria comunale a Latina	1963	Latina	terziario	-	-	-	Monte dei Paschi di Siena	-

65	Villa Russo a Pescasseroli	1963-1964	Pescasseroli (AQ)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	-	Propr. Russo	-
66	Deposito Italtubi a Roma	1963-1965	Roma	industriale	progetto	ing. A. Livadiotti e I. Stegher	opera realizzata	ITALTUBI	Progetto segnalato
67	Villa a Spinaceto-Tre Pini a Roma	1963	Roma	residenziale	progetto	-	progetto	Propr. Di Pauli Giuseppe e Luigi	-
68	Villa Pischiutta nel quartiere Appio-Pignatelli a Roma	1963-1964	Roma	residenziale	progetto	-	-	Propr. Pischiutta	-
69	Uffici Formex Italiana a Latina	1963-1964	Latina	terziario	prog. strutturale	-	opera realizzata	STAC	-
70	Casa in via di Fogliano a Latina	1963-1965	Latina	residenziale	prog. strutturale	arch. R. Cerocchi	progetto	Cooperativa Edilizia "Maria Rita"	-
71	Ponte svincolo sull'autostrada Roma-Civitavecchia	1964	Prov. Roma	infrastruttura	progetto	ing. I. Stegher e P. Cogliati	opera realizzata	-	-
72	Edificio Suore Francescane di via Giusti a Roma	1964	Roma	residenziale	prog. strutturale	-	opera realizzata	-	-
73	Palazzina in via Acton a Ostia Lido	1964-1965	Roma	residenziale	prog. strutturale	-	opera realizzata	Immobiliare S.Giusto	-
74	Capannone industriale della Società Arrigoni a Cesena	1964	Cesena	industriale	progetto	-	progetto (app. concorso)	Società Arrigoni	-
75	Stabilimento Industriale Cemamit a Ferentino	1964	Ferentino (FR)	industriale	calcoli strutt.	-	-	STAC	-
76	Fabbricato in corso Repubblica a Latina	1964-1965	Latina	residenziale	-	ing. M. Desideri	-	Propr. D'Ercole	-

77	Cappella del santuario Pontificio di Pompei	1964-1965	Pompei (NA)	religioso	prog. strutturale o calcoli strutt.	arch. G. Azzone	opera realizzata	-	-
78	Centrale elettrica ENEL di Porto Torres a Sassari	1964-1965	Sassari	industriale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	CESICA	Segnalato dall'In-Arch.
79	Ponte sul Lao a Laino Borgo	1964	Laino Borgo (CS)	infrastruttura	progetto	-	progetto (concorso)	-	2° premio ex aequo In-Arch - Domsic
80	Biblioteca Nazionale di Roma	1965-1971	Roma	culturale	prog. strutturale	arch. A. Vitellozzi, M. Castellazzi e G. Dall'Anese	opera realizzata	-	-
81	Palazzo dello Sport a Firenze	1965-1966	Firenze	sport	progetto	-	progetto (concorso)	-	2° premio ex aequo
82	Edificio a torre per l'esposizione dei Mobili Kei a Latina	1965-1966	Latina	terziario	prog. strutturale	ing. M. Desideri e V. D'Erme	opera realizzata	Propr. Cucchiarelli	-
83	Edificio per la Società Lario ad Ostia	1965	Roma	terziario	-	-	-	Società Lario	-
84	Copertura SIP a Latina	1965-1966	Latina	terziario	restauro	-	-	Impresa Grassetto	-
85	Teatro Regio di Torino	1966-1970	Torino	spettacolo	prog. strutture speciali	arch. C. Mollino (prog. arch.), ing. Zavelani Rossi e C. Graffi	opera realizzata	-	-
86	Monumento alla Resistenza a Trieste	1966	Trieste	monumenti	progetto	arch. Z. Zanini	progetto (concorso)	-	-

87	Nuovi centri parrocchiali al quartiere Tiburtino a Roma	1967	Roma	religioso	prog. di massima	arch. A. Magagnini e R. Latta	concorso	-	-
88	Ponte sul Basento a Potenza	1967-1975	Potenza	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini (dir. artist.), ing. A. Livadiotti e E. F. Radogna	opera realizzata	Consorzio del nucleo industriale di Potenza	-
89	Villa Grimaldi all'Eur	1967	Roma	residenziale	-	Simi	opera realizzata	-	-
90	Palazzo dell'Aria e dello Spazio a Parigi	1967	Parigi	terziario	progetto	arch. M. Vitale	progetto (concorso)	-	-
91	Fabbricato Casa Fiorita in largo di Vigna Stelluti a Roma	1967-1970	Roma	residenziale	prog. strutturale	arch. A. Bombetti e I. Bruni	opera realizzata	Propr. Dott. A. Leoni	-
92	Complesso residenziale in via Conca d'Oro a Roma	1969	Roma	residenziale	prog. strutturale	Studio Valle (prog. arch.)	-	Edina S.p.A.	-
93	Padiglione italiano per l'EXPO 70 di Osaka	1969-1970	Osaka	culturale	prog. strutturale	Studio Valle (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
94	Chiesa di S. Alberto a Sarteano	1969-1972	Sarteano (SI)	religioso	progetto	arch. G. Petrangeli	opera realizzata	-	-
95	Palazzina a Pordenone	1969	Pordenone	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
96	Centrale telefonica nella borgata Fogaccia a Roma	1969	Roma	industriale	progetto	-	-	-	-
97	Palazzo dello Sport a Milano	1969	Milano	sport	progetto	ing. R. Morandi, V. Mosco, I. Stegher e D. Ortenzi	progetto (app. concorso)	-	Partecipazione di P. L. Nervi e A. Nervi al concorso del 1969

98	Ponte sullo Stretto di Messina	1969	Messina	infrastruttura	progetto	arch. L. Quaroni (prog. urb.), G. Barbaliscia, S. Dierna, F. P. D'Orsi Villani, G. Esposito, A. Quistelli e Z. Zanini (dir. artist.)	progetto (concorso)	ANAS Ferrovie dello Stato	1° premio ex aequo di 6 progetti vincitori (partecipano anche P. L. Nervi e R. Morandi separatamente)
99	Grattacielo Elicoidale a New York	1970	New York (USA)	terziario	prog. strutturale	arch. M. Nicoletti (prog. arch.)	progetto	-	-
100	Sede ANAS	1970	Firenze	terziario	-	-	-	ANAS	-
101	Chiesa di S. Gregorio Barbarigo a Roma	1970-1972	Roma	religioso	prog. strutturale	arch. G. Vaccaro (prog. arch.) e G. Gualtieri	opera realizzata	-	-
102	Serbatoi pensili a Torre a Pordenone	1971	Torre (PN)	industriale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	CESICA	-
103	Ponte sul Vara a La Spezia	1971-1979	Baverino (SP)	infrastruttura	progetto	-	opera realizzata	Ministero dei lavori pubblici - Amministrazione provinciale di La Spezia	-
104	Autogrill a Potenza	1971-1972	Potenza	terziario	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
105	Aerostazione di Genova	1972	Genova	terziario	prog. strutturale	Studio Valle (prog. arch.)	progetto (concorso)	Consorzio autonomo del Porto di Genova	1° premio ex aequo
106	Grattacielo a Piazzale Loreto a Milano	1972	Milano	terziario	calcoli strutt.	-	-	Società Generale Immobiliare di Roma	-
107	Archivio di Stato di Firenze	1972	Firenze	culturale	progetto	arch. Z. Zanini, S. Bonamico e E. Mastelloni	progetto (concorso)	-	-
108	Serbatoi e piezometri a Zulia in Venezuela	1972	Zulia (Venezuela)	industriale	progetto	arch. Z. Zanini e G. Dello Russo	progetto	-	-
109	Centro direzionale "Latina Nova" a Latina	1972	Latina	terziario	progetto	arch. V. D'Erme, E. Lusana, M. Taviano, M. Valori	progetto (concorso)	-	2° premio

110	Chiesa a Gibellina Nuova	1972	Gibellina Nuova (TP)	religioso	prog. preliminare strutturale	arch. L. Quaroni, L. Anversa e G. D'Ardia (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
111	Piezometro a Borgaro Torinese	1972-1973	Borgaro Torinese (TO)	industriale	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	Società Generale Immobiliare di Roma	-
112	Villa Musmeci a Formello	1973-1975	Formello (RM)	residenziale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	Propr. Musmeci	-
113	Edificio residenziale IACP ad Ancona	1973-1975	Ancona	residenziale	prog. strutturale	arch. S. Lenci (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
114	Ponte a Marina di Classe	1973	Marina di Classe (RA)	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
115	Albergo Castello a Martina Franca	1973	Martina Franca (TA)	residenziale	progetto	arch. D. Esposito	opera realizzata	-	-
116	Piscina coperta tipo	1973	-	sport	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	Società Generale Immobiliare di Roma	-
117	Casa a Cumiana	1980	Cumiana (TO)	residenziale	prog. strutturale	arch. C. Graffi (prog. arch.)	opera realizzata	-	-
118	Complesso residenziale di Bunker Hill a Los Angeles	1974	Los Angeles (California)	residenziale	prog. strutturale	arch. M. Zanuso (prog. arch.)	progetto	-	-
119	Complesso sportivo a Vallo del Diano	1974	Vallo del Diano (SA)	sport	prog. strutturale	-	progetto	-	-
120	Centro direzionale a Fontivegge	1974	Fontivegge (PG)	terziario	progetto	arch. Z. Zanini	progetto	-	-
121	Viadotto a Shiraz-Persepolis in Iran	1975-1976	Shiraz (Iran)	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini, S. Morabito e Pars Consulting Engineers di Teheran	progetto	-	-

122	Ponte semisommerso nel lago del parco di Fogliano a Latina	1975-1976	Latina	infrastruttura	progetto	arch. E. Lusana, V. D'Erme, R. Funicello, G. Giovagnoli, A. Angelucci, M. De Cuni	progetto (concorso)	Comune di Latina	2° premio
123	Casa colonica a Colle Ridente a Guidonia	1975	Guidonia (RM)	residenziale	-	Studio Tecnico Musmeci	progetto	propr. Marcello Mellini	-
124	Servizi per il campo sportivo di Potenza	1976-1977	Potenza	sport	-	Studio Tecnico Musmeci	-	FIGC di Potenza	-
125	Casa Mariucci ad Avezzano	1976	Avezzano (AQ)	residenziale	prog. strutturale	arch. V. Leti Messina e M. T. Mariucci (prog. arch.)	-	propr. M. Teresa Mariucci	-
126	Sala cinematografica a Jeddah	1976-1977	Jeddah (Arabia Saudita)	spettacolo	progetto	arch. A. Morabito	progetto	-	-
127	Ponte sul Niger ad Ajaokuta	1977	Ajaokuta (Nigeria)	infrastruttura	progetto	-	progetto (app. concorso)	-	-
128	Edificio per uffici in piazza Mazzini a Lecce	1977-1978	Lecce	terziario	-	-	-	-	-
129	Palazzo per uffici a Riyadh	1977	Riyad (Arabia Saudita)	terziario	progetto	arch. G. Biuso	progetto (concorso)	-	-
130	Ponti sui fiumi Akanyaro e Nyabarongo in Ruanda	1978	Ruanda	infrastruttura	progetto	arch. S. Dell'Anna	progetto	-	-
131	Hangar Jumbo a Beirut	1978	Beirut (Libano)	terziario	-	-	-	-	-
132	Centro commerciale ad Amman	1978-1979	Amman (Giordania)	terziario	-	A. Paradisi	-	-	

133	Complesso direzionale "Due Torri" a Teheran	1978	Teheran (Iran)	terziario	prog. strutturale	arch. F. Palpacelli, B. Galletta, M. A. Gandolfo, P. Marcon (prog. arch.)	progetto	-	-
134	Svincoli ad Abu Dabhi	1978	Abu Dabhi (Emirati Arabi)	infrastruttura	-	-	-	-	-
135	Padiglione Oikos a Bologna	1978-1980	Bologna	culturale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	-	-
136	Ponte urbano sul Talvera a Bolzano	1978-1980	Bolzano	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini	progetto (concorso)	Comune di Bolzano	-
137	Casa di cura De Cesaris a Spoltore	1978-1980	Spoltore (PE)	residenziale	ampliamento	arch. Z. Zanini	opera realizzata	-	-
138	Studio nodi San Salvatore in Lauro per la settimana In/ Arch	1979	Roma	industriale	progetto	arch. Z. Zanini	opera realizzata	-	-
139	Ponte sul Natisone a Cividale	1979-1980	Cividale (UD)	infrastruttura	progetto	A. Tedeschi, S. Dell'Anna, Z. Zanini	progetto	Comune di Cividale del Friuli	-
140	Abitazione rurale in località "Tenuta La Rimedia"	1979	-	residenziale	prog. strutturale	O. Martelli, Castaldi	-	propr. Massimo Mariotti	-
141	Viadotto sull'Appia Antica a Roma	1980	Roma	infrastruttura	progetto	arch. Z. Zanini (cons. artist.), Studio CG (prog. esec.)	opera realizzata	Comune di Roma, Soprintendenza Archeologica di Roma	Il progetto viene donato da S. Musmeci al Comune di Roma

GLOSSARIO SUL DEGRADO DEL CALCESTRUZZO ARMATO¹

Dalla norma UNI 11182:2006² (Beni Culturali-Normal) si evincono una serie di patologie che, anche se si riferiscono ai materiali lapidei, possono essere associate al conglomerato cementizio:

ALTERAZIONE CROMATICA (DISCOLORATION): variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore. È generalmente estesa a tutto il materiale interessato; nel caso l'alterazione si manifesti in modo localizzato è preferibile utilizzare il termine “macchia”.

COLATURA (TRICKLING): traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo.

COLONIZZAZIONE BIOLOGICA (BIOLOGICAL GROWTH): presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macro organismi (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori).

CROSTA (INCRUSTATION): modificazione dello strato superficiale del materiale lapideo. Di spessore variabile, generalmente dura, la crosta è distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e spesso per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o pulverulento.

DEFORMAZIONE (WARPING): variazione della sagoma o della forma che interessa l'intero spessore del materiale.

DEPOSITO SUPERFICIALE (MINERAL DEPOSIT (DUST)): accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante.

DISGREGAZIONE, POLVERIZZAZIONE (SCALING): decoesione con caduta del materiale sotto forma di polvere o minutissimi frammenti. Talvolta viene utilizzato il termine “polverizzazione”.

DISTACCO (DELAMINATION): soluzione di continuità tra strati di un intonaco, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi.

EFFLORESCENZA (EFFLORESCENCE): formazione superficiale di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastro.

EROSIONE (EROSION): asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si presenta compatta.

ESFOLIAZIONE (EXFOLIATION): formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto e subparallele tra loro, dette sfoglie.

¹ C. DI BIASE, F. ALBANI 2009; C. DI BIASE, F. ALBANI, L. GUIDOLIN 2008.

² UNI 11182:2006, *Beni culturali, Materiali lapidei naturali ed artificiali, Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*, 2006.

FRATTURAZIONE O FESSURAZIONE (NON STRUCTURAL CRACKS): soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti.

FRONTE DI RISALITA: limite di migrazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. È generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante.

GRAFFITO VANDALICO: apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate.

INCROSTAZIONE, CONCREZIONE (STALACTITE O STALAGMITE): deposito stratiforme compatto e generalmente aderente al substrato. Si definisce "concrezione" quando il deposito è sviluppato preferenzialmente in una sola direzione non coincidente con la superficie lapidea e assume forma stalattitica o stalagmitica.

LACUNA: perdita di continuità di superfici.

MACCHIA (STAINING): variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale sia alla presenza di materiali estranei (acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostanze organiche, vernici, microrganismi per esempio).

MANCANZA (SPALL): perdita di elementi tridimensionali.

PATINA: modificazione naturale della superficie non collegabile a fenomeni di degrado e percepibile come una variazione del colore originario del materiale.

PATINA BIOLOGICA: strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato.

PRESENZA DI VEGETAZIONE: presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei.

SCAGLIATURA: presenza di parti di forma irregolare, spessore consistente e non uniforme, dette scaglie, generalmente in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario.

Per i fenomeni di degrado che si riferiscono alle strutture in calcestruzzo normale o armato, il riferimento è la *Guide for making a condition survey of concrete in service* dell'American Concrete Institute³ (1992-1997) e il *Diagnosis of deterioration in concretes structures* della Concrete Society⁴ (2000):

AIR VOIDS (VUOTI D'ARIA): a space in cement paste, mortar, or concrete filled with air; an entrapped air void is characteristically 1 mm or more in size and irregular in shape⁵. (ACI 201.1R-92)

BIOLOGICAL GROWTH (COLONIZZAZIONE BIOLOGICA): organic surface growth (micro-organism, algae, fungi, various types bacteria, lichens, plants)⁶. (CS TR 54)

CHALKING (SFARINAMENTO): formation of a loose powder resulting from the disintegration of the surface of concrete or of applied coating, such as cement paint⁷. (ACI 201.1R-92)

COLD-JOINT LINES (RIPRESE DI GETTO, GIUNTI): visible lines on the surface formed concrete indicating the presence of joints where a layer of concrete had hardened before subsequent concrete was placed⁸. (ACI 201.1R-92)

CRACK (FESSURAZIONE): a complete or incomplete separation along line of bars produced by reinforcement corrosion⁹. (CS TR 54)

CRACK (non structural) (FESSURAZIONE (non strutturale)): a complete or incomplete separation, of either concrete or masonry, into two or more parts produced by breaking or fracturing¹⁰. (ACI 201.1R-92)

1. **CHECKING (FESSURE AD ANDAMENTO PARALLELO):** development of shallow cracks at closely spaced but irregular intervals on the surface of plaster, cement paste, mortar, or concrete¹¹.
2. **CRAZE CRACKS (MICROFESSURE AD ANDAMENTO IRREGOLARE):** fine random cracks or fissures in a surface of plaster, cement paste, mortar, or concrete¹².

³ ACI 201.1R-92, *Guide for making a condition survey of concrete in service*, American Concrete Institute, 1992 (riapprovato nel 1997).

⁴ CS TR n. 54, *Diagnosis of deterioration in concretes structures*, Concrete Society Technical Report, 2000.

⁵ Piccoli e regolari vuoti dovuti alla presenza di bolle d'aria intrappolate nello strato superficiale del calcestruzzo durante la posa in opera e l'indurimento.

⁶ Crescita organica di superficie (microrganismi, alghe, funghi, vari tipi di batteri, licheni, piante).

⁷ Formazione di polvere sciolta risultante dalla disintegrazione della superficie di calcestruzzo o di rivestimento applicato, come la pittura cementizia.

⁸ Linea o discontinuità visibile sulla superficie del calcestruzzo indicativa di getti successivi dove uno strato di calcestruzzo era già indurito precedentemente alla posa in opera dello strato seguente.

⁹ Soluzione di continuità nel materiale derivante dall'espansione dei prodotti di corrosione delle barre di armatura.

¹⁰ Soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti.

¹¹ Fessure a distanza ravvicinata e a intervalli irregolari sulla superficie di un manufatto di calcestruzzo, di malta o su un intonaco.

¹² Sottili fessure sulla superficie di manufatto di calcestruzzo, di malta o su un intonaco.

3. D-CRACKING (FESSURE PRESSOCCHÉ PARALLELE): a series of cracks in concrete near and roughly parallel to joints, edges, and structural cracks¹³.
4. DIAGONAL CRACK (FESSURE AD ANDAMENTO DIAGONALE): in a flexural member, an inclined crack caused by shear stress, usually at about 45 degrees to the axis; or a crack in a slab, not parallel to either the lateral or longitudinal directions¹⁴.
5. HAIRLINE CRACKS (MICROFESSURE): cracks in a exposed concrete surface having widths so small as to be barely perceptible¹⁵.
6. PATTERN CRACKING (FESSURE A TRAMA IRREGOLARE): fine openings on concrete surfaces in the form of a pattern; resulting from a decrease in volume of the material near the surface, or increase in volume of the material below the surface, or both¹⁶.
7. PLASTIC CRACKING (FESSURE DA ASSESTAMENTO O DA RITIRO PLASTICO): cracking that occurs in the surface of fresh concrete soon after it is placed and while it is still plastic¹⁷.
8. SHRINKAGE CRACKING (FESSURE DA RITIRO): cracking of a structure or member due to failure in tension caused by external or internal restraints as reduction in moisture content develops, or as carbonation occurs, or both¹⁸.
9. TEMPERATURE CRACKING (FESSURE DA CONTRAZIONE TERMICA): cracking due to tensile failure, caused by temperature gradient in members subjected to external restraints or by temperature differential in members subjected to internal restraints¹⁹.
10. TRANSVERSE CRACKS (FESSURAZIONI TRASVERSALI): cracks that develop at right angles to the long direction of the member²⁰.

DELAMINATION (DISTACCO): a separation along a plane parallel to a surface as in the separation of a coating from a substrate or the layers of a coating from each other²¹. (ACI 201.1R-92)

¹³ Serie di fessure pressoché parallele in prossimità di giunti, spigoli e fessure strutturali.

¹⁴ In un elemento inflesso, fessurazione ad andamento inclinato, solitamente circa 45 gradi rispetto all'asse, causata da sforzo di taglio; in una lastra invece una soluzione di continuità con andamento non parallelo ai lati principali.

¹⁵ Fessure sulla superficie esterna di un manufatto in calcestruzzo con spessore così piccolo da essere difficilmente visibili.

¹⁶ Sottili fessure sulla superficie di manufatto in calcestruzzo a trama irregolare che derivano da una diminuzione del volume del materiale in prossimità della superficie o dall'aumento del volume sotto la superficie o entrambi.

¹⁷ Fessurazioni che si formano sulla superficie del calcestruzzo ancora fresco dopo il getto o mentre è ancora plastico.

¹⁸ Soluzioni di continuità dovute a contrazioni esterne o interne causate o dalla riduzione del contenuto di umidità o dal processo di carbonatazione o da entrambi.

¹⁹ Soluzioni di continuità dovuta a gradiente di temperature in elementi strutturali soggetti a contrazioni esterne o al differenziale di temperature in strutture soggette a contrazioni interne.

²⁰ Soluzioni di continuità che si sviluppano negli spigoli lungo la direzione dell'elemento.

²¹ Si veda la voce "Distacco".

DELAMINATION (DELAMINAZIONE): a separation along a plane parallel to a surface caused by the corrosion of reinforcing steel²². (CS TR 54)

DISCOLORATION (ALTERAZIONE CROMATICA): departure of colour from that which is normal or desired²³. (ACI 201.1R-92)

EFFLORESCENCE (EFFLORESCENZA): a deposit of salts, usually white, formed on a surface, the substance having emerged in solution from within either concrete or masonry and subsequently been precipitated by evaporation²⁴. (ACI 201.1R-92)

EXFOLIATION (ESFOLIAZIONE): disintegration occurring by peeling off in successive layers; swelling up and opening into leaves or plates like a partly opened book²⁵. (ACI 201.1R-92)

EROSION (EROSIONE): progressive disintegration of a solid by the abrasive or cavitation action of gases, fluids, or solids in motion²⁶. (ACI 201.1R-92)

HONEYCOMBS (VESPAI, NIDI DI GHIAIA): voids left in concrete due to failure of the mortar to effectively fill the spaces among coarse aggregate particles²⁷. (ACI 201.1R-92)

INCRUSTATION (CROSTA): a crust or coating, generally hard, formed on the surface of concrete or masonry construction or on aggregate particles²⁸. (ACI 201.1R-92)

MINERAL DEPOSIT (DUST) (DEPOSITO SUPERFICIALE): with concrete, the main weathering problem is unexpected variations in the visual appearance of the structure. Dust in the atmosphere will be deposited on the facade²⁹. (CS TR 54)

POPOUT : the breaking away of small portions of a concrete surface due to localized internal pressure which leaves a shallow; typical conical, depression³⁰. (ACI 201.1R-92)

RUST SPOTS (MACCHIE DI RUGGINE): a problem affecting the appearance of the structure produced by reinforcement corrosion³¹. (CS TR 54)

SCALING (DISGREGAZIONE, POLVERIZZAZIONE): local flaking or peeling away of the near-surface portion of hardened concrete or mortar³². (ACI 201.1R-92)

²² Soluzione di continuità parallela alla superficie derivante dalla corrosione delle barre di armature.

²³ Si veda la voce "Alterazione cromatica".

²⁴ Si veda la voce "Efflorescenza".

²⁵ Si veda la voce "Esfoliazione".

²⁶ Si veda la voce "Erosione".

²⁷ Vuoti lasciati nel calcestruzzo dovuti alla mancanza di malta che riempie gli spazi tra gli aggregati più superficiali.

²⁸ Si veda la voce "Crosta".

²⁹ Si veda la voce "Deposito superficiale".

³⁰ Espulsione di piccole parti della superficie del calcestruzzo dovuta a pressione interna localizzata che lascia tipiche depressioni poco profonde di forma conica.

³¹ Presenza di ruggine sulla superficie del calcestruzzo causata dalla corrosione delle barre di armature.

³² Si veda la voce "Disgregazione, polverizzazione".

SPALL (MANCANZA): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass by a blow, by the action of weather, by pressure, or by expansion within the large mass³³. (ACI 201.1R-92)

SPALLING (ESPULSIONE DEL COPRIFERRO): a fragment, usually in the shape of a flake, detached from a larger mass caused by reinforcement corrosion³⁴. (CS TR 54)

STAINING (MACCHIA): a cosmetic problem affecting the appearance of the structure (oxides, salts of copper and bronze, rust)³⁵. (CS TR 54)

STALACTITE (INCROSTAZIONE, CONCREZIONE): a downward-pointing deposit from as an accretion of mineral matter produced by evaporation dripping water from the surface of concrete, common shaped like an icicle³⁶. (ACI 201.1R-92)

TRICKLING (COLATURA): the flow of rainwater will tend to wash some areas preferentially, resulting in significant differences in colour between clean and dirty areas³⁷. (CS TR 54)

WARPING (DEFORMAZIONE): a deviation of a slab or wall surface from its original shape, usually caused by either temperature or moisture differentials or both within the slab or wall³⁸. (ACI 201.1R-92)

³³ Si veda la voce "Mancanza".

³⁴ Perdita di elementi tridimensionali derivante dalla corrosione delle barre.

³⁵ Si veda la voce "Macchia".

³⁶ Si veda la voce "Incrostazione, concrezione".

³⁷ Si veda la voce "Colatura".

³⁸ Si veda la voce "Deformazione".

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Sulla storia del calcestruzzo armato e sulle strutture resistenti per forma

C. DI BIASE 2013

C. Di Biase, *Manufatti della città breve. Tecniche e materiali del XX secolo nel paesaggio contemporaneo*, in “Tecniche di restauro. Aggiornamento”, Utet Scienze Tecniche, Torino 2013, pp. 195-236.

La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta 2013

La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta, a cura di P. Desideri, A. De Magistris, C. Olmo, M. Pogacnik, S. Sorace, Allemandi & C., Torino 2013.

La forma e la struttura. Felix Candela, gli scritti 2013

La forma e la struttura. Felix Candela, gli scritti, a cura di M. Savorra, Mondadori Electa, Milano 2013.

Tecniche di restauro. Aggiornamento 2013

Tecniche di restauro. Aggiornamento, a cura di S. F. Musso, Utet Scienze Tecniche, Torino 2013.

150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese 2011

150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese, a cura di T. Iori, A. Marzo Magno, Gangemi Editore, Roma 2011.

E. DOLARA 2011

E. Dolara, *Il Ponte del Risorgimento a Roma. Storia, cronaca, genialità, intuizione*, in “n.o.i.r. - Notiziario dell’Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma”, n. 486, dicembre 2011, pp. 22-29, <<https://www.ording.roma.it/notiziario/notiziario486.pdf>>.

M. ANTONUCCI 2010

M. Antonucci, *Pier Luigi Nervi studente e docente: la formazione dell’ingegnere-architetto*, in “La lezione di Pier Luigi Nervi”, Mondadori, Milano 2010, pp. 1-23.

Attilio Muggia. Una storia per gli ingegneri 2010

Attilio Muggia. Una storia per gli ingegneri, a cura di M. B. Bettazzi, P. Lipparini, Editrice Compositori, Bologna 2010.

R. EINAUDI 2010

R. Einaudi, *L’insegnamento di Pier Luigi Nervi: una testimonianza*, in “La lezione di Pier Luigi Nervi”, Mondadori, Milano 2010, pp. 45-61.

C. GRECO 2010

C. Greco, *Attilio Muggia e Pier Luigi Nervi, il fecondo e complesso rapporto tra un grande maestro e un discepolo illustre*, in “Attilio Muggia. Una storia per gli ingegneri”, Editrice Compositori, Bologna 2010, pp. 211-219.

T. IORI 2010

T. Iori, *Cemento armato autarchico*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 26, 2010, pp. 4-5.

La lezione di Pier Luigi Nervi 2010

La lezione di Pier Luigi Nervi, a cura di A. Trentin, T. Trombetti, Mondadori, Milano 2010.

C. DI BIASE 2009

C. Di Biase, *Storie di degrado*, in “Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento”, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009, pp. 11-74.

F. GIOVANNARDI 2009

F. GIOVANNARDI, *Arturo Danusso e l'onere delle prove*, Studio Giovannardi e Rontini, 2009, <www.giovannardierontini.it>.

Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento 2009

Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento, a cura di C. Di Biase, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009.

T. IORI 2009

T. Iori, *Pier Luigi Nervi*, collana L'architettura. I protagonisti, vol. 3, La Biblioteca di Repubblica-L'espresso, Milano 2009.

Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione 2008

Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione, a cura di R. Ientile, Franco Angeli, Milano 2008.

C. DI BIASE 2008

C. Di Biase, *Inconvenienti, difetti, patologia, deterioramento. Per una storia del degrado del calcestruzzo e calcestruzzo armato nelle costruzioni del Novecento*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 185-190.

S. GIEDION 2008

S. Giedion, *Spazio, Tempo ed Architettura. Lo sviluppo di una nuova tradizione*, (I ed. italiana 1953, I ed. 1941 *Space, Time and Architecture*), Hoepli, Milano 2008.

F. GIOVANNARDI 2008a

F. Giovannardi, *Con Eugene Freyssinet oltre i limiti del cemento armato*, Studio Giovannardi e Rontini, 2008, <www.giovannardierontini.it>.

F. GIOVANNARDI 2008b

F. Giovannardi, *Gustavo Colonnetti e le origini dell'ingegneria civile in Italia*, Studio Giovannardi e Rontini, 2008, <www.giovannardierontini.it>.

F. GIOVANNARDI 2008c

F. Giovannardi, *Pier Luigi Nervi e l'arte di costruire*, Studio Giovannardi e Rontini, 2008, <www.giovannardierontini.it>.

T. IORI 2008

T. Iori, *Il boom dell'ingegneria italiana: il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso*, in “Storia dell'Ingegneria”, Atti del 2° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria, (Napoli, 7-8-9 aprile 2008), Napoli 2008, pp. 1501-1510.

C. OCCELLI 2008

C. Occelli, *Architettura e cemento armato. Desiderio e realtà da E.E. Viollet-le-Duc a P.L. Nervi*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 428-436.

S. PALAORO, E. SIVIERO 2008

S. Palaoro, E. Siviero, *Relazione tra forma e struttura nella recente storia dei ponti italiani*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 2° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 7-8-9 aprile 2008), Napoli 2008, pp. 671-679.

Storia dell’Ingegneria 2008

Storia dell’Ingegneria, Atti del 2° Convegno Nazionale, a cura di S. D’Agostino, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 7-8-9 aprile 2008), Napoli 2008.

Adalberto Libera, Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali 2007

Adalberto Libera, Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali, a cura di M. Pogacnik, Nicolodi, Rovereto 2007.

F. GIOVANNARDI 2007

F. Giovannardi, *Robert Maillart e l’emancipazione del C.A.*, Studio Giovannardi e Rontini, 2007, <www.giovannardierontini.it>.

T. IORI 2007

T. Iori, *L’ingegneria del «miracolo italiano»*, in “Rassegna di Architettura e Urbanistica”, a. XLI, n. 121-122, gennaio-agosto 2007, pp. 33-59.

S. PORETTI 2007

S. Poretti, *Struttura e architettura nel modernismo italiano*, in “Rassegna di Architettura e Urbanistica”, a. XLI, n. 121-122, gennaio-agosto 2007, pp. 9-32.

M. B. BETTAZZI 2006

M. B. Bettazzi, *Bologna e l’innovazione tecnologica fra Otto e Novecento: note attorno al carteggio Attilio Muggia-Francois Hennebique*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 557-563.

C. CHIORINO, C. OSTORERO 2006

C. Chiorino, C. Ostorero, *Palazzo del Lavoro*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, a. XI, n. 19, gennaio 2006, p. 3.

A. DAMERI 2006

A. Dameri, *La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino: didattica e sperimentazione fra Otto e Novecento*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 347-357.

F. GIOVANNARDI 2006

F. Giovannardi, *Felix Candela costruttore di sogni*, Studio Giovannardi e Rontini, 2006, <www.giovannardierontini.it>.

R. GORI 2006

R. Gori, *Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 523-532.

T. IORI 2006

T. Iori, *L’Autostrada del Sole*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 1133-1142.

LE CORBUSIER 2006

Le Corbusier, *Verso una Architettura*, (I ed. italiana 1973, I ed. 1923 *Vers une Architecture*), a cura di P. Cerri, P. Nicolin, Longanesi, Milano 2006.

R. SERSALE 2006

R. Sersale, *Evoluzione del calcestruzzo di cemento da tempi remoti al giorno d’oggi*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 533-536.

E. SIVIERO, I. ZAMPINI 2006

E. Siviero, I. Zampini, *L’ingegneria dei ponti in Italia nel XX secolo*, in “Storia dell’Ingegneria”, Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, pp. 655-662.

Storia dell’Ingegneria 2006

Storia dell’Ingegneria, Atti del 1° Convegno Nazionale, a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore, L. M. Papa, Associazione Italiana di Storia dell’Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006.

R. CAPOMOLLA 2005-2006

R. Capomolla, *Il ponte sul Basento, ovvero l’invenzione di una forma “ancora senza nome”*, in “Casabella”, a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 12-19.

I bei tempi andati dell’ingegneria italiana 2005-2006

I bei tempi andati dell’ingegneria italiana, in “Casabella”, a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 4-35.

T. IORI 2005-2006

T. Iori, *L’ultimo ponte sul Tevere*, in “Casabella”, a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 20-25.

M. MARANDOLA 2005-2006

M. Marandola, *Un volteggio sopra la città*, in “Casabella”, a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 26-35.

S. PORETTI 2005-2006

S. Poretti, *Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere strutturali dalla ricostruzione al miracolo economico*, in "Casabella", a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 6-11.

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza 2004

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza, a cura di M. Guccione, Gangemi Editore, Roma 2004.

A. TURSÌ 2004

A. Tursi, *Il viadotto Musmeci, sintesi dell'architettura strutturale del '900*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 71-81.

T. IORI 2001

T. Iori, *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*, EdilStampa, Roma 2001.

La Facoltà di Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza" dalle origini al Duemila. Discipline, docenti, studenti 2001

La Facoltà di Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza" dalle origini al Duemila. Discipline, docenti, studenti, a cura di V. Franchetti Pardo, Gangemi Editore, Roma 2001.

F. PICCARRETA, L. SGUERRI 2001

F. Piccarreta, L. Sgueri, *I protagonisti della progettazione strutturale. Le esperienze progettuali, scientifiche e didattiche dalla fine della guerra agli inizi degli anni '90*, in "La Facoltà di Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza" dalle origini al Duemila. Discipline, docenti, studenti", Gangemi Editore, Roma 2001, pp. 497-541.

M. A. CHIORINO 2000a

M. A. Chiorino, *Morandi, Riccardo*, in "Dizionario dell'architettura del XX secolo", Umberto Allemandi & C., Torino 2000, pp. 353-356.

M. A. CHIORINO 2000b

M. A. Chiorino, *Nervi, Pier Luigi*, in "Dizionario dell'architettura del XX secolo", Umberto Allemandi & C., Torino 2000, pp. 417-424.

I. DELIZIA 2000

I. Delizia, *Musmeci, Sergio*, in "Dizionario dell'architettura del XX secolo", Umberto Allemandi & C., Torino 2000, pp. 398-399.

Dizionario dell'architettura del XX secolo 2000

Dizionario dell'architettura del XX secolo, a cura di C. Olmo, Umberto Allemandi & C., Torino 2000.

V. SCHINDLER 2000

V. Schindler, *Maillart, Robert*, in "Dizionario dell'architettura del XX secolo", Umberto Allemandi & C., Torino 2000, pp. 180-182.

M. NICOLETTI 1999

M. Nicoletti, *Sergio Musmeci. Organicità di forme e forze nello spazio*, Testo&Immagine, Torino 1999.

C. COLOMBO 1990

C. Colombo, *L'introduzione del cemento armato a Milano tra Otto e Novecento*, in "Il modo di costruire", Atti del I Seminario Internazionale, (Roma, 6-8 giugno 1988), EdilStampa, Roma 1990, pp. 421-432.

M. DOTTA ROSSO 1990

M. Dotta Rosso, *Sistema Hennebique nei primi trenta anni del Novecento a Torino*, in "Il modo di costruire", Atti del I Seminario Internazionale, (Roma, 6-8 giugno 1988), EdilStampa, Roma 1990, pp. 399-420.

Il modo di costruire 1990

Il modo di costruire, Atti del I Seminario Internazionale, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C. P. Scavizzi, (Roma, 6-8 giugno 1988), EdilStampa, Roma 1990.

R. NELVA, B. SIGNORELLI 1990

R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990.

J. A. FERNANDEZ ORDONEZ 1987

J. A. Fernandez Ordonez, *Eugene Freyssinet e il cemento armato*, in "Casabella", a. LI, n. 541, dicembre 1987, pp. 46-53.

G. BOAGA 1984

G. Boaga, *Riccardo Morandi*, Zanichelli, Bologna 1984.

Il ponte: infrastruttura territoriale 1981

Il ponte: infrastruttura territoriale, in "Casabella", numero monografico, a. XLV, n. 469, maggio 1981.

C. LA TORRE 1981

C. La Torre, *Opere e progetti italiani nel dopoguerra. Sergio Musmeci*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 40-43.

R. MORANDI 1981

R. Morandi, *Opere e progetti italiani nel dopoguerra. Riccardo Morandi*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 34-37.

Opere e progetti italiani nel dopoguerra 1981

Opere e progetti italiani nel dopoguerra, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 34-46.

G. PIZZETTI 1981

G. Pizzetti, *Alcune considerazioni sulla evoluzione del ponte*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 27-33.

S. ZORZI 1981

S. Zorzi, *Opere e progetti italiani nel dopoguerra. Silvano Zorzi*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 44-46.

S. MUSMECI 1980

S. Musmeci, *Struttura ed architettura*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 10, 1980, pp. 771-786.

S. MUSMECI 1979

S. Musmeci, *Le tensioni non sono incognite*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognite", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 36-47.

S. MUSMECI 1977a

S. Musmeci, *Le strutture del nuovo Teatro Regio di Torino*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XLVII, n. 11, novembre 1977, pp. 885-906.

S. MUSMECI 1977b

S. Musmeci, *Ponte sul Basento a Potenza*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XLVII, n. 2, febbraio 1977, pp. 77-98.

R. NELVA, B. SIGNORELLI 1977

R. Nelva, B. Signorelli, *Caratterizzazioni del cemento armato sistema Hennebique in Lombardia agli inizi del XX secolo*, in "Nuova Edilizia Lombarda", a. V, n. 12, dicembre 1977, pp. 26-28.

Das neue Frankfurt 1926-1931 e l'architettura della nuova Francoforte 1975

Das neue Frankfurt 1926-1931 e l'architettura della nuova Francoforte, a cura di G. Grassi, Dedalo, Bari 1975.

S. MUSMECI 1969

S. Musmeci, *Caratteristiche principali delle strutture in cemento armato*, in "L'Ingegnere", a. XLIII, n. 7-8-9, luglio-agosto-settembre 1969, pp. 687-694.

G. GUNSCHER 1966

G. Gunschel, *Freyssinet, Maillart, Dischinger, Finsterwalder*, Ullstein Bauwelt Fundamente, Berlino 1966.

E. TORROJA 1966

E. Torroja, *La concezione strutturale. Logica ed intuito nella ideazione delle forme*, (I ed. 1955 *Razon y ser de los tipos estructurales*), a cura di F. Levi, Utet, Torino 1966.

E. DE MEDIO 1962

E. De Medio, *Torroja*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XXXII, n. 7, luglio 1962, pp. 380-412.

M. BILL 1955

M. Bill, *Robert Maillart*, (I ed. 1949), Girsberger, Zurigo 1955.

P. L. NERVI 1955

P. L. Nervi, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano 1955.

E. TORROJA 1955

E. Torroja, *Razon y ser de los tipos estructurales*, Artes Graficas, Madrid 1957.

P. L. NERVI 1945

P. L. Nervi, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Edizioni della Bussola, Roma 1945.

R. MAILLART 1940

R. Maillart, *L'ingénieur et les autorités*, in "Vie, Art et Cité", n. gennaio-febbraio 1940.

Un metodo moderno di costruzione: le applicazioni del cemento armato 1903

Un metodo moderno di costruzione: le applicazioni del cemento armato, in "Emporium", n. marzo 1903, pp. 204-219.

F. PASETTI 1899

F. Pasetti, *Costruzioni di cemento armato*, in "Rivista di Artiglieria e Genio", n. novembre 1899, pp. 241-277.

A. F. JORINI 1893

A. F. Jorini, *Impiego del ferro nelle strutture murarie*, in "L'Edilizia Moderna", n. 5, 1893, p. 40.

Le costruzioni del sistema Monier 1893a

Le costruzioni del sistema Monier, in "L'Edilizia Moderna", n. 6, 1893, p. 48.

Le costruzioni del sistema Monier 1893b

Le costruzioni del sistema Monier, in "L'Edilizia Moderna", n. 7, 1893, p. 56.

Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier 1890

Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier, in "Rivista di Artiglieria e Genio", n. ottobre 1890, pp. 75-104.

Costruzioni di cemento e ferro (sistema Monier) 1887

Costruzioni di cemento e ferro (sistema Monier), in "Rivista di Artiglieria e Genio", n. novembre 1887, pp. 321-325.

Adesione straordinaria ed azione preservatrice della malta di cemento sul ferro 1885

Adesione straordinaria ed azione preservatrice della malta di cemento sul ferro, in "L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali", a. XI, n. ottobre 1885, pp. 157-158.

Su Sergio Musmeci

A. BRODINI 2013a

A. Brodini, «*A cominciare da Ictino*». *Sergio Musmeci, l'architettura e la storia*, in “The Gordian Knot. Studi offerti a Richard Schofield”, Campisano Editore, Roma 2013, pp. 309-319.

A. BRODINI 2013b

A. Brodini, *Le coperture a grande luce nell'opera di Sergio Musmeci*, in “La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta”, Allemandi & C., Torino 2013, pp. 253-264.

A. FARESIN 2013

A. Faresin, *Capolavoro vicentino. Chiesa di San Carlo a Villaggio del Sole*, in “In Concreto”, n. 112, maggio-giugno 2013, pp. 1-9, <www.ingenio-web.it>.

La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta 2013

La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta, a cura di P. Desideri, A. De Magistris, C. Olmo, M. Pogacnik, S. Sorace, Allemandi & C., Torino 2013.

Chiesa parrocchiale di San Carlo. Una tenda al Villaggio del Sole, Vicenza 2012

Chiesa parrocchiale di San Carlo. Una tenda al Villaggio del Sole, Vicenza, depliant, Vicenza 2012, <www.villaggioinsieme.it>.

S. GABRIELLI 2010-2011

S. Gabrielli, *I ponti di Sergio Musmeci. Dalle carte degli archivi di architettura del MAXXI*, tesi di Laurea in “Ingegneria Edile - Architettura”, Università di Roma Tor Vergata, relatore Prof. Rinaldo Capomolla, Roma 2010-2011.

E. BRUSUTTI 2010

E. Brusutti, *La forma si racconta: la chiesa di San Carlo*, in “Villaggio del Sole. Un quartiere d'autore”, Vicenza 2010, pp. 61-65, <www.villaggioinsieme.it>.

F. GIOVANNARDI 2010

F. Giovannardi, *Sergio Musmeci. Strutture fuori dal coro*, Studio Giovannardi e Rontini, 2010, <www.giovannardierontini.it>.

Villaggio del Sole. Un quartiere d'autore 2010

Villaggio del Sole. Un quartiere d'autore, a cura di Associazione Villaggio insieme, Vicenza 2010, <www.villaggioinsieme.it>.

Abitare il villaggio. Memoria e storia 2009

Abitare il villaggio. Memoria e storia, a cura di Associazione Villaggio Insieme, Vicenza 2009, <www.villaggioinsieme.it>.

R. BRUSUTTI 2009

R. Brusutti, *La Parrocchia di San Carlo*, in “Abitare il villaggio. Memoria e storia”, Vicenza 2009, pp. 265-276, <www.villaggioinsieme.it>.

Il Villaggio del Sole e la città di Vicenza 2009

Il Villaggio del Sole e la città di Vicenza, a cura di A. Cattaneo, Vicenza 2009, <www.villaggioinsieme.it>.

M. GUCCIONE 2008

M. Guccione, *Archivi dell'Architettura Moderna Italiana. Archivio Sergio Musmeci, MAXXI architettura*, Roma, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", a. XII, n. 22, gennaio 2008, p. 2.

Adalberto Libera, Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali 2007

Adalberto Libera, Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico decoro e nuove figure strutturali, a cura di M. Pogacnik, Nicolodi, Rovereto 2007.

R. CAPOMOLLA 2007

R. Capomolla, *Le «forme organiche strutturali». Materia e spazio nelle opere di Sergio Musmeci*, in "Rassegna di Architettura e Urbanistica", a. XLI, n. 121-122, gennaio-agosto 2007, pp. 135-148.

Chiesa parrocchiale a Gibellina Nuova. Ludovico Quaroni e Luisa Anversa con Giangiacomo D'Ardia e Sergio Musmeci 2007

Chiesa parrocchiale a Gibellina Nuova. Ludovico Quaroni e Luisa Anversa con Giangiacomo D'Ardia e Sergio Musmeci, a cura di G. De Simone, Regione Siciliana, Assessorato Beni Culturali Ambientali e Pubblica Istruzione, Dipartimento Regionale per l'Architettura e l'Arte Contemporanea, Università degli Studi di Palermo, Facoltà di Architettura, Palermo 2007, <www.incompiutosiciliano.org>.

L. SPINELLI 2007

L. Spinelli, *Quando l'infrastruttura diventa paesaggio*, in "Domus", ottobre 2007, <www.domusweb.it>.

Architetture italiane del secondo Novecento. DARC censimento e catalogazione 2006

Architetture italiane del secondo Novecento. DARC censimento e catalogazione, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", a. XI, n. 19, gennaio 2006, p. 12.

R. CAPOMOLLA 2006

R. Capomolla, *Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico*, in "Storia dell'Ingegneria", Atti del 1° Convegno Nazionale, Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria, (Napoli, 8-9 marzo), Napoli 2006, pp. 1143-1152.

R. CAPOMOLLA 2005-2006

R. Capomolla, *Il ponte sul Basento, ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome"*, in "Casabella", a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 12-19.

La Basilica di Massenzio. Il monumento, i materiali, le strutture, la stabilità 2005

La Basilica di Massenzio. Il monumento, i materiali, le strutture, la stabilità, a cura di C. Giavarini, L'Erma di Bretschneider, Roma 2005.

M. ODDO 2005a

M. Oddo, *Conservare il transitorio. Il restauro dell'architettura contemporanea tra storia e progetto*, Il Prato, Saonara (PD) 2005.

M. ODDO 2005b

M. Oddo, *La ricostruzione del Belice. Gibellina: rifondazione o ricostruzione? Il restauro della Chiesa Madre*, in M. Oddo, "Conservare il transitorio. Il restauro dell'architettura contemporanea tra storia e progetto", Il Prato, Saonara (PD) 2005, pp. 111-118.

M. GUCCIONE 2004

M. Guccione, *Tra città e paesaggio*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 59-61.

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza 2004

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza, a cura di M. Guccione, Gangemi Editore, Roma 2004.

C. LA TORRE 2004

C. La Torre, *Il ponte sul Basento a Potenza: un percorso di ricerca*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 95-107.

Manutenzione e recupero nella città storica. Conservazione e normativa: esperienze recenti 2004

Manutenzione e recupero nella città storica. Conservazione e normativa: esperienze recenti, Atti del V° Convegno Nazionale, a cura di A. Centroni, ARCo associazione per il recupero del costruito, (Castello di Baia, 4-5 giugno 2004), Gangemi Editore, Castello di Baia 2004.

G. MORGANTI, M. BELLINI 2004

G. Morganti, M. Bellini, *Basilica di Massenzio: consolidamento provvisorio del settore N-O*, in "Manutenzione e recupero nella città storica. Conservazione e normativa: esperienze recenti", Atti del V° Convegno Nazionale, ARCo associazione per il recupero del costruito, (Castello di Baia, 4-5 giugno 2004), Gangemi Editore, Castello di Baia 2004, pp. 447-458.

P. MUSMECI 2004

P. Musmeci, *Una lezione per i progettisti*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 53-56.

C. PETRIZZI 2004

C. Petrizzi, *Il ponte e la città*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 63-65.

A. TURSI 2004

A. Tursi, *Il viadotto Musmeci, sintesi dell'architettura strutturale del '900*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 71-81.

A. VITTORINI 2004

A. Vittorini, *Una testimonianza. Intervista a Zenaide Zanini*, in "Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza", Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 47-51.

M. BELLINI 2003

M. Bellini, *I progetti esecutivi e il cantiere*, in "La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento", Atti del Convegno, Cistec, Soprintendenza Archeologica di Roma, (Roma, novembre 2001), Roma 2003, pp. 130-137.

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza a cura di Margherita Guccione DARC, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi, Roma 2003 2003

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza a cura di Margherita Guccione DARC, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi, Roma 2003, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", n. 14, 2003, p. 9.

La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento 2003

La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento, Atti del Convegno, Cistec, Soprintendenza Archeologica di Roma, (Roma, novembre 2001), Roma 2003.

M. ODDO 2003a

M. Oddo, *Le architetture di Gibellina*, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", n. 14, 2003, p. 7.

M. ODDO 2003b

M. Oddo, *Il restauro della Chiesa Madre di Gibellina nuova*, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", n. 14, 2003, p. 8.

C. PETRIZZI 2003

C. Petrizzi, *Sergio Musmeci a Potenza: il ponte e la città*, in "Basilicata Regione Notizie. Beni Culturali in Basilicata", a. XXVIII, n. 104, 2003, pp. 17-24.

G. SASSANO 2003

G. Sassano, *Sergio Musmeci tra arte e scienza*, in "Basilicata Regione Notizie. Beni Culturali in Basilicata", a. XXVIII, n. 104, 2003, pp. 13-16.

A. TURSÌ 2002-2003

A. Tursi, *La tensostruttura rovesciata. Il guscio membranale di Sergio Musmeci dal forminding alla costruzione del ponte sul Basento*, tesi di Dottorato di Ricerca in "Ingegneria Edile: Architettura e Costruzione", Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile, Roma 2002-2003.

Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra 2002

Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra, a cura di M. Guccione, D. Pesce, E. Reale, Gangemi Editore, Roma 2002.

Inno di arte e parola. La Chiesa di San Carlo al Villaggio del Sole di Vicenza 1962-2002 2002.

Inno di arte e parola. La Chiesa di San Carlo al Villaggio del Sole di Vicenza 1962-2002, a cura di E. Brusutti, R. Brusutti, Vicenza 2002, <www.villaggioinsieme.it>.

Sergio Musmeci 2002

Sergio Musmeci, in “Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra”, Gangemi Editore, Roma 2002, p. 92.

F. PICCARRETA, L. SGUERRI 2001

F. Piccarreta, L. Sguerri, *I protagonisti della progettazione strutturale. Le esperienze progettuali, scientifiche e didattiche dalla fine della guerra agli inizi degli anni '90*, in “La Facoltà di Architettura dell'Università di Roma “La Sapienza” dalle origini al Duemila. Discipline, docenti, studenti”, Gangemi Editore, Roma 2001, pp. 497-541.

I. DELIZIA 2000

I. Delizia, *Musmeci, Sergio*, in “Dizionario dell'architettura del XX secolo”, Umberto Allemandi & C., Torino 2000, pp. 398-399.

Dizionario dell'architettura del XX secolo 2000

Dizionario dell'architettura del XX secolo, a cura di C. Olmo, Umberto Allemandi & C., Torino 2000.

S. DI PASQUALE 1999

S. Di Pasquale, *Sergio Musmeci e i problemi di ottimizzazione strutturale*, in “Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura”, numero monografico “Forma e struttura: Sergio Musmeci”, n. 4, aprile 1999, pp. 10-12.

Forma e struttura: Sergio Musmeci 1999

Forma e struttura: Sergio Musmeci, in “Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura”, numero monografico, n. 4, aprile 1999.

F. GUERRIERI 1999

F. Guerrieri, *Un atto dovuto*, in “Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura”, numero monografico “Forma e struttura: Sergio Musmeci”, n. 4, aprile 1999, pp. 3-4.

E. MANGONI, P. SPINELLI 1999

E. Mangoni, P. Spinelli, *I ponti di Sergio Musmeci: verso soluzioni ottime e robuste?*, in “Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura”, numero monografico “Forma e struttura: Sergio Musmeci”, n. 4, aprile 1999, pp. 12-16.

M. NICOLETTI 1999a

M. Nicoletti, *Principi scientifico-architettonici dell'opera di Sergio Musmeci*, in “Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura”, numero monografico “Forma e struttura: Sergio Musmeci”, n. 4, aprile 1999, pp. 7-10.

M. NICOLETTI 1999b

M. Nicoletti, *Sergio Musmeci. Organicità di forme e forze nello spazio*, Testo&Immagine, Torino 1999.

P. POZZATI 1999

P. Pozzati, *Il materiale, fonte e limite della progettazione strutturale: la lezione di Musmeci*, in "Bollettino ingegneri - mensile di ingegneria ed architettura", numero monografico "Forma e struttura: Sergio Musmeci", n. 4, aprile 1999, pp. 4-6.

A. SAGGIO 1999

A. Saggio, "Sergio Musmeci. Organicità di forme e forze nello spazio". Manfredi Nicoletti, in "Domus", n. 815, maggio 1999, p. 116.

L. GAROFALO 1998

L. Garofalo, *L'ingegneria come scienza e arte: un omaggio a Sergio Musmeci*, in "Il nuovo cantiere", numero speciale "Il ponte sullo stretto di Messina. Omaggio a Sergio Musmeci", a. XXXII, n. 4, aprile 1998, pp. 24-27.

Il ponte sullo stretto di Messina. Omaggio a Sergio Musmeci 1998

Il ponte sullo stretto di Messina. Omaggio a Sergio Musmeci, in "Il nuovo cantiere", numero speciale, a. XXXII, n. 4, aprile 1998.

M. MAJOWIECKI, S. PINARDI 1998

M. Majowiecki, S. Pinardi, *L'azione del vento su ponti sospesi di grande luce: regime di buffetting 3-D*, in "Il nuovo cantiere", numero speciale "Il ponte sullo stretto di Messina. Omaggio a Sergio Musmeci", a. XXXII, n. 4, aprile 1998, pp. 27-36.

A. GUACCI 1991

A. Guacci, *Il Tempio di Monte Grisa a Trieste. Analisi del linguaggio architettonico di un edificio per il culto*, III Settimana Nazionale dei Beni Storico Artistici della Chiesa in Italia, (Trieste, 9-14 settembre 1985), Del Bianco Editore, Trieste 1991.

Insulto ad un genio: il ponte sullo stretto di Messina 1991

Insulto ad un genio: il ponte sullo stretto di Messina, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XXXVII, n. 427, n. 5, maggio 1991, p. 424.

R. PEDIO, P. CONSAGRA, M. DESIDERI, G. GUALA, C. LA TORRE 1988

R. Pedio, P. Consagra, M. Desideri, G. Guala, C. La Torre, *1. Ponte di attraversamento dell'Appia Antica a Roma, 2. Scultura spaziale per la sede de "Il Tempo" a Roma, 3. Casa degli architetti a Formello, Roma*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XXXIV, n. 387, n. 1, gennaio 1988, pp. 6-29.

P. MARCONI 1982

P. Marconi, *Contributi progettuali al tema della protezione di monumenti e di scavi archeologici dall'inquinamento atmosferico: l'area della Regia nel Foro Romano, l'arco di Costantino, l'arco di Settimio Severo*, in "Ricerche di Storia dell'arte. La scienza e l'arte della conservazione", n. 16, 1982, pp. 54-62.

267. 1960 Roma. Palazzo per la sede della SIFIR in via Po 1981

267. 1960 Roma. Palazzo per la sede della SIFIR in via Po, in E. Montuori, "Eugenio Montuori architetto", Edizioni Over, Milano 1981, pp. 104-105.

269. 1960 Trombay, India. *Central complex (centro direzionale della città atomica)* 1981

269. 1960 Trombay, India. *Central complex (centro direzionale della città atomica)*, in E. Montuori, "Eugenio Montuori architetto", Edizioni Over, Milano 1981, pp. 108-109.

Il ponte: infrastruttura territoriale 1981

Il ponte: infrastruttura territoriale, in "Casabella", numero monografico, a. XLV, n. 469, maggio 1981.

C. LA TORRE 1981

C. La Torre, *Opere e progetti italiani nel dopoguerra. Sergio Musmeci*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 40-43.

E. MONTUORI 1981

E. Montuori, *Eugenio Montuori architetto*, Edizioni Over, Milano 1981.

Opere e progetti italiani nel dopoguerra 1981

Opere e progetti italiani nel dopoguerra, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 34-46.

J. M. SCHIVO 1981

J. M. Schivo, *Sergio Musmeci sulle strutture antisismiche*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XXVII, n. 5, maggio 1981, p. 309.

Scompaiono J. B. Bakema e Sergio Musmeci 1981

Scompaiono J. B. Bakema e Sergio Musmeci, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XXVII, n. 5, maggio 1981, p. 261.

B. ZEVI 1981a

B. Zevi, *Scompare Sergio Musmeci. Genio delle tensioni incognite*, in "Cronache di architettura", "Dal fallimento del post-modern all'impegno sociale del design", vol. 24, n. 1330/1379, Editori Laterza, Bari 1981, pp. 164-167.

B. ZEVI 1981b

B. Zevi, *Ti boccio, sei troppo artista*, in "L'Espresso", a. XXVII, n. 13, aprile 1981.

V. G. BERTI 1979

V. G. Berti, *Tra poliedri e antipoliedri*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 8-11.

L'opera di Nervi nel ricordo di Sergio Musmeci 1979

L'opera di Nervi nel ricordo di Sergio Musmeci, in "Il corriere dei costruttori", a. LVIII, n. 16, 1979, p. 19.

Scheda Sergio Musmeci 1979

Scheda Sergio Musmeci, in "Immaginazione megastrutturale dal futurismo a oggi", a cura di E. Crispolti, Edizioni La Biennale di Venezia, Venezia 1979.

Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive 1979

Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico, a. X, n. 80, ottobre 1979.

B. ZEVI 1978

B. Zevi, *Ponte di Musmeci a Potenza. Il guscio batte il trilito*, in "Cronache di architettura", "Dalla conferenza di Vancouver alla scomparsa di Aalto", vol. 19, n. 1081/1130, Editori Laterza, Bari 1978, pp. 146-151.

R. PEDIO 1976

R. Pedio, *Ponte sul Basento e sulla zona industriale a Potenza*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XXII, n. 247, n. 1, maggio 1976, pp. 6-13.

B. ZEVI 1976

B. Zevi, *Che artista! Ha fatto un ponte*, in "L'Espresso", a. XXII, n. 11, 1976.

Concorso per tipologie edilizie residenziali 1974

Concorso per tipologie edilizie residenziali, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XIX, n. 219, n. 9, gennaio 1974, pp. 538-539.

Il nuovo Teatro Regio di Torino 1974

Il nuovo Teatro Regio di Torino, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XX, n. 228, n. 6, ottobre 1974, pp. 356-375.

R. PEDIO 1974

R. Pedio, *Un cannocchiale sulle Prealpi piemontesi. Casa a Cumiana, Torino*, in "L'Architettura - cronache e storia", n. 224, n. 2, giugno 1974, pp. 84-89.

Il Ponte sullo Stretto di Messina 1973

Il Ponte sullo Stretto di Messina, in "Finsider", a. VIII, n. 3, settembre 1973.

R. PASCUCCI 1973

R. Pascucci, *Incontro con Sergio Musmeci*, in "Finsider", a. VIII, n. 3, settembre 1973.

S. RAY 1973

S. Ray, *Il concorso «Latina Nova» in sei progetti*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XIX, n. 216, n. 6, ottobre 1973, pp. 304-322.

L. MORETTI 1972

L. Moretti, *Chiesa di San Gregorio Barbarigo a Roma*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XVIII, n. 201, n. 3, luglio 1972, pp. 146-157.

G. FIGUS 1971-1972

G. Figus, *Tecnologia e realismo*, in "Moebius", a. IV, n. 2, 1971-1972, pp. 73-79.

V. VENNELLI 1971-1972

V. Vennelli, *Intervista a Sergio Musmeci*, in "Moebius", a. IV, n. 4-5, 1971-1972, pp. 11-13.

Il Ponte sullo Stretto di Messina 1971

Il Ponte sullo Stretto di Messina, in "L'Industria delle costruzioni", numero speciale "L'attraversamento dello Stretto di Messina", a. V, n. 22, marzo-aprile 1971.

Un Ponte sullo Stretto di Messina: la luce più grande del mondo 1971

Un Ponte sullo Stretto di Messina: la luce più grande del mondo, in "Domus", n. 494, n. 1, gennaio 1971, pp. 2-3.

Dibattito sul concorso per il padiglione italiano ad Osaka 1969

Dibattito sul concorso per il padiglione italiano ad Osaka, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XV, n. 164, n. 2, giugno 1969, pp. 135-136.

Per Osaka. Progetti di concorso per il padiglione italiano 1969

Per Osaka. Progetti di concorso per il padiglione italiano, in "Domus", n. 476, n. 7, luglio 1969, pp. 20-30.

P. SARTOGO 1969

P. Sartogo, *L'internazionale delle forme. Un dibattito sul concorso nazionale per il padiglione italiano alla Esposizione di Osaka 1970*, in "Casabella", a. XXXIII, n. 336, maggio 1969, pp. 8-16.

M. CERRUTI 1968

M. Cerruti, *Struttura in acciaio per deposito Italtubi a Roma*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XIII, n. 148, n. 10, febbraio 1968, p. 659.

R. PEDIO 1968

R. Pedio, *Una scuola e una chiesa di Antonio Guacci*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XIV, n. 151, n. I, maggio 1968, pp. 6-15.

R. PEDIO 1967

R. Pedio, *Viadotto in Calabria*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XII, n. 138, n. 12, aprile 1967, pp. 792-793.

Concorso nazionale per il Palazzo dello Sport di Firenze 1966

Concorso nazionale per il Palazzo dello Sport di Firenze, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XII, n. 128, n. 2, giugno 1966, pp. 136-137.

Concorso nazionale ISES di selezione progettisti sul tema di un quartiere a Secondigliano, Napoli 1965

Concorso nazionale ISES di selezione progettisti sul tema di un quartiere a Secondigliano, Napoli, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XI, n. 121, n. 7, novembre 1965, pp. 430-456.

Concorso nazionale per il Monumento alla Resistenza a Cuneo 1963

Concorso nazionale per il Monumento alla Resistenza a Cuneo, in "L'Architettura - cronache e storia", a. VIII, n. 90, n. 12, aprile 1963, p. 818.

G. VACCARO 1962

G. Vaccaro, *Stadio olimpico del nuoto*, in "L'Edilizia Moderna", n. 79, 1962, pp. 14-17.

Concorso per un Monumento ai Mille a Marsala 1961

Concorso per un Monumento ai Mille a Marsala, in "L'Architettura - cronache e storia", a. VII, n. 71, n. 5, settembre 1961, p. 357.

G. MORGAN 1961

G. Morgan, *Cinematografo a Montecchio Maggiore presso Vicenza*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. VII, n. 69, n. 3, luglio 1961, pp. 162-167.

Concorso per il Teatro comunale di Alessandria 1960

Concorso per il Teatro comunale di Alessandria, in "L'Architettura - cronache e storia", a. VI, n. 55, n. I, maggio 1960, p. 68.

I progetti vincitori del concorso per il Palazzo del lavoro a Torino 1960

I progetti vincitori del concorso per il Palazzo del lavoro a Torino, in "Casabella", n. 235, gennaio 1960, pp. 33-42.

I. INSOLERA 1960

I. Insolera, *Il Concorso per la Biblioteca Nazionale di Roma*, in "Casabella", n. 239, 1960, pp. 35-51.

Il Ponte sull'Astico presso Vicenza 1959

Il Ponte sull'Astico presso Vicenza, in "Architettura italiana ultima", Il Milione, Milano 1959, p. 96.

S. ROSSI 1959

S. Rossi, *Appalto Concorso per un ponte sul Tevere a Tor di Quinto, in Roma*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. V, n. 44, n. 2, giugno 1959, pp. 137-138.

G. VACCARO 1957

G. Vaccaro, *Roma: quartiere Ponte Mammolo - nucleo sud*, in "Architettura Cantiere", n. 15, 1957, pp. 12-23.

G. VACCARO 1956

G. Vaccaro, *Scuola Nazionale di Atletica Leggera a Formia*, in "L'Architettura - cronache e storia", n. 8, giugno 1956, pp. 86-91.

Concorso nazionale per il progetto del mercato all'ingrosso del pesce ed adiacente Scuola Professionale Marittima a Pescara 1951

Concorso nazionale per il progetto del mercato all'ingrosso del pesce ed adiacente Scuola Professionale Marittima a Pescara, in "Architetti", a. II, n. 10, ottobre 1951, pp. 25-28.

Scritti di Sergio Musmeci

S. MUSMECI 1981

S. Musmeci, *L'ispirazione strutturale di Eugenio Montuori*, in E. Montuori, "Eugenio Montuori architetto", Edizioni Over, Milano 1981.

S. MUSMECI 1980a

S. Musmeci, *Struttura ed architettura*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 10, 1980, pp. 771-786.

S. MUSMECI 1980b

S. Musmeci, *Strutture nuove per un materiale nuovo*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 5, 1980, pp. 345-360.

S. MUSMECI 1979a

S. Musmeci, *Architettura e pensiero scientifico*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 34-46.

S. MUSMECI 1979b

S. Musmeci, *L'eredità di Pier Luigi Nervi*, in "L'industria delle costruzioni", n. 3, marzo 1979, pp. 5-20.

S. MUSMECI 1979c

S. Musmeci, *La genesi della forma nelle strutture spaziali*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 12-33.

S. MUSMECI 1979d

S. Musmeci, *Le tensioni non sono incognite*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Sergio Musmeci o delle tensioni cognitive", a. X, n. 80, ottobre 1979, pp. 36-47.

S. MUSMECI 1979e

S. Musmeci, C.E.S.I.C.A., Pordenone 1979.

S. MUSMECI 1978

S. Musmeci, *Introduzione alle costruzioni antisismiche*, Associazione degli Industriali della Provincia di Pordenone, Grafiche Editoriali Artistiche Pordenonesi, Pordenone 1978.

S. MUSMECI 1977a

S. Musmeci, *La Basilica di Massenzio e l'intervento del 1961 sull'abside di Costantino*, (*Restoration of the Basilica of Massenzio, The Basilica of Maxentius and the Works Carried Out on the Apse of Constantine in 1961*), comunicazione al "Symposium on structures in historic buildings", ICCROM, (Roma, 14-18 settembre), Roma 1977.

S. MUSMECI 1977b

S. Musmeci, *Le strutture del nuovo Teatro Regio di Torino*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XLVII, n. 11, novembre 1977, pp. 885-906.

S. MUSMECI 1977c

S. Musmeci, *Ponte sul Basento a Potenza*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XLVII, n. 2, febbraio 1977, pp. 77-98.

S. MUSMECI 1976

S. Musmeci, *Rapporto tra struttura e architettura nell'ultima esperienza dell'Architetto Libera: il palazzo della Regione a Trento*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. XLVI, n. 4, aprile 1976, pp. 237-250.

S. MUSMECI 1974

S. Musmeci, *Finalità dell'architettura*, in "Università e Computer", n. 5, 1974, p. 1.

S. MUSMECI 1973a

S. Musmeci, *La previsione tecnologica*, in "L'architetto italiano - Inarch", a. III, n. 9, settembre 1973, pp. 22-24.

S. MUSMECI 1973b

S. Musmeci, *Le strutture speciali del nuovo Teatro Regio a Torino*, in "Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino", n. 9-10, settembre-ottobre 1973, p. 91 sgg.

S. MUSMECI 1972a

S. Musmeci, *Il calcolo elettronico e la creazione di nuove forme strutturali*, in "Architettura e computer", Bulzoni Editore, Roma 1972, pp. 147-166.

S. MUSMECI 1972b

S. Musmeci, *Un grattacielo elicoidale. Analisi strutturale*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. XVII, n. 196, n. 10, febbraio 1972, pp. 656-660.

S. MUSMECI 1971a

S. Musmeci, *Il Ponte sullo Stretto di Messina. I problemi della struttura*, in "L'architetto italiano - Inarch", n. 5, ottobre 1971, p. 16 sgg.

S. MUSMECI 1971b

S. Musmeci, *Il progetto di Sergio Musmeci per il Ponte sullo Stretto di Messina*, in "L'Ingegnere", n. 11, 1971.

S. MUSMECI 1971c

S. Musmeci, *La campata di 3000 metri di Musmeci*, in "L'Industria delle Costruzioni", a. V, n. 22, marzo-aprile 1971, pp. 10-25.

S. MUSMECI 1971d

S. Musmeci, *La statica e le strutture*, Cremonese, Roma 1971.

S. MUSMECI 1970

S. Musmeci, *Un ponte sullo Stretto per la città regione*, in “Moebius”, a. III, n. 5, 1970, p. 110 sgg.

S. MUSMECI 1969a

S. Musmeci, *Caratteristiche principali delle strutture in cemento armato*, in “L’Ingegnere”, a. XLIII, n. 7-8-9, luglio-agosto-settembre 1969, pp. 687-694.

S. MUSMECI 1969b

S. Musmeci, *Ponte*, in “Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica”, Istituto Editoriale Romano, Roma 1969, pp. 490-493.

S. MUSMECI, A. GUACCI 1969

S. Musmeci, A. Guacci, *Il Tempio mariano a Trieste*, in “L’Industria Italiana del Cemento”, a. XXXIX, n. 9, settembre 1969, pp. 641-662.

S. MUSMECI 1968a

S. Musmeci, *Il minimo strutturale*, in “L’Ingegnere”, a. XLII, n. 5, maggio 1968, pp. 407-414.

S. MUSMECI 1968b

S. Musmeci, *Su un modo di introdurre i principi della statica*, in “Cultura e Scuola”, n. 25, gennaio-marzo 1968.

S. MUSMECI 1967

S. Musmeci, *Un particolare invariante delle strutture*, in “L’Ingegnere”, n. 1, gennaio 1967, pp. 3-8.

S. MUSMECI 1966

S. Musmeci, *Premesse per una scelta razionale delle soluzioni strutturali*, in “Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino”, a. XX, n. 12, dicembre 1966, pp. 412-414.

S. MUSMECI 1965

S. Musmeci, *Edificio SIFIR in via Po a Roma*, in “L’Industria Italiana del Cemento”, a. XXXV, n. 6, giugno 1965, p. 339 sgg.

S. MUSMECI, S. ORTOLANI 1963

S. Musmeci, S. Ortolani, *Chiesa parrocchiale di S. Benedetto in Vicenza*, in “Fede e arte - Rivista Internazionale di Arte Sacra”, a. XI, n. 3, luglio-settembre 1963, pp. 350-353.

S. MUSMECI 1961

S. Musmeci, *Edificio in elementi prefabbricati a Roma*, in “L’Architettura - cronache e storia”, a. VI, n. 65, n. II, marzo 1961, pp. 726-731.

S. MUSMECI 1960

S. Musmeci, *Copertura pieghettata per un’industria a Pietrasanta*, in “L’Architettura - cronache e storia”, a. V, n. 52, n. 10, febbraio 1960, pp. 710-713.

S. MUSMECI 1959

S. Musmeci, *Un hangar nell'aeroporto internazionale di San Francisco*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. V, n. 43, n. 1, maggio 1959, pp. 63-66.

S. MUSMECI, U. LUCCICHENTI 1959

S. Musmeci, U. Luccichenti, *Appalto concorso per il nuovo ponte a Tor di Quinto - Roma*, in "Notiziario di tecnica moderna applicata all'ingegneria", n. 2-3, settembre 1959, pp. 93-101.

S. MUSMECI 1957

S. Musmeci, *Ponte sull'Astico, presso Vicenza*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. II, n. 17, marzo 1957, pp. 829-831.

S. MUSMECI 1956

S. Musmeci, *Volte ad archi poligonali*, in "L'Architettura - cronache e storia", a. I, n. 6, marzo-aprile 1956, pp. 880-882.

S. MUSMECI 1955

S. Musmeci, *Cubierta de bovedas parabólicas para un mercado rural*, in "Revista informes de la construcción", n. 71, maggio 1955.

S. MUSMECI 1954

S. Musmeci, *Coperture a volte paraboliche*, in "L'Ingegnere", n. 5, 1954, pp. 487-490.

Sulla conservazione del contemporaneo e sulla durabilità del calcestruzzo armato

C. DI BIASE 2015

C. Di Biase, *Durata e durabilità del calcestruzzo storico nell'architettura del XX secolo*, in "Materiali e Strutture. Problemi di conservazione", a. IV, n. 8, 2015, pp. 43-64.

M. BORGHI 2014

M. Borghi, *La necessaria contestualizzazione delle norme tecniche*, in "Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2014, pp. 92-101.

A. CANZIANI, V. PRACCHI 2014

A. Canziani, V. Pracchi, *Q.B. (Quanto Basta). Deroga e "sicurezza equivalente"*, in "Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2014, pp. 156-167.

Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo 2014

Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo, a cura di R. Grignolo, SilvanaEditoriale, Mendrisio 2014.

R. GRIGNOLO 2014

R. Grignolo, *Quali "diritti" per il patrimonio architettonico del XX secolo?*, in "Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2014, pp. 6-55.

B. REICHLIN 2014

B. Reichlin, *Esperti nella messa a norma dell'architettura del XX secolo. Una proposta*, in "Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2014, pp. 300-309.

C. DI BIASE 2013

C. Di Biase, *Manufatti della città breve. Tecniche e materiali del XX secolo nel paesaggio contemporaneo*, in "Tecniche di restauro. Aggiornamento", Utet Scienze Tecniche, Torino 2013, pp. 195-236.

Tecniche di restauro. Aggiornamento 2013

Tecniche di restauro. Aggiornamento, a cura di S. F. Musso, Utet Scienze Tecniche, Torino 2013.

A. FARESin 2012

A. Faresin, *Architettura in calcestruzzo. Soluzioni innovative e sostenibilità*, Utet Scienze Tecniche, Torino 2012.

F. GRAF 2011

F. Graf, *Il restauro del patrimonio del XX secolo*, in "Riuso del patrimonio architettonico", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2011, pp. 31-43.

R. GRIGNOLO 2011

R. Grignolo, *Una "Enciclopedia critica per il riuso e il restauro dell'architettura del XX secolo"*, in "Riuso del patrimonio architettonico", SilvanaEditoriale, Mendrisio 2011, pp. 125-129.

Il restauro del moderno in Italia e in Europa 2011

Il restauro del moderno in Italia e in Europa, a cura di E. Palazzotto, Franco Angeli, Milano 2011.

B. REICHLIN 2011

B. Reichlin, *Riflessioni sulla conservazione del patrimonio architettonico del XX secolo*, in “Riuso del patrimonio architettonico”, SilvanaEditoriale, Mendrisio 2011, pp. 11-29.

Riuso del patrimonio architettonico 2011

Riuso del patrimonio architettonico, a cura di B. Reichlin, B. Pedretti, SilvanaEditoriale, Mendrisio 2011.

G. CARBONARA 2010

G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, (I ed. 1997), Liguori Editore, Napoli 2010.

F. GIOVANNARDI 2010

F. Giovannardi, *Sergio Musmeci. Strutture fuori dal coro*, Studio Giovannardi e Rontini, 2010, <www.giovannardierontini.it>.

T. IORI 2010

T. Iori, *Cemento armato autarchico*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 26, 2010, pp. 4-5.

B. REICHLIN 2010

B. Reichlin, *Un'enciclopedia per riscoprire e restaurare l'architettura del XX secolo*, Università della Svizzera Italiana, 2010, <<http://www.ideatorio.usi.ch>>.

E. CARPANI 2009

E. Carpani, *Istituzioni, normative e pratiche di tutela in Italia*, in “Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento”, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009, pp. 477-506.

Concrete 2009. Evoluzione tecnologica del calcestruzzo. Tradizione, Attualità, Prospettive 2009

Concrete 2009. Evoluzione tecnologica del calcestruzzo. Tradizione, Attualità, Prospettive, Atti del 1° Convegno Internazionale, a cura di A. Catalano, C. Sansone, Luciano Editore, Napoli 2009.

B. DE SIVO 2009

B. De Sivo, *Aesthetic of concrete*, in “Concrete 2009. Evoluzione tecnologica del calcestruzzo. Tradizione, Attualità, Prospettive”, Atti del 1° Convegno Internazionale, Luciano Editore, Napoli 2009, pp. 31-42.

C. DI BIASE 2009

C. Di Biase, *Storie di degrado*, in “Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento”, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009, pp. 11-74.

C. DI BIASE, F. ALBANI 2009a

C. Di Biase, F. Albani, *Deteriorations in the XXth century architecture: concrete, reinforced concrete, artificial stone*, in “Concrete 2009. Evoluzione tecnologica del calcestruzzo. Tradizione, Attualità, Prospettive”, Atti del 1° Convegno Internazionale, Luciano Editore, Napoli 2009, pp. 199-208.

C. DI BIASE, F. ALBANI 2009b

C. Di Biase, F. Albani, *Una proposta di lessico*, in “Il degrado del calcestruzzo nell’architettura del Novecento”, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009, pp. 231-382.

Il degrado del calcestruzzo nell’architettura del Novecento 2009

Il degrado del calcestruzzo nell’architettura del Novecento, a cura di C. Di Biase, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2009.

Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione 2008

Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione, a cura di R. Ientile, Franco Angeli, Milano 2008.

A. AVETA 2008

A. Aveta, *Degrado e/o valore di antichità delle architetture in c.a.: l’approccio metodologico*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 26-39.

C. BELLANCA 2008

C. Bellanca, *L’architettura del Novecento, il cemento armato, i restauri e l’autenticità*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 47-52.

M. BENENTE 2008

M. Benente, *Conservazione delle “architetture del nuovo” tra autenticità e integrità*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 60-66.

M. BORIANI, F. B. CAVALLERI, M. GIAMBRUNO 2008

M. Boriani, F. B. Cavalleri, M. Giambruno, *Il “Restauro del Moderno” tra approccio teorico e conservazione materica delle fabbriche. Conservazione e “vita residua” delle opere in calcestruzzo: alcune riflessioni*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 88-98.

M. CARSANA, P. PEDEFERRI, E. REDAELLI 2008

M. Carsana, P. Pedeferrì, E. Redaelli, *Degrado precoce di architetture in c.a. degli ultimi decenni*, in “Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione”, Franco Angeli, Milano 2008, pp. 124-131.

S. CASIELLO 2008

S. Casiello, *L'uso del cemento nel restauro e la conservazione delle opere in calcestruzzo armato: questioni di natura teorica, progettuale e metodologica*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 132-142.

C. CHIORINO 2008

C. Chiorino, *Dinosauri dai piedi di argilla. Conservare l'eredità dell'ingegneria strutturale di Torino*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 143-153.

C. DI BIASE 2008

C. Di Biase, *Inconvenienti, difetti, patologia, deterioramento. Per una storia del degrado del calcestruzzo e calcestruzzo armato nelle costruzioni del Novecento*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 185-190.

C. DI BIASE, F. ALBANI, L. GUIDOLIN 2008

C. Di Biase, F. Albani, L. Guidolin, *Calcestruzzo, calcestruzzo armato, pietre artificiali: lessico del degrado*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 191-197.

P. FACCIO 2008

P. Faccio, *Il calcestruzzo storico: conservazione o ripristino?*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 198-204.

M. GUCCIONE 2008

M. Guccione, *Archivi dell'Architettura Moderna Italiana. Archivio Sergio Musmeci, MAXXI architettura, Roma*, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", a. XII, n. 22, gennaio 2008, p. 2.

R. IENTILE 2008

R. Ientile, *Architetture in cemento armato: l'approccio ingegneristico e le ragioni della conservazione*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 264-270.

C. OCCELLI 2008

C. Ocelli, *Architettura e cemento armato. Desiderio e realtà da E.E. Viollet-le-Duc a P.L. Nervi*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 428-436.

G. PONTI 2008

G. Ponti, *Amate l'architettura. L'architettura è un cristallo*, (I ed. 1957), Rizzoli, Milano 2008.

G. ROCCELLA 2008

G. Roccella, *Innovazione e conservazione nel risanamento strutturale del grattacielo Pirelli a Milano*, in "Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione", Franco Angeli, Milano 2008, pp. 487-492.

V. ALUNNO ROSSETTI 2007

V. Alunno Rossetti, *Il calcestruzzo. Materiali e tecnologia*, (I ed. 1999), McGraw-Hill, Milano 2007.

Il progetto nel restauro del moderno 2007

Il progetto nel restauro del moderno, a cura di E. Palazzotto, L'Epos, Palermo 2007.

J. RUSKIN 2007

J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura*, (I ed. italiana 1982, I ed. 1849 *The Seven Lamps of Architecture*), Jaca Book, Milano 2007.

Architetture italiane del secondo Novecento. DARC censimento e catalogazione 2006

Architetture italiane del secondo Novecento. DARC censimento e catalogazione, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", a. XI, n. 19, gennaio 2006, p. 12.

G. CARBONARA 2006

G. Carbonara, *Il restauro del moderno come problema di metodo*, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico "Il restauro del moderno", a. XXXVI, n. 266, ottobre-novembre 2006, pp. 21-25.

C. CHIORINO, C. OSTORERO 2006

C. Chiorino, C. Ostorero, *Palazzo del Lavoro*, in "DO.CO.MO.MO. Italia giornale", a. XI, n. 19, gennaio 2006, p. 3.

Il restauro del moderno 2006

Il restauro del moderno, in "Parametro - mensile internazionale di architettura e urbanistica", numero monografico, a. XXXVI, n. 266, ottobre-novembre 2006.

R. CAPOMOLLA 2005-2006

R. Capomolla, *Il ponte sul Basento, ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome"*, in "Casabella", a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 12-19.

T. IORI 2005-2006

T. Iori, *L'ultimo ponte sul Tevere*, in "Casabella", a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 20-25.

M. MARANDOLA 2005-2006

M. Marandola, *Un volteggio sopra la città*, in "Casabella", a. LXX, n. 739-740, dicembre 2005-gennaio 2006, pp. 26-35.

M. ODDO 2005

M. Oddo, *Conservare il transitorio. Il restauro dell'architettura contemporanea tra storia e progetto*, Il Prato, Saonara (PD) 2005.

C. ACCETTA 2004-2005

C. Accetta, *La conservazione del moderno nella cultura architettonica contemporanea*, tesi di Dottorato di Ricerca in "Conservazione dei Beni Architettonici", Università di Napoli Federico II, Napoli 2004-2005.

M. GUCCIONE 2004

M. Guccione, *Tra città e paesaggio*, in “Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza”, Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 59-61.

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza 2004

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza, a cura di M. Guccione, Gangemi Editore, Roma 2004.

C. PETRIZZI 2004

C. Petrizzi, *Il ponte e la città*, in “Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza”, Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 63-65.

A. VITTORINI 2004

A. Vittorini, *Una testimonianza. Intervista a Zenaide Zanini*, in “Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza”, Gangemi Editore, Roma 2004, pp. 47-51.

M. BELLINI 2003

M. Bellini, *I progetti esecutivi e il cantiere*, in “La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento”, Atti del Convegno, Cistec, Soprintendenza Archeologica di Roma, (Roma, novembre 2001), Roma 2003, pp. 130-137.

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza a cura di Margherita Guccione DARC, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi, Roma 2003 2003

Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza a cura di Margherita Guccione DARC, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi, Roma 2003, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 14, 2003, p. 9.

La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento 2003

La Basilica di Massenzio. Ricerca interdisciplinare applicata allo studio e alla conservazione di un monumento, Atti del Convegno, Cistec, Soprintendenza Archeologica di Roma, (Roma, novembre 2001), Roma 2003.

M. ODDO 2003a

M. Oddo, *Le architetture di Gibellina*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 14, 2003, p. 7.

M. ODDO 2003b

M. Oddo, *Il restauro della Chiesa Madre di Gibellina nuova*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 14, 2003, p. 8.

A. TURSI 2002-2003

A. Tursi, *La tensostruttura rovesciata. Il guscio membranale di Sergio Musmeci dal forminding alla costruzione del ponte sul Basento*, tesi di Dottorato di Ricerca in “Ingegneria Edile: Architettura e Costruzione”, Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile, Roma 2002-2003.

Curare il moderno. I modi della tecnologia 2002

Curare il moderno. I modi della tecnologia, a cura di P. G. Bardelli, E. Filippi, E. Garda, Marsilio, Venezia 2002.

Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra 2002

Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra, a cura di M. Guccione, D. Pesce, E. Reale, Gangemi Editore, Roma 2002.

S. PORETTI 2002

S. Poretti, *Introduzione*, in “Curare il moderno. I modi della tecnologia”, Marsilio, Venezia 2002, pp. XVII-XVIII.

Sergio Musmeci 2002

Sergio Musmeci, in “Guida agli archivi privati di architettura a Roma e nel Lazio. Da Roma capitale al secondo dopoguerra”, Gangemi Editore, Roma 2002, p. 92.

C. VARAGNOLI 2002

C. Varagnoli, *Ai margini della modernità. Problemi di conservazione e tutela dell'architettura del Novecento in Abruzzo*, in “Curare il moderno. I modi della tecnologia”, Marsilio, Venezia 2002, pp. 557-565.

G. FRANCO 2001

G. Franco, *Il consolidamento del Viadotto sul Polcevera*, in “DO.CO.MO.MO. Italia giornale”, n. 9, 2001, p. 8.

La costruzione moderna in Italia. Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici 2001

La costruzione moderna in Italia. Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici, EdilStampa, Roma 2001.

S. PORETTI 2001

S. Poretti, *Presentazione*, in “La costruzione moderna in Italia. Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici”, EdilStampa, Roma 2001, p. 5.

Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione 1999

Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione, a cura di M. Casciato, S. Mornati, S. Poretti, do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999.

A. ARTIOLI 1999

A. Artioli, *L'invecchiamento degli interventi di restauro nelle architetture moderne. Due esempi a Como: l'asilo Sant'Elia e la Casa del fascio di Giuseppe Terragni*, in “Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione”, do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 447-454.

M. CASCIATO 1999

M. Casciato, *I confini del moderno, un confronto aperto fra limiti e limite*, in “Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione”, do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 27-36.

W. DE JONGE 1999

W. de Jonge, *Gli obiettivi di Docomomo International*, in "Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione", do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 15-17.

M. GUCCIONE, D. PESCE, L. SALVATORI PRINCIPE 1999

M. Guccione, D. Pesce, L. Salvatori Principe, *Salvaguardia, ordinamento e valorizzazione degli archivi di architettura contemporanea: il caso degli archivi romani*, in "Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione", do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 95-100.

S. PORETTI 1999

S. Poretti, *Premessa*, in "Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione", do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 11-13.

S. SALVO 1999

S. Salvo, *Nuovo, vecchio o antico? Applicabilità della teoria del restauro alle opere d'architettura contemporanea*, in "Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione", do.co.mo.mo. italia, EdilStampa, Roma 1999, pp. 441-446.

E. F. RADOGNA 1997

E. F. Radogna, *Tecnica delle costruzioni*, (I ed. 1979), Zanichelli, Roma 1997.

M. COLLEPARDI, L. COPPOLA 1996

M. Collepari, L. Coppola, *Durabilità e restauro delle opere in calcestruzzo*, Spresiano (TV) 1996.

E. SIVIERO, R. CANTONI, M. FORIN 1995

E. Siviero, R. Cantoni, M. Forin, *Durabilità delle opere in calcestruzzo*, Franco Angeli, Milano 1995.

M. COLLEPARDI 1993

M. Collepari, *Durabilità del calcestruzzo: teoria, pratica e prescrizioni di capitolato. Parte III: calcestruzzo durevole secondo le norme nazionali ed europee*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. LXIII, n. 677, maggio 1993, pp. 357-374.

L. COPPOLA 1993

L. Coppola, *Durabilità del calcestruzzo: teoria, pratica e prescrizioni di capitolato. Parte II: Cause di degrado di tipo fisico e meccanico*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. LXIII, n. 675, marzo 1993, pp. 199-209.

M. COLLEPARDI 1992

M. Collepari, *Durabilità del calcestruzzo: teoria, pratica e prescrizioni di capitolato. Parte I: Cause di degrado di tipo chimico*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. LXII, n. 671, novembre 1992, pp. 707-732.

M. COLLEPARDI 1991

M. Collepari, *Il principio del mix-design*, in "L'Industria Italiana del Cemento", a. LXI, n. 655, maggio 1991, pp. 333-340.

V. MANISCALCO, S. PERESWIET-SOLTAN 1989

V. Maniscalco, S. Pereswiet-Soltan, *Durabilità del calcestruzzo nel tempo*, in "L'Edilizia", a. III, n. 5, maggio 1989, pp. 221-258.

C. DI BIASE 1981

C. Di Biase, *Le ragioni del riuso*, in "Riuso e riqualificazione edilizia negli anni '80", Franco Angeli, Milano 1981, pp. 382-387.

Riuso e riqualificazione edilizia negli anni '80 1981

Riuso e riqualificazione edilizia negli anni '80, a cura di C. Di Biase, L. Donati, C. Fontana, P. L. Paolillo, Franco Angeli, Milano 1981.

G. URBANI 1981

G. Urbani, *Dal restauro alla manutenzione*, in "Riuso e riqualificazione edilizia negli anni '80", Franco Angeli, Milano 1981, pp. 365-370.

S. ZORZI 1981

S. Zorzi, *Opere e progetti italiani nel dopoguerra. Silvano Zorzi*, in "Casabella", numero monografico "Il ponte: infrastruttura territoriale", a. XLV, n. 469, maggio 1981, pp. 44-46.

S. MUSMECI 1980

S. Musmeci, *Struttura ed architettura*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 10, 1980, pp. 771-786.

C. BRANDI 1977

C. Brandi, *Teoria del restauro*, (I ed. 1963), Piccola Biblioteca Einaudi, Torino 1977.

R. PANE 1967

R. Pane, *Attualità dell'ambiente antico*, La Nuova Italia, Firenze 1967.

P. L. NERVI 1962

P. L. Nervi, *Prefazione*, in L. Sala, "Il calcestruzzo nella pratica di cantiere", Hoepli, Milano 1962, pp. VII-VI

L. SALA 1962

L. Sala, *Il calcestruzzo nella pratica di cantiere*, Hoepli, Milano 1962.

P. L. NERVI 1955

P. L. Nervi, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano 1955.

P. L. NERVI 1945

P. L. Nervi, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Edizioni della Bussola, Roma 1945.

FONTI ARCHIVISTICHE

Archivio Sergio Musmeci e Zenaide Zanini (ASMZZ)

Attività Professionale 1950-1989

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, *Relazione. Calcoli cementi armati*, collocazione tubo 3, MAXXI, Roma 1960.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Basilica di Massenzio, lavori di riadattamento a salone per concerti estivi per conto del Comune di Roma. Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici*, collocazione P6/1, MAXXI, Roma 1961.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Semicupola in c.a. sull'abside. Calcoli statici. Parte quinta cupola*, collocazione P13/5, MAXXI, Roma 1961.

ASMZZ, Tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste, *Tempio Mariano a Trieste. Relazione di collando*, collocazione P13/8, MAXXI, Roma 1967.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, *Ponte sull'Appia (progetto ex 580) documenti*, collocazione 20.4, MAXXI, Roma 1980-1999.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, *Ponte (Sergio Musmeci) di via Marco Polo sull'Appia Antica. Relazione*, in "Ponte sull'Appia (progetto ex 580) documenti", collocazione 20.4, MAXXI, Roma 1980-1999.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, *Oggetto: Lavori di completamento del ponte di via Marco Polo sull'Appia Antica. Relazione*, in "Ponte sull'Appia (progetto ex 580) documenti", collocazione 20.4, MAXXI, Roma 1980-1999.

Tavole, disegni e fotografie:

ASMZZ, Auditorium del Centro Atomico di Bombay in India, foto F18839, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Auditorium del Centro Atomico di Bombay in India, foto F18841, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Biblioteca Nazionale di Roma, foto F18489, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Biblioteca Nazionale di Roma, foto F18493, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Capannone industriale della Società Arrigoni a Cesena, foto F18515, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cappella del santuario Pontificio di Pompei, *Dis. 4 - Cappella. Sezione longitudinale*, disegno 61243, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cappella del santuario Pontificio di Pompei, *Cappella Pompei. Superfici di intradosso delle solette di copertura*, disegno 61247, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, foto F18562, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, *Chiesa parrocchiale quartiere Monte-Crocetta - Pianta - Rapp. 1:50*, disegno 28117, collocazione tubo 3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, *Chiesa parrocchiale quartiere Monte-Crocetta - Prospetto principale - Rapp. 1:50*, disegno 28122, collocazione tubo 3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, *Chiesa parrocchiale quartiere Monte-Crocetta - Sezione B-B - Rapp. 1:50*, disegno 28125, collocazione tubo 3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa del Villaggio del Sole a Vicenza, disegno 28127, collocazione tubo 3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, foto 18195, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, foto 18200, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, foto 18203, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, foto 18223, collocazione P6/2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, foto 18529, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, *Chiesa - Schema generale dell'interno - Rapp. 1:50*, disegno 28258, collocazione tubo 10, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, disegno 28261, collocazione tubo 10, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Chiesa di S. Alberto a Sarteano, disegno 28290, collocazione tubo 10, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema Araldo a Roma, *Dis. 1 - Cinema "Araldo". Pianta della copertura (vista dal basso). Rapp. 1:50*, foto F9590, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema Araldo a Roma, *Pianta del piano in ritiro e cabina cinema - Rapp. 1:100*, foto F9591, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema Araldo a Roma, *Sezione longitudinale cinematografo e geometrico fronte interna - Rapp. 1:100*, foto F9592, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema Araldo a Roma, foto F9604, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore, foto F18602, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore, foto F18800, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Cinema di San Pietro a Montecchio Maggiore, foto F18802, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Mercati Generali di Roma, foto F18518, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Monumento ai Mille a Marsala, foto F18511, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Palazzetto dello Sport a Roma, foto F18582, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Palazzetto dello Sport a Roma, disegno 28413, collocazione tubo 17, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Palazzine in via Vallombrosa a Roma, *Tav. 3 - Pianta. Rapp. 1:50*, disegno 3 31269, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Palazzine in via Vallombrosa a Roma, *Tav. 10 - Pilastrini del portico con mensole*, disegno 4 31304 1, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma, *Piscina coperta tipo - Pianta della copertura - Pianta della struttura - 1:100 - Tav. 1*, disegno 31378, collocazione F7, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Piscina coperta tipo per la Società Immobiliare Generale di Roma, *Piscina Coperta Tipo - Prospetto - Sezione in asse - 1:100 - Tav. 3*, disegno 31380, collocazione F7, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sull'Autostrada del Sole, disegno 28367, collocazione F7, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sull'Autostrada del Sole, disegno 31986 1, collocazione F7, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sull'Autostrada del Sole, disegno 31986 2, collocazione F7, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, foto F18996, collocazione F4, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, foto F19078, collocazione F4, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, disegno 27890, collocazione tubo 5, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, disegno 27892, collocazione tubo 6, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, disegno 28191, collocazione tubo 68, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Ponte sul Basento a Potenza, disegno 28247, collocazione tubo 146, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicolonna Basilica di Massenzio a Roma, foto F009620, collocazione F3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, foto F009634, collocazione F3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, foto F18540, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31506, collocazione P6/1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Basilica di Massenzio. Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi. Semicupola sull'abside*, disegno 31507, collocazione P6/1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Lavori di riadattamento a salone per concerti estivi alla Basilica di Massenzio. Planimetria generale. 1:200*, disegno 31508, collocazione P6/1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Semicalotta Basilica di Massenzio a Roma, *Prospetto generale lato CD. Sezione trasversale AB 1:200. Particolare sezione 1:100*, disegno 31509, collocazione P6/1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta, foto F9719, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta, foto F9755, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta, foto F9764, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stabilimento industriale del marmo Raffo a Pietrasanta, foto F9766, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stazione di servizio "Aquila" a Bologna, foto F9585, collocazione F2, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Stazione di servizio "Aquila" a Bologna, foto F009587, collocazione F8, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste, foto F18894, collocazione F3, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Tempio Mariano sul Monte Grisa a Trieste, *Tempio Mariano-Trieste. Disegni strutturali. Facciata nord. Rapp. 1:50*, disegno 31141, collocazione tubo 1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 28521, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29003, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29017, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29039, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29041, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29053, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29056, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, disegno 29057, collocazione P1, MAXXI, Roma.

ASMZZ, Viadotto sull'Appia Antica a Roma, foto F18357, collocazione 20.4, MAXXI, Roma.

Attività di Ricerca e Studio 1954-1980

ASMZZ, *Tempio Mariano a Trieste. Calcolo delle strutture a graticcio con maglia triangolare*, collocazione R1/8, in "Studi 1954-1976", MAXXI, Roma.

ASMZZ, *Libro con Boaga*, collocazione R2/5, in "Scritti 1966-1980", MAXXI, Roma 1972.

Attività Didattica e Culturale 1957-1982

ASMZZ, *Insegnamento di Tecnologia dei Materiali e Tecnica delle Costruzioni*, collocazione D1/1, in "Attività accademica 1969-1979", MAXXI, Roma 1969-1970.

ASMZZ, *Programma delle lezioni di Grandi Strutture*, collocazione D1/2, in "Attività accademica 1969-1979", MAXXI, Roma 1969-1970.

ASMZZ, *Appunti dal corso di Ponti e Grandi Strutture (facoltà di architettura 1973-74)*, collocazione D1/4, in "Attività accademica 1969-1979", MAXXI, Roma 1973-1974.

ASMZZ, *Relazione sulle strutture*, collocazione D2/1, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1970.

ASMZZ, *Corso di aggiornamento sul cemento armato e precompresso*, collocazione D2/2, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1972-1973.

ASMZZ, *Corso per l'Associazione degli industriali della Provincia di Pordenone*, collocazione D2/3, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

ASMZZ, *Il corso antisismico del Prof. Musmeci a Pordenone. Il valore dei tecnici garantisce la ripresa del Friuli*, collocazione D2/3, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

ASMZZ, *Secondo il parere del Prof. Musmeci. Le nuove costruzioni antisismiche costeranno il 7 per cento in più*, collocazione D2/3, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

ASMZZ, *Concluso il corso sulle costruzioni antisismiche. Musmeci: il valore dei tecnici garantisce la ripresa del Friuli*, collocazione D2/3, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

ASMZZ, *Corso di ingegneria sismica*, collocazione D2/3, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

ASMZZ, *Il Friuli: problemi e prospettive dopo il terremoto*, collocazione D2/4, in "Convegni e Corsi 1970-1976", MAXXI, Roma 1976.

Materiali per Biografia Professionale 1980-1993

ASMZZ, *Elenco delle pubblicazioni di Sergio Musmeci che si riserva di presentare ai fini del concorso a cattedre bandito con decreto ministeriale 30 giugno 1979*, collocazione B1/1, MAXXI, Roma 1979.

ASMZZ, *Curricula professionali e documenti dello studio 1980-1993*, collocazione B1/2, MAXXI, Roma 1980-1993.

ASMZZ, *Libro su Sergio s.d.*, collocazione B1/4, MAXXI, Roma 1980.

ASMZZ, *Intervista di Carlo La Torre*, collocazione B1/4, MAXXI, Roma 1980.

ASMZZ, *Intervista di Manfredi Nicoletti*, collocazione B1/4, MAXXI, Roma 1980.

ASMZZ, *Testo a commento del libro*, collocazione B1/5, MAXXI, Roma 1980.

Materiali a Stampa 1952-2002

ASMZZ, *Vita nostra. Periodico della Banca Cattolica del Veneto, n. 2 aprile 1966 (pregevole ed originale realizzazione di architetti vicentini, pp. 19-20) 1966*, collocazione S1/14, MAXXI, Roma 1966.

ASMZZ, *Finalità dell'architettura, n. 5, 1974 (editoriale)*, collocazione S1/32, MAXXI, Roma 1974.

ASMZZ, *Colle S. Alberto (Sarteano). Centro panoramico residenziale e commerciale*, collocazione S1/44, MAXXI, Roma.

Archivio della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma (ASSBAR)

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Consolidamento della Basilica di Massenzio. Relazione tecnica generale*, collocazione “CISTEC ultima consegna MASS.”, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 2002.

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Rilievo strutturale di dettaglio: mappatura delle superfici murarie*, collocazione “CISTeC convenzione n. 7947 approccio £. 125.000.000”, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 2001.

ASSBAR, *Massenzio (sopra l'abside)*, disegni, collocazione “Massenzio. Giubileo. Incarichi minori”, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma.

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Impermeabilizzazione e convogliamento acque, indagini archeologiche. Documentazione fotografica*, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1996.

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Manutenzione straordinaria per la salvaguardia delle strutture monumentali e degli apparati artistici*, collocazione “Massenzio Documentazione”, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1996.

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Previsioni per il restauro*, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1991.

ASSBAR, *Ripristino della struttura in cemento armato dell'impalcato al piano di calpestio della Basilica di Massenzio in Roma*, collocazione “Massenzio Documentazione”, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1991.

ASSBAR, *Basilica di Massenzio. Documenti vari*, testo scritto a mano, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1961.

ASSBAR, *Libretto delle misure*, testo scritto a mano, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1961.

ASSBAR, *Prospetto generale lato CD. Sezione trasversale AB 1:200. Particolare sezione 1:100*, disegno, Soprintendenza Speciale Beni Archeologici Roma, Roma 1961.

