

Il progetto e la costruzione dell'ala Michelucci nella Cassa di Risparmio di Firenze: interventi di adeguamento sismico

Carlotta BIANCHI, Gloria TERENZI, Franco NUTI

SOMMARIO

Il presente lavoro ha come tema lo studio della costruzione della sede storica della Cassa di Risparmio di Firenze, la verifica del suo stato attuale, nonché il progetto di un intervento di adeguamento sismico.

Nella prima parte dell'articolo viene inquadrata la figura di Michelucci come persona ed architetto e la sua idea di edificio in continuità con la città. Inoltre, attraverso numerosi documenti storici concernenti il cantiere, resi disponibili dall'archivio della Cassa di Risparmio, è stato possibile ripercorrere i passi temporali di costruzione dell'edificio dall'appalto all'inaugurazione nel 1957.

Proprio grazie al reperimento di tali documenti e dei disegni originali (architettonici e strutturali attribuiti rispettivamente a Michelucci e Berti), relazioni di calcolo e lettere scambiate fra i due progettisti, sono state scoperte la particolarità della struttura e l'unicità dei telai che compongono i diversi corpi di fabbrica.

Nella seconda parte, l'analisi delle capacità prestazionali dell'edificio allo stato attuale ed il conseguente emergere di notevoli criticità, hanno portato alla scelta della soluzione di adeguamento prevedente l'isolamento alla base dell'edificio al fine di migliorarne la risposta in caso di sisma con minima invasività ed impatto architettonico sull'immobile.

ABSTRACT

The object of this work is the study of the design and the construction of the historical office of the "Cassa di Risparmio di Firenze", his current condition analysis, as well as his seismic assessment.

The first part of the article wants to figure Michelucci out as man and as architect and his idea of building in continuity with the city. Besides, due to the many historical documents concerning the building site, made available by the Cassa di Risparmio archive, it was possible to retrace the temporal steps of the building construction, from the contract until the inauguration in 1957.

Thanks to the retrieval of these documents and of the original drawings (both architectural and structural, attributed respectively to Michelucci and Berti), of the calculation reports and of the letters exchanged between the two designers, it was possible to discover the peculiarity of the structures and the uniqueness of the frames that make up the different bodies of the building.

In the second part, the current condition analysis of the structure and the resulting considerable criticalities, led to choice the base isolation, to get the best structural performances with the less architectural impact on the building.

1. INTRODUZIONE

La sede storica della Cassa di Risparmio di Firenze, situata in Via Bufalini nel centro storico di Firenze a pochi metri dal Duomo (Figura 1), venne progettata dall'architetto Giovanni Michelucci nel 1954 ed inaugurata nel 1957.

Negli anni Cinquanta, la Cassa di Risparmio riscontrò un'importante crescita, e divenne urgente acquisire nuovi ambienti e ridefinire l'immagine della Banca.

Nel 1950 iniziò l'istruttoria interna per la realizzazione del nuovo caveau e nel 1952 si giunse ad un vero e proprio studio di fattibilità.

Durante lo sviluppo del progetto della sede principale, fra gli anni 1952 e 1953, l'architetto Riccardo Gizdulich realizzò il Centro Elettrocontabile sito nell'area nord-ovest del giardino.

Sempre nel 1953, la Banca indisse un concorso di progettazione per stabilire chi tra i professionisti Brizzi, Michelucci e Gizdulich dovesse prendere l'incarico per la costruzione della nuova

sede. Ne uscì vincitore Michelucci, che a metà del 1954 presentò il progetto di massima.

La posa della prima pietra avvenne il 25 Marzo 1954 e la nuova sede fu inaugurata il 29 Settembre 1957 (Nuti 2010).

Il progetto della Cassa di Risparmio fu redatto quindi una decina di anni dopo la fine della seconda guerra mondiale, anni in cui era sempre vivo il tema della ricostruzione post-bellica. Michelucci rifiutava l'idea del falso architettonico come materia di ricostruzione: *"Dalla paura del nuovo nacque l'idea di riconquistare quel che si era perduto, ricostruendo gli edifici dove erano e come erano. Ma non era un'idea; era piuttosto una mancanza di idee"* (Michelucci 1981).

Si ricostruì *"un ibrido che non si capiva se fosse un falso antico o un falso moderno"*, ed insistette dicendo che *"Gli uomini per paura del peggio, spesso rinunciano alla possibilità del meglio"* (Michelucci 1981).

Per questo motivo, con il progetto della banca, Michelucci avrebbe voluto distaccarsi dai falsi antichi dilaganti nel periodo, e creare un edificio moderno ma attento al contesto urbano di una realtà storica come Firenze. Ebbe tuttavia non pochi problemi con la Soprintendenza, che di fatto riuscì a nascondere alla città l'opera michelucciana, grazie ad una facciata ed un porticato falsamente settecenteschi.



Figura 1 – Inquadramento aereo dell'immobile nel centro storico della città

2. MICHELUCCI E LA SEDE STORICA DELLA CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE

2.1 La continuità con la città

Quando Michelucci progettò la Cassa di Risparmio, non intendeva creare un edificio nella ricerca di forme particolari, bensì auspicava di dar vita ad una struttura che fosse in continuità con la città, funzionale e flessibile, e che favorisse i rapporti tra gli uomini.

"Tutta la struttura della Cassa di Risparmio è basata (e spero che almeno in parte lo riveli) su questa mia fiducia nella società, nella città e negli uomini e sul desiderio e la necessità di chiarire e favorire rapporti nuovi, senza voler inventare nulla: né una società nuova, né istituzioni nuove, né una città ideale per una vita ideale. E ancor più, senza voler inventare, quand'anche ne avessi la capacità, delle forme esteticamente interessanti di cui far dono alla contemplazione dei competenti." (Michelucci 1957).

Il primo problema che si pose fu quello urbanistico; voleva creare un rapporto diretto tra la città e l'edificio, collegando la via cittadina (Via Bufalini) con una strada interna all'edificio. *"E come sulla strada cittadina si affacciano tutti i negozi e gli ingressi degli edifici pubblici e privati, così su questa si affacciano i vari uffici ed i servizi: ascensori, scala, sale d'aspetto. In modo che chi entra nella banca è come se continuasse il suo giro per la città."* (Michelucci 1957).

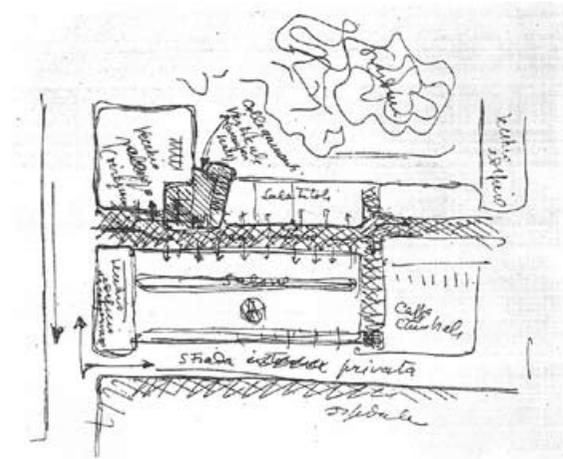


Figura 2 – Bozzetto originale da cui si desume l'idea di continuità dell'immobile con la città (Archivio CRF)

Dai suoi schizzi (Figure 2 e 3) si nota come la strada privata che doveva collegare Via Bufalini a Piazza Brunelleschi, fosse replicata nella "strada interna" che costituisce il percorso tra il corpo uffici ed il salone. Questa doveva fungere da fulcro da cui si diramassero le sale, gli uffici, la scala, e che collegasse spazi interni ed esterni fra loro. Da ogni lato è visibile il giardino. I ballatoi che si affacciano sul salone sia dal lato degli uffici che da quello dell'ospedale sono come altri percorsi cittadini.

"Il passaggio dalla bassa strada interna al salone altissimo, alla saletta di sconto, alla scala sono stati pensati per dare agli ospiti, appunto, il senso di continuità con la città e di partecipazione"

alla vita che si svolge nei vari settori della banca.” (Michelucci 1957).

La varietà dei rapporti tra le persone che vi possono essere nella banca, dalla caotica folla degli impiegati nel salone all’ordinata conversazione a due negli uffici, si ritrova anche nelle strutture: alla facciata sul giardino dell’ala uffici, ordinata in nitidi ritmi geometrici, si oppone la complessa soluzione del salone per il pubblico. Lo spazio viene quindi modellato dalle strutture che seguono, suggeriscono e anche rendono possibili le molteplici relazioni tra le persone (Bardazzi 1957, Borsi 1966).

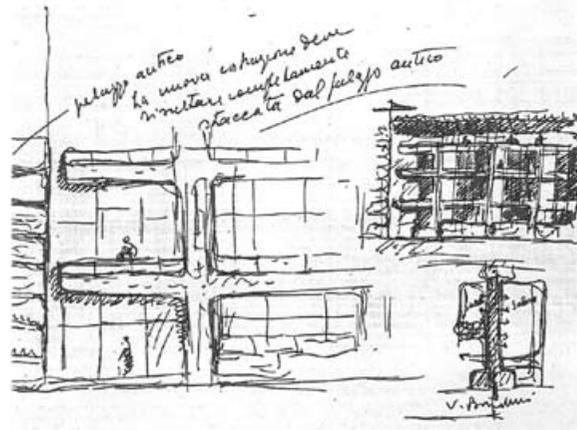


Figura 3 – Bozzetto originale di una sezione e prospetto interno dell’edificio (Archivio CRF)

Michelucci volle inoltre creare un ambiente accogliente, diverso da quelli scostanti e gelidi generalmente ospitanti banche, uffici postali, esattorie ecc.

“Da questi moderni “Lager” si dovrebbe partire, a parer mio, per cercare di trasformarli in nuove “Agorà”, naturali punti d’incontro dove discutere gli interessi comuni, dove imparare a risolvere insieme gli intricati labirinti della contabilità quotidiana, per vincere uniti l’ottusa alterigia dei piccoli e grandi burocrati, per ridare un senso alla propria esistenza e quindi alla città.” (Michelucci 1957).

2.2. Analisi degli aspetti architettonici e costruttivi del complesso edilizio

Il lotto destinato al progetto ha un perimetro rettangolare delimitato a nord-ovest dalle strutture ottocentesche inserite da Faldi in palazzo Pucci e dal prospiciente giardino interno, a sud-est da alcuni edifici di pertinenza dell’arcispedale. A sud-ovest, “lungo via Bufalini, il lotto è chiuso da un’anonima facciata, genericamente “settecentesca”, fortemente difesa dalla Soprintendenza

ai monumenti, tanto da costituire un’aspra polemica.” (Conforti 2006).

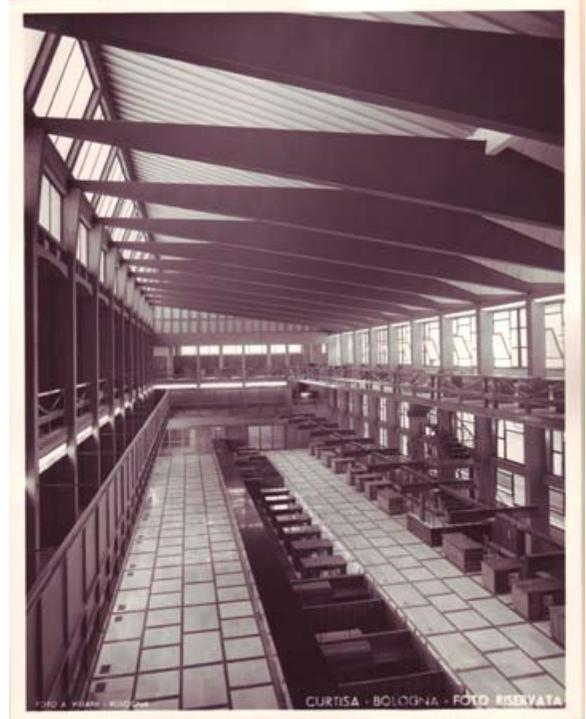


Figura 4 – Vista fotografica del salone interno (Archivio CRF)

Come mostrato in Figura 5, l’organismo edilizio è stato pertanto concepito composto dalle seguenti parti:

A. l’ingresso principale (in blu – Corpo A): è costituito da una porzione di edificio in muratura, fronteggiante via Bufalini, a cui Michelucci affiancò un telaio in cemento armato; contiene uno scantinato destinato ai servizi del personale, un piano terreno dove è stato ricavato l’atrio, e tre piani in elevazione ad uso uffici;

B. il grande salone per il pubblico (in verde – Corpo B): ha dimensioni in pianta 42,08m x 16,40m, con sviluppo su due piani e sotto al quale sono posti l’autorimessa ed il caveau;

C. l’ala uffici (in rosso – Corpo C): è la parte dell’edificio che si svolge lungo il giardino interno ed è composta da quattro piani fuori terra ed uno scantinato in cui si trovano i servizi generali; gli uffici occupano gran parte di questa porzione, separati tramite tramezzature costituite da pareti mobili, spostabili secondo multipli di 3,2m.

D. la cassa cambiali (in giallo – Corpo D): un corpo di fabbrica quasi quadrato (con lato circa pari a 16m) che presenta nello scantinato il magazzino stampati, al piano terreno la cassa cambiali e al primo piano gli uffici.

Il nuovo edificio doveva contenere il salone per le operazioni, la sala titoli, la cassa cambiali, i nuovi uffici dei dirigenti, oltre al caveau ed ai garage

dell'interrato. Il corpo uffici (C) e il salone per il pubblico (B) costituiscono due corpi allungati, leggermente slittati, distinti sia sotto il profilo funzionale che spaziale: l'uno verso il giardino interno che ospita gli uffici dirigenziali e l'altro verso l'ospedale, occupato dal salone delle operazioni per il pubblico.

La nuova banca presenta vari ballatoi che si affacciano sul salone, cosicchè clienti e impiegati vengano immessi in un gioco incrociato di spazi e di vedute. Quello al piano ammezzato che si affaccia sul salone dal corpo uffici è sostenuto da doppie mensole ed è adibito in parte a uffici e in parte a salette d'attesa per il pubblico, consentendo la vista dall'alto delle operazioni che si svolgono al piano terreno. Il ballatoio è poi replicato anche dal lato opposto del salone ed un ultimo trova affaccio sul giardino dal blocco uffici. Il salone delle operazioni è impostato su due imponenti telai longitudinali che reggono le travi trasversali in acciaio sagomate nel soffitto, fortemente inclinato e per metà coperto da voltine coniche, proiettate in facciata.

Il prospetto che si affaccia verso l'ospedale presenta vetri opachi, che garantiscono il passaggio della luce, ma impediscono la vista verso l'esterno. L'interesse principale è infatti volto al giardino, reso ben visibile sul fronte della corte interna da vetrate completamente trasparenti, che costituisce un elemento architettonico importante dell'immobile; ogni parte dell'edificio è infatti rivolta ad esso, anche se in maniera differente. Tra il corpo in muratura comprendente l'ingresso principale e la zona uffici, Michelucci ruotò verso il verde anche la monumentale scala.

Invece di chiudersi e proteggersi da interventi esterni, lo spazio si apre all'interesse del visitatore ponendolo in uno stato di confidenza con l'organismo "banca". Se da un lato quindi, lo spazio aperto ha fini psicologici, dall'altro ha anche intenti funzionali di sicurezza: infatti, si ha così un controllo migliore su ciò che accade in ogni parte dell'edificio (Collegio degli Ingegneri 1958).

Con l'opera della Cassa di Risparmio Michelucci fonde i due caratteri della banca moderna: il deposito di beni, il tesoro, e il luogo di scambio e contrattazione. E' l'uomo che opera la sintesi tra l'area del "banco" (ovvero il salone aperto al pubblico) ed il "tesoro" (la zona uffici), che partecipa come cliente o come impiegato, che scende lo scalone ammirando ora il giardino, ora il salone, e che percorre tutto il complesso attraverso la "strada interna" (Lugli 1958).

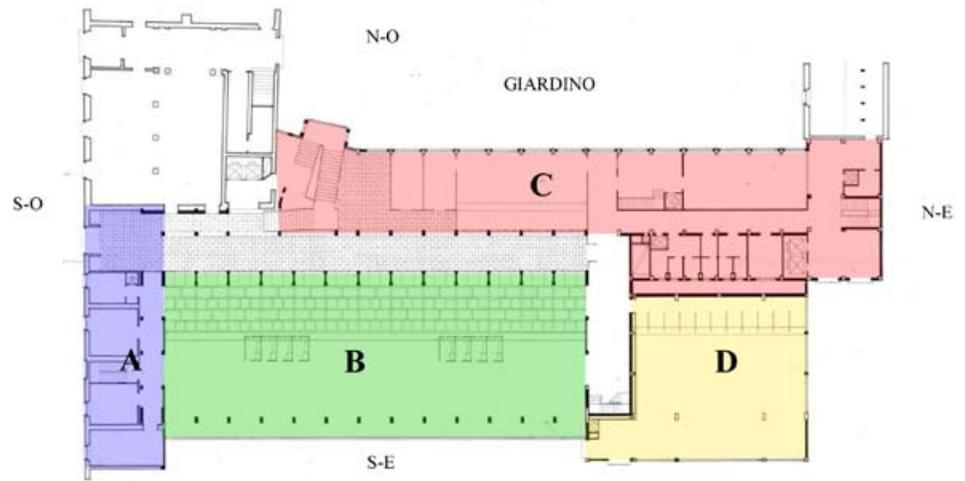


Figura 5 - Pianta del piano terra con individuazione dei differenti blocchi

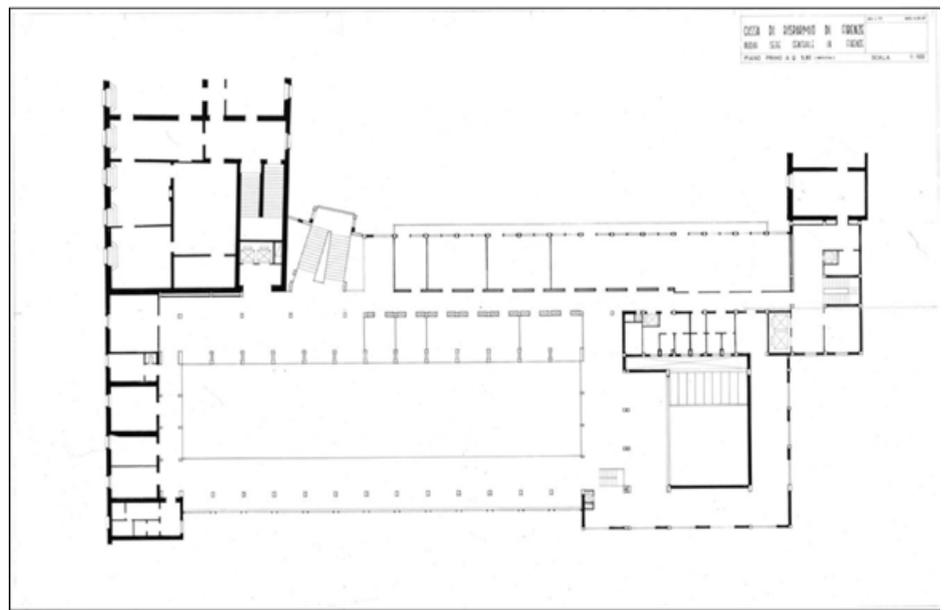


Figura 6 - Pianta del piano primo (Archivio CRF)

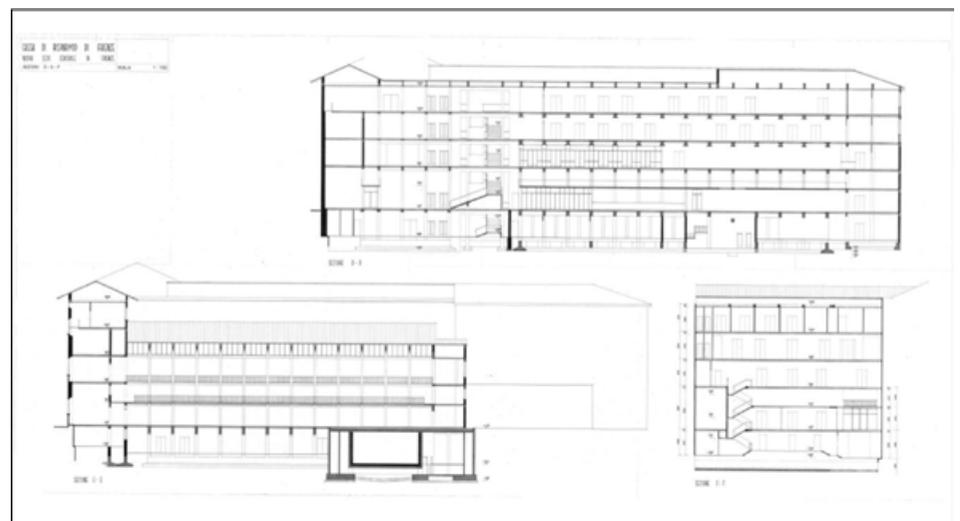


Figura 7 - Sezioni longitudinali coinvolgenti i vari blocchi (Archivio CRF)

Sebbene Michelucci abbia ribadito più volte che la progettazione della Cassa di Risparmio non fosse spinta dalla ricerca di un'architettura accattivante ma dall'indagine di vitalità dell'edificio e della sua continuità con la città, le forme che la banca esibisce sono tutt'altro che convenzionali ed anonime.



Figura 8 – Vista fotografica del salone da sotto il telaio lato ospedale (Archivio CRF)

Ne sono esempio il telaio sul fronte ospedale, la copertura, lo scalone, la facciata sul giardino, in cui l'architetto espresse alcune di quelle caratteristiche costruttive che spesso si ritrovano nelle sue architetture: lo sdoppiamento e/o l'iterazione delle membrature e la variazione delle sezioni lungo l'asse prevalente del componente (Nuti 2010).

Il telaio sul fronte ospedale (Figure 8 e 9) è costituito da una doppia mensola che sorregge il ballatoio del piano ammezzato (Archivio Berti). Essa

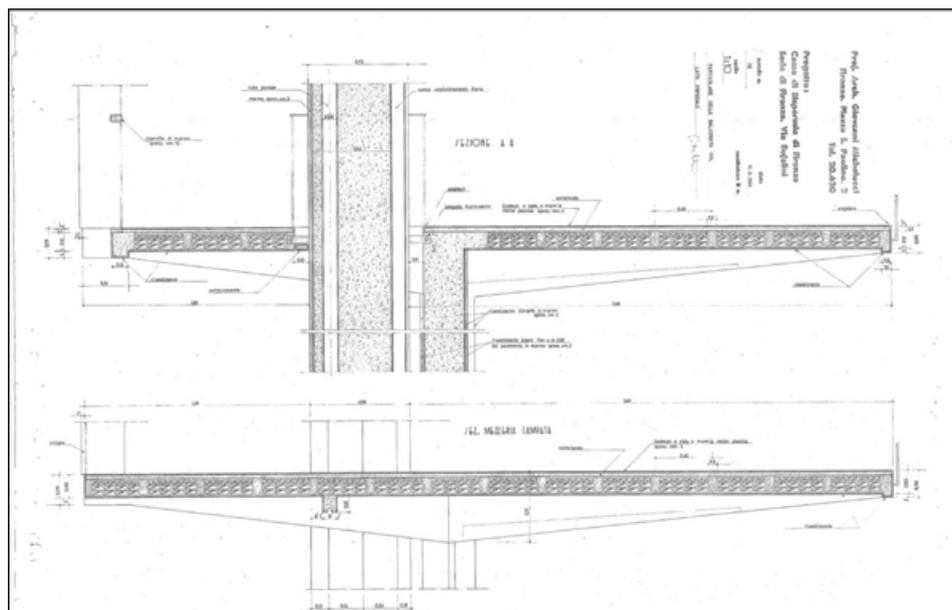


Figura 9 – Sezione esecutiva della doppia mensola che sorregge il ballatoio del telaio dal lato ospedale (Archivio CRF)

ha la sua luce maggiore verso il salone e quella minore verso l'ospedale. Si ringrossa al centro, nel punto di momento maggiore, e si rastrema nelle parti terminali, dando armonia a tutto il telaio.

Le due mensole in copertura, collegate a quelle del ballatoio da un pilastro in falso, chiudono il telaio ma non sostengono le travi come potrebbe sembrare ad un primo sguardo.

Queste ultime, in lamiera sagomata a "V" e verniciate (Figura 10), sono appoggiate sul pilastro in corrispondenza del lato uffici ed incernierate sul pilastro del lato ospedale. Portano le voltine nella parte terminale, mentre la parte di lamiera piegata secondo un profilo "Zores" scarica il peso sulla trave di collegamento delle travi a "V" e si appoggia sul pennacchio del pilastro del lato uffici (Berti 1958).



Figura 10 – Vista fotografica del salone verso la facciata del lato ospedale (Archivio CRF)

Lo scalone principale (Figura 11) è un elemento significativo nell'architettura dell'edificio; Michelucci nei suoi progetti prestò sempre molta attenzione alle scale, considerandole dei veri e propri spazi viventi.

Lo scalone della banca viene ruotato dall'architetto in modo da indirizzare il suo asse verso il centro del giardino, altresì rendendolo un elemento di collegamento tra la vecchia e la nuova costruzione (Michelucci 1957). La struttura è particolare, formata da pilastri e travi che talvol-

ta appoggiano in falso su altre travi; i gradini in marmo coprono piccole IPE d'acciaio di sostegno. Il calcestruzzo, in questo caso come ovunque, viene lasciato a vista e la pavimentazione è realizzata generalmente in marmo pregiato.



Figura 11 – Vista fotografica dello scalone (Archivio CRF)

Michelucci esibì spesso il calcestruzzo, credendo che la nobiltà di un materiale non consistesse nel materiale stesso ma nella forma che questo assuma per opera dell'uomo. Egli ritenne essere immorale ogni forma di rivestimento e coprì il calcestruzzo solo quando non poté farne a meno: con il marmo o gres per i pavimenti, e con il legno per quelle zone più soggette al deterioramento (Michelucci 1957).

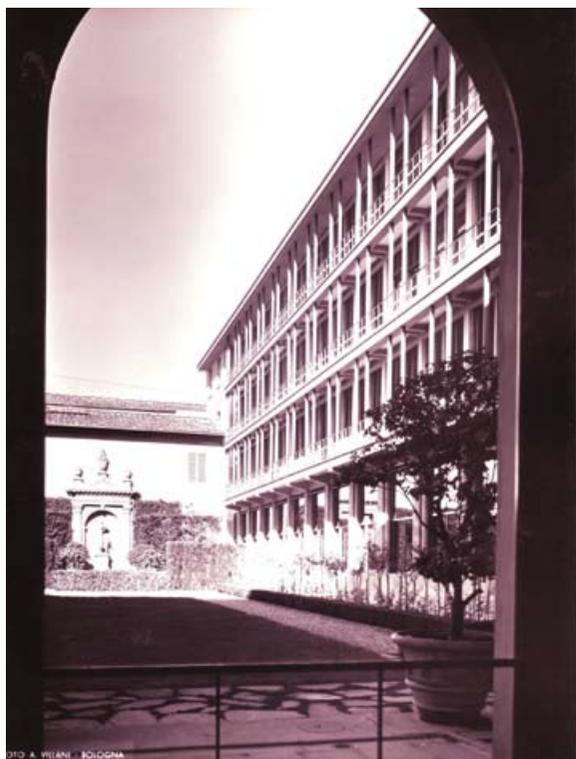


Figura 12 – Vista fotografica della facciata lato giardino (Archivio CRF)

Gli infissi sono tutti in alluminio anodizzato bronzo e la protezione dai raggi solari è data da vetri traslucidi termolux, sul fronte ospedale, e da veneziane esterne per il lato giardino dove i vetri sono trasparenti (Berti 1958).

La facciata sul giardino (Figura 12) è molto più “frammentata” rispetto a quella dal lato dell'ospedale; un ballatoio esterno corre lungo tutti i piani ed il prospetto è scandito dai pilastri in cemento armato, tutti ad un passo costante di 3,2 m, e dai pilastrini in acciaio posti in falso sulle mensole del ballatoio.

Michelucci venne osteggiato dalla Soprintendenza nell'obiettivo di continuità con la città a cui aspirava (Michelucci 1957).

Avrebbe voluto abbattere la vecchia facciata su Via Bufalini, portando il nuovo edificio ad affacciarsi direttamente sul filo stradale (Figura 13).

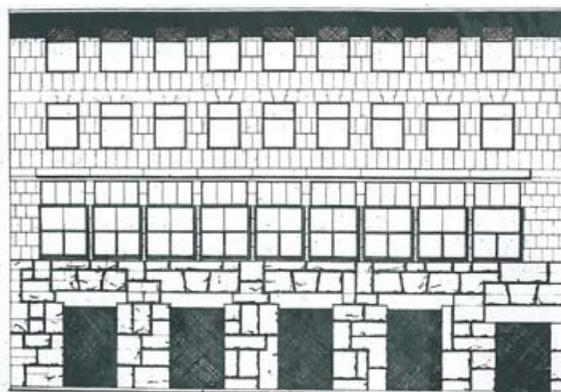


Figura 13 – Proposta di prospetto della facciata su Via Bufalini

A niente servirono le varianti che l'architetto propose per convincere la Soprintendenza che invece impose non solo il mantenimento della facciata preesistente, ma addirittura la sua falsificazione; infatti, al fine di renderla più “settecentesca” fece aprire nuove finestre ed aggiungere cornici lapidee.

Nel 1960 anche la facciata su Piazza Santa Maria Nuova venne occultata da un portico a tre campate, progettato dall'architetto Nello Bemporad. Con il vincolo imposto, l'edificio rimaneva chiuso in un cortile, e veniva meno una delle caratteristiche su cui Michelucci aveva impostato l'architettura dell'edificio, ovvero la continuità spaziale e sociale con la città. Lui stesso ne commentò come segue il risultato (Figura 14):

“Oggi la facciata principale della nuova sede della Cassa di Risparmio è un falso – come tanti ve ne sono a Firenze – un volto melenso di più (forse uno dei più melensi) che mortifica l'intelligenza e la cultura e non consolida certo la fiducia negli “organi competenti”.” (Michelucci 1957).



Figura 14 – Vista fotografica del prospetto su Via Bufalini

2.3. L'appalto e la costruzione

Disponendo della documentazione inerente la gestione dell'intero processo costruttivo da parte del Direttore Generale (DG), del Consiglio di Amministrazione della Cassa (CDA) e dell'Ufficio tecnico (UT), ed in particolare degli stati di avanzamento dei lavori, è stato possibile ricostruire le fasi di appalto e di costruzione (Archivio CRF). Si riporta di seguito, uno schema sintetico che riassume, in ordine temporale, le fasi di gestione e costruzione, gli operatori che ne fecero parte e le relative fonti (Figure 15a e 15b).

Nelle successive Figure 16 e 17 vengono inoltre mostrate due immagini fotografiche rappresentative del cantiere dell'opera.

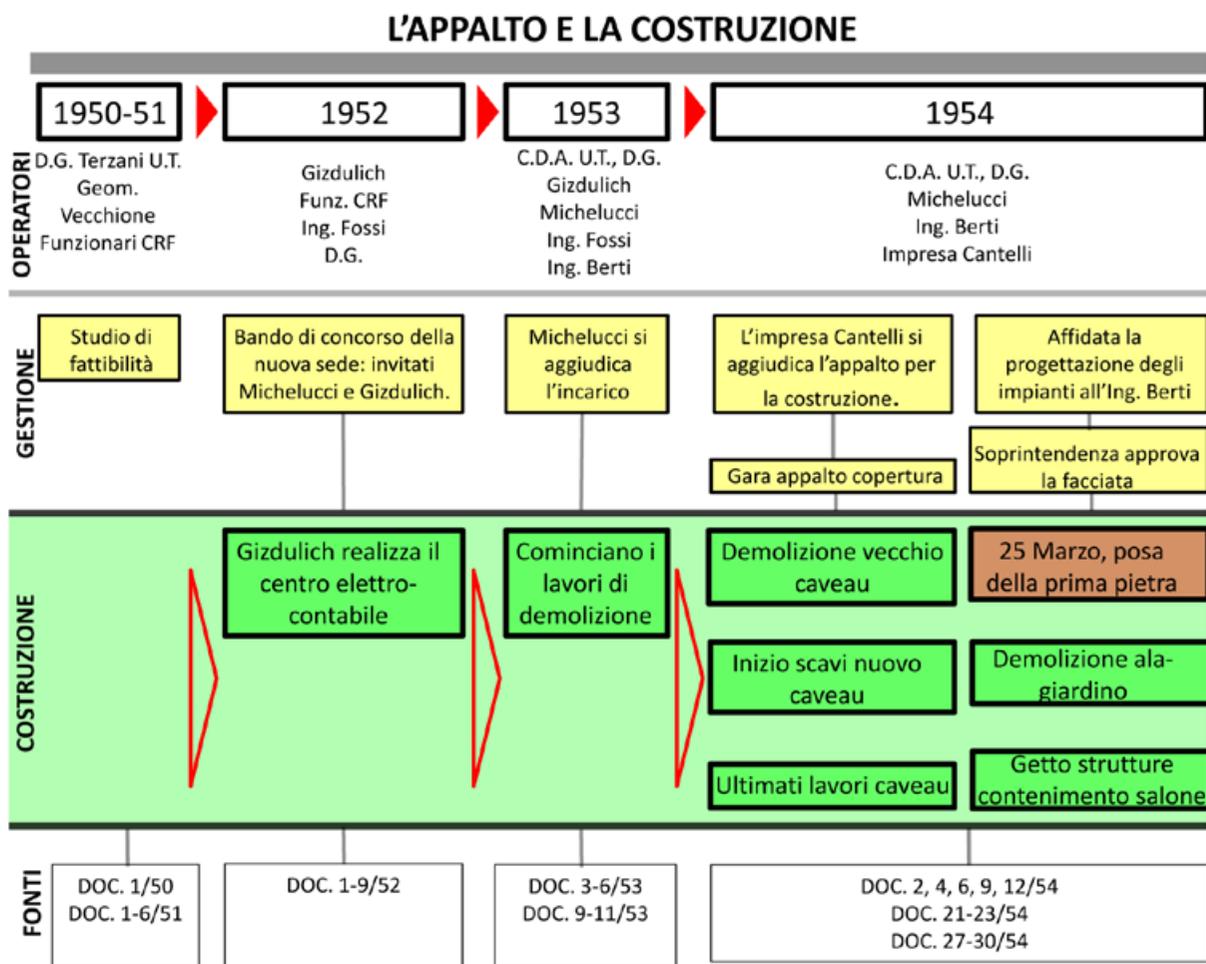


Fig.15 a - Schema sintetico riepilogativo delle fasi di gestione e costruzione dell'opera

L'APPALTO E LA COSTRUZIONE

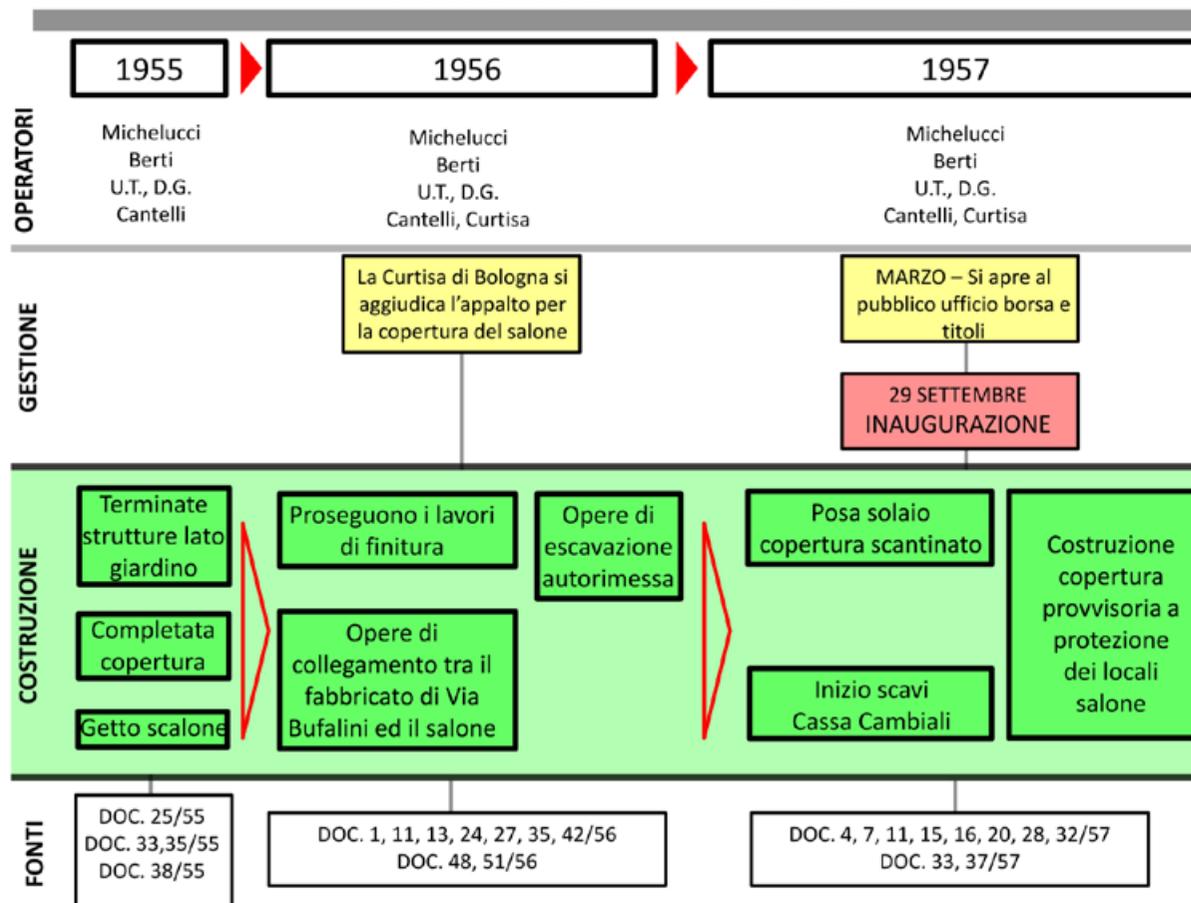


Figura 15 b – Schema sintetico riepilogativo delle fasi di gestione e costruzione dell'opera

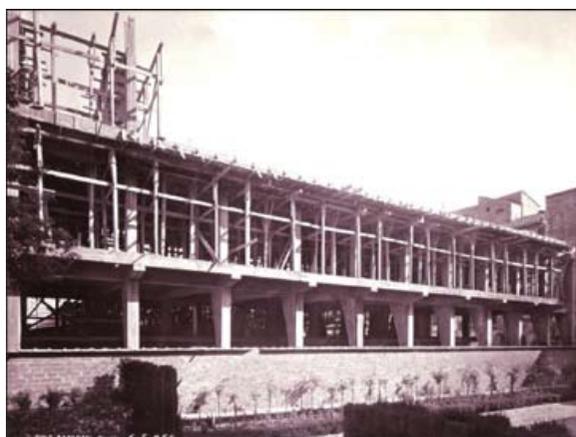


Figura 16 – Cantiere, vista fotografica della fase di completamento della facciata del lato giardino (Archivio CRF)



Figura 17 – Cantiere, vista fotografica della fase di edificazione del salone interno (Archivio CRF)

3. IL PROGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO

3.1 Descrizione della struttura

Come già posto in luce nei precedenti paragrafi, la Cassa di Risparmio presenta una struttura piuttosto complessa, caratterizzata da sette corpi principali dalle caratteristiche distinte (Figura 18):

- **E.T.:** l'Edificio Terminale (in arancio);
- **T.D. e T.S.:** la zona uffici, che a sua volta si suddivide nel Telaio Doppio (T.D. - ciano) e nel Telaio Semplice (T.S. - viola);
- **S:** il Salone (S, blu);
- **T.OSP.:** il Telaio del salone sul lato dell'OSPedale di Santa Maria Nuova (rosa);
- **I.P.:** l'Ingresso Principale su Via Bufalini (verde scuro);
- **68-48:** il telaio collegante i pilastri 68 e 48 (verde chiaro);
- **C.C.:** la Cassa Cambiali (giallo);
- **Sc.:** lo Scalone (rosa);

Le strutture di fondazione sono costituite quasi esclusivamente da travi rovesce, eccetto qualche plinto utilizzato per la Cassa Cambiali. Le coperture, a parte quella del salone che sarà trattata in maniera specifica nei successivi paragrafi, sono a falde con manto in coppi e tegole. Quella invece della Cassa Cambiali è piana ed ha un rivestimento in cemento retinato.

Dalla relazione tecnica di Berti emerge la presenza di giunti di separazione tra i blocchi, resi necessari dalla diversità delle caratteristiche strutturali di ciascun corpo e degli elementi vicini. A questo riguardo si osserva come il complesso principale con telai in c.a. della Cassa di Risparmio si trovi in adiacenza a parti in muratura in corrispondenza dell'ingresso principale e dell'edificio terminale. Inoltre, solo nella Cassa Cambiali si riscontra un raddoppio di pilastri, mentre i restanti giunti sono stati predisposti sulle travi e sui pilastri in modo da evitare squilibri estetici.

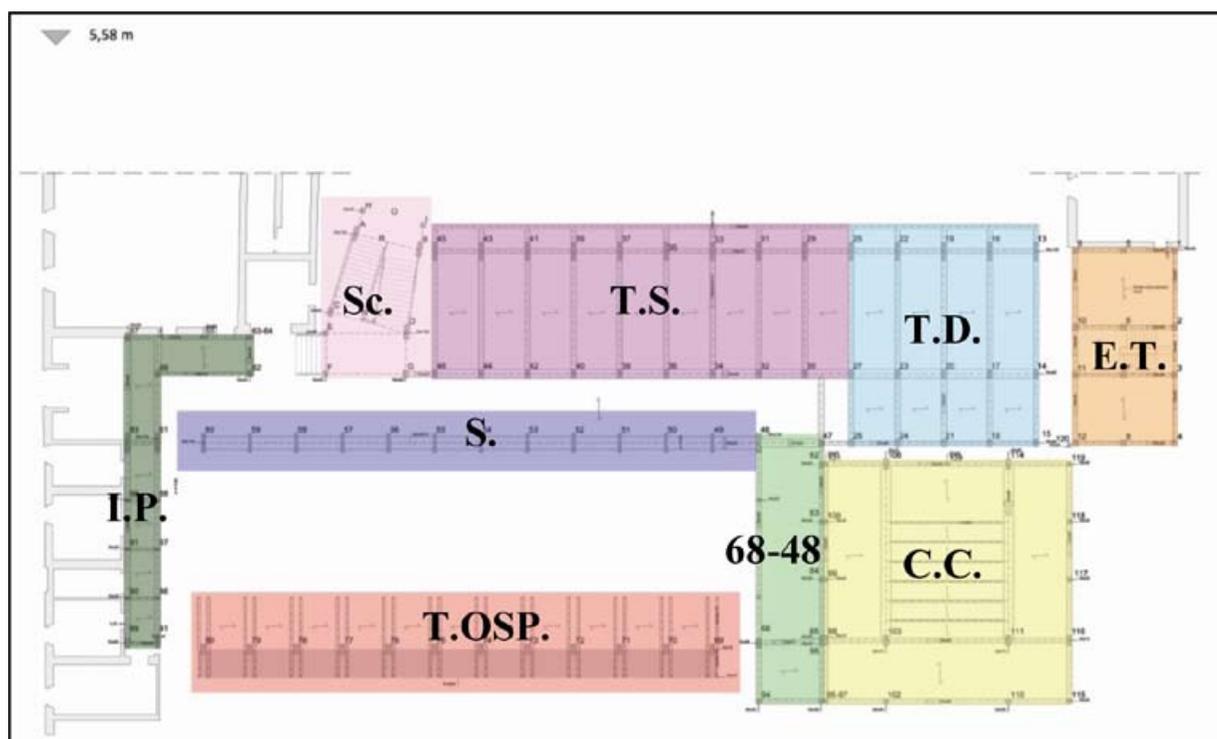


Figura 18 - Planimetria zonizzata

Data la complessità e l'estensione della struttura, vengono riportate le sole verifiche relative ai telai riquadrati in Figura 19, massimamente sollecitati. Inoltre, dal momento che il livello di conoscenza della struttura risulta essere intermedio tra un LC1 e un LC2, le stesse verifiche sono state con-

dotte per entrambi i livelli di conoscenza. Le caratteristiche dei materiali, non essendo prevista alcuna indagine diagnostica, sono state ipotizzate sulla base della normativa del tempo (Regio Decreto 16/11/1939 n°2229) nonché delle relazioni tecniche reperite.

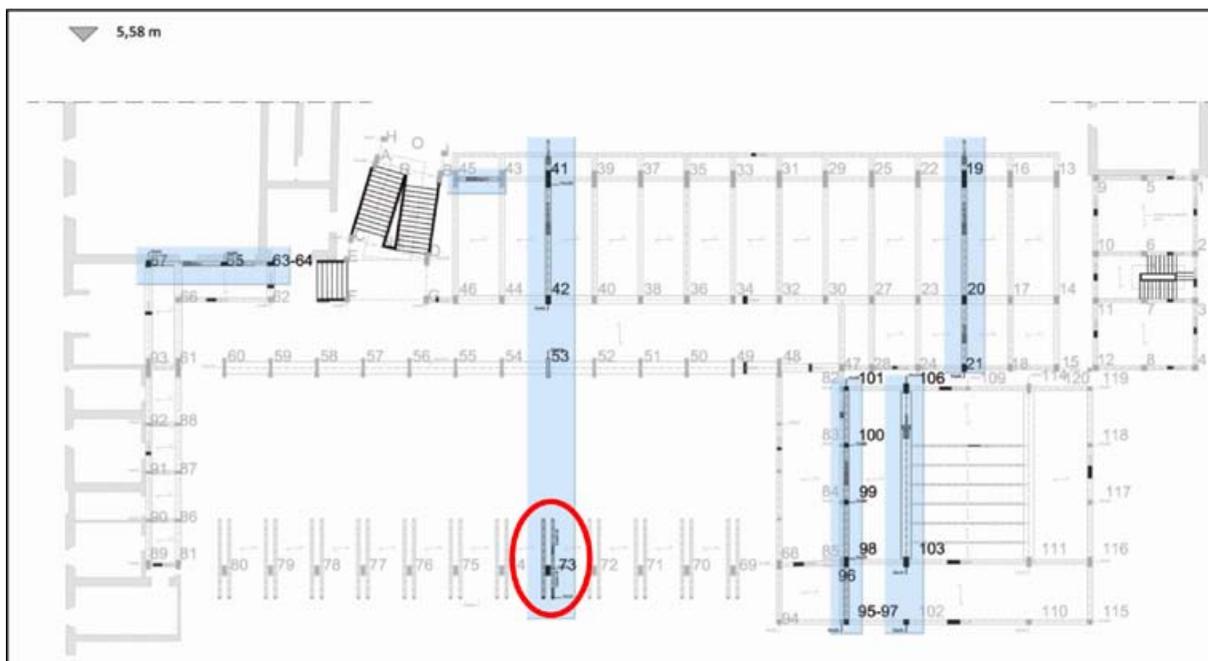


Figura 19 – Planimetria con evidenziati i telai massimamente sollecitati

3.2 Analisi statica per carichi verticali

Le verifiche per i soli carichi verticali sono state eseguite a seguito di un'analisi statica, condotta in riferimento agli Stati Limite Ultimi, utilizzando un modello agli elementi finiti definito tramite il codice di calcolo SAP 2000NL (CSI 2012).

Le combinazioni di carico analizzate sono due, rispettivamente con carico neve o carico accidentale assunti alternativamente come principali. In Figura 20 viene riportato l'istogramma riassuntivo degli esiti ottenuti in termini di percentuali di verifiche non soddisfatte, suddivisi per elemento (travi e pilastri) e livello di conoscenza (C.V. LC1 ed LC2 = Carichi Verticali LC1 ed LC2).

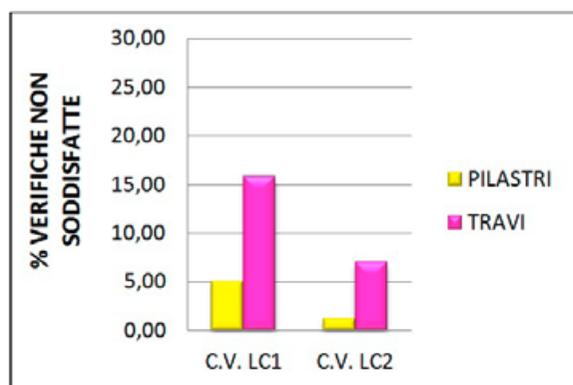


Figura 20 – Percentuali di verifiche non soddisfatte per l'analisi statica condotta in relazione ai soli carichi verticali

Dai risultati si evince come i pilastri abbiano coefficienti di sicurezza più ampi rispetto alle travi; in particolare, i pilastri non riscontrano problemi nei confronti della pressoflessione e sono comunque generalmente verificati anche relativamente al taglio.

Per quanto riguarda le travi, essendo armate sia di staffe che di ferri piegati, soddisfano generalmente le verifiche per taglio, mentre non sempre accade lo stesso per flessione. Infine, mentre le criticità dei pilastri sono localizzate nella Cassa Cambiali, quelle delle travi sono distribuite in forma più o meno rilevante pressoché in tutti i telai studiati.

3.3. Analisi dinamica lineare

Data l'irregolarità e la complessità della struttura, l'analisi dinamica lineare con spettro di progetto, viene condotta assumendo in prima istanza un fattore di struttura $q=1$.

Nella successiva Figura 21 vengono mostrati i modelli definiti per i tre principali corpi in cui è suddivisa la struttura. Dall'analisi modale è emerso come il Corpo 1 (comprensivo dell'edificio terminale, del telaio doppio, del telaio semplice, dello scalone, dell'ingresso principale e del salone - Figura 21a) abbia un periodo fondamentale di vibrazione T_1 , pari a 0,72s; il Corpo 2, includente il telaio lato ospedale (Figura 21b) è invece caratterizzato da $T_1 = 0,65s$ ed infine il Corpo 3, relativo alla Cassa Cambiali (Figura 21c), ha un periodo $T_1 = 0,80s$.

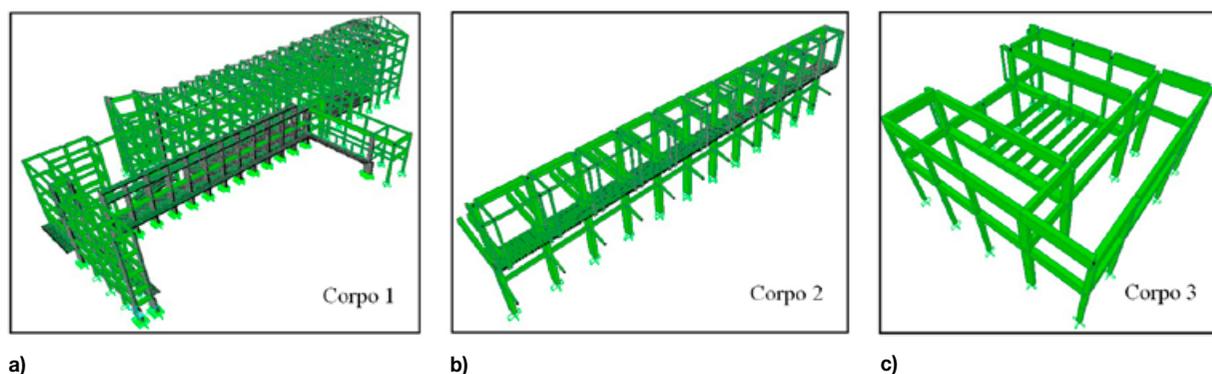


Figura 21 – Modelli agli elementi finiti relativi ai Corpi 1 (a), 2 (b), 3 (c)

In Figura 22 viene riportato l'istogramma riassuntivo degli esiti ottenuti in termini di percentuali di verifiche non soddisfatte, suddivisi per elemento (travi, pilastri e nodi) e livello di conoscenza (Stato Attuale per Livello di Conoscenza 1= S.A.LC1; Stato Attuale per Livello di Conoscenza 2= S.A.LC2).

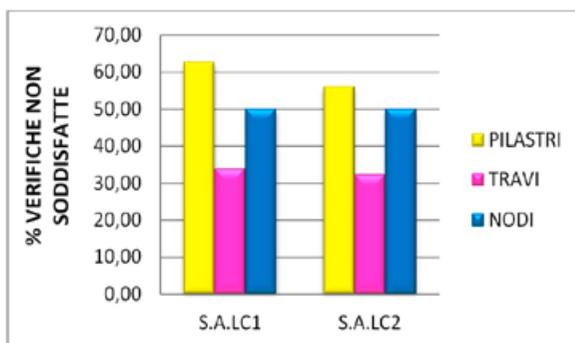


Figura 22 – Percentuali di verifiche non soddisfatte risultanti dall'analisi dinamica lineare condotta allo stato attuale

Dall'analisi dei risultati si evince come le percentuali di elementi non verificati in questo caso siano elevate: per i pilastri è superiore al 55%, per le travi è circa pari al 30%. In generale si può altresì affermare che il principio della gerarchia delle resistenze non è affatto rispettato, risultando le travi più resistenti dei pilastri.

Il controllo sugli spostamenti è stato effettuato sia allo Stato Limite di Danno nel rispetto delle prescrizioni (NTC 2008), sia allo Stato Limite di salvaguardia della Vita, condotto seguendo invece i limiti assunti dalla normativa americana ASCE-41 (ASCE-41 - 2006), che fissa lo spostamento relativo al piano limite D_{max} , pari a $0,02 \cdot h$, essendo h l'altezza interpiano.

I risultati denotano che solo una percentuale del

10% di elementi non soddisfa le verifiche allo SLD in direzione U1, ovvero lungo l'asse X, e di circa il 4% lungo U2, ovvero lungo l'asse Y. Si ha invece un totale soddisfacimento delle limitazioni imposte dalla normativa americana per quanto riguarda lo SLV.

3.4. Analisi dinamica incrementale

La significativa irregolarità della struttura ha indotto alla riverifica dei risultati ottenuti dalle precedenti indagini effettuando un'analisi dinamica incrementale per integrazione al passo di storie d'accelerazione caratterizzate da ampiezze corrispondenti ai vari livelli di prestazione (SLC, SLD, SLV).

La duttilità dei principali elementi strutturali è stata valutata in termini di capacità rotazionale degli stessi.

I risultati sintetici rappresentativi delle percentuali di elementi non verificati, mostrati in Figura 23, confermano le criticità già evidenziate dall'analisi dinamica lineare, anche se i dati qui riportati risultano essere significativamente inferiori.

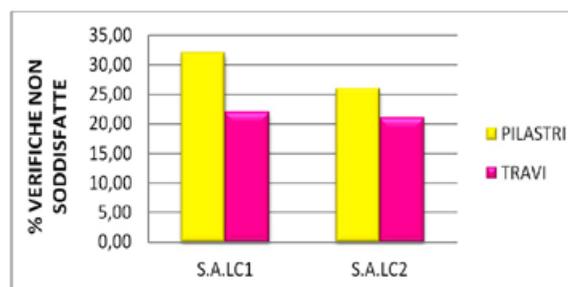


Figura 23 – Percentuali di verifiche non soddisfatte risultanti dall'analisi dinamica al passo condotta allo stato attuale

4. SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO PER ISOLAMENTO ALLA BASE

Per porre rimedio alle problematiche rilevate, la cui gravità sarebbe peraltro accentuata da un cambio di destinazione d'uso della Cassa di Risparmio da banca ad auditorium come ipotizzato nel presente studio, è stato proposto un intervento globale di adeguamento sismico dell'immobile consistente nell'isolamento alla base mediante appoggi di tipo pendolare a doppia curvatura (DFP) da posizionare alla testa dei pilastri del piano interrato, ad oggi adibito a parcheggio e magazzino (Figura 24).

Come discusso nei successivi paragrafi, ad esso sono stati altresì aggiunti ulteriori interventi locali su tutti quegli elementi con criticità di resistenza già solo per carichi verticali.

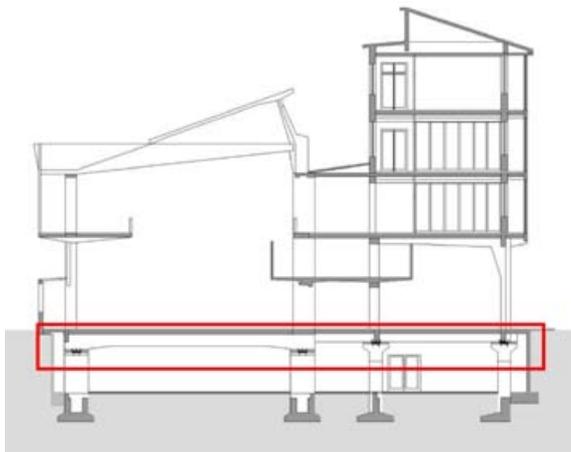


Figura 24 - Sezione trasversale dell'edificio isolato

I DFP sono dispositivi il cui funzionamento deriva dal principio del pendolo ed operano secondo lo schema indicato in Figura 25, sfruttando la possibilità di scorrimento su due superfici con curvatura opposta atta ad annullare effetti eccitativi di modi verticali, nonché a ridurre spostamenti altrimenti eccessivi (Patalano et al. 2009). Al fine

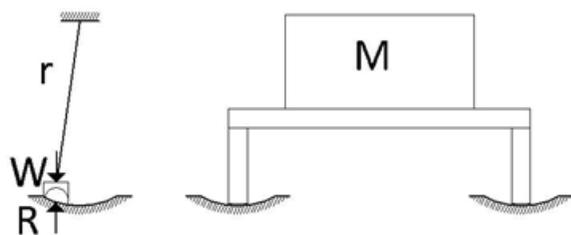


Figura 25 - Principio di funzionamento di un isolatore di tipo pendolare

di controllare l'attrito opposto al movimento vengono utilizzati opportuni materiali termoplastici lubrificati.

In figura 26 vengono mostrate una vista in prospettiva ed una in pianta del dispositivo in condizione di quiete e di scorrimento relativo delle piastre concave e della rotula interposta.

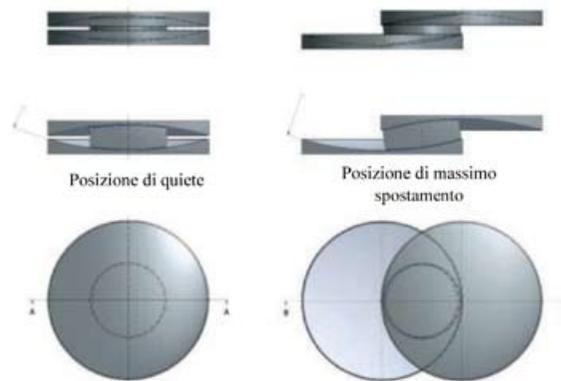


Figura 26 - Vista in prospettiva ed in pianta di un isolatore DFP nella condizione di quiete e di massimo spostamento

La scelta è stata fatta ricadere su tali isolatori principalmente in ragione della dipendenza della rigidezza ad essi connessa dalla massa dell'edificio, tramite il carico N su di esso gravante, espressa come segue:

$$K_e = N \left(\frac{1}{R} \cdot \frac{\mu}{X} \right) \quad (1)$$

essendo R il raggio di curvatura, μ il coefficiente di attrito ed X lo spostamento massimo di progetto, da cui consegue la seguente espressione per il periodo T, evidentemente dipendente solo da R:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_e}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2)$$

In fase progettuale ciò consente di annullare un qualunque effetto torsionale particolarmente adducibile da irregolarità in pianta dell'edificio, semplicemente prescegliendo isolatori con

uguale curvatura e capacità portante anche differente (Christopoulos e Filiatrault 2006).

In Figura 27 viene mostrato il ciclo isteretico di un DFP con indicati i parametri più significativi di forza massima, F_{MAX} , forza di attrito limite di attivazione, F_0 , rigidità di secondo ramo, K , e rigidità secante equivalente, K_e .

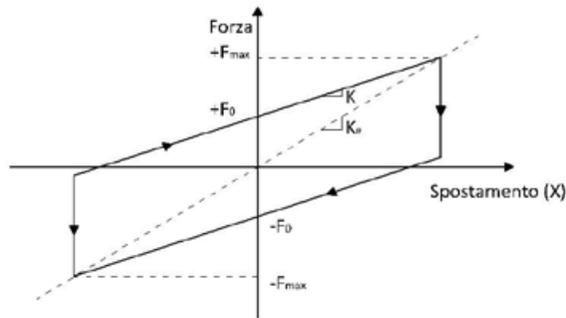


Figura 27 – Ciclo d'isteresi caratterizzante un dispositivo del tipo DFP

In ragione dei carichi agenti e del dato di spostamento di progetto definito in relazione alle massime dimensioni dei giunti, già presenti e da realizzare fra struttura mobile e corpi adiacenti, i complessivi 129 dispositivi prescelti appartengono alle seguenti cinque categorie, disposti in pianta come indicato in Figura 28:

- D 130/500: $N \leq 500$ kN (Verde)
- D 130/500: $500 < N \leq 1000$ kN (Arancio)
- D 270/500: $1000 < N \leq 1500$ kN (Ciano)
- D 270/500: $1500 < N \leq 2000$ kN (Blu)
- D 400/500: $2000 < N \leq 2400$ kN (Rosso)

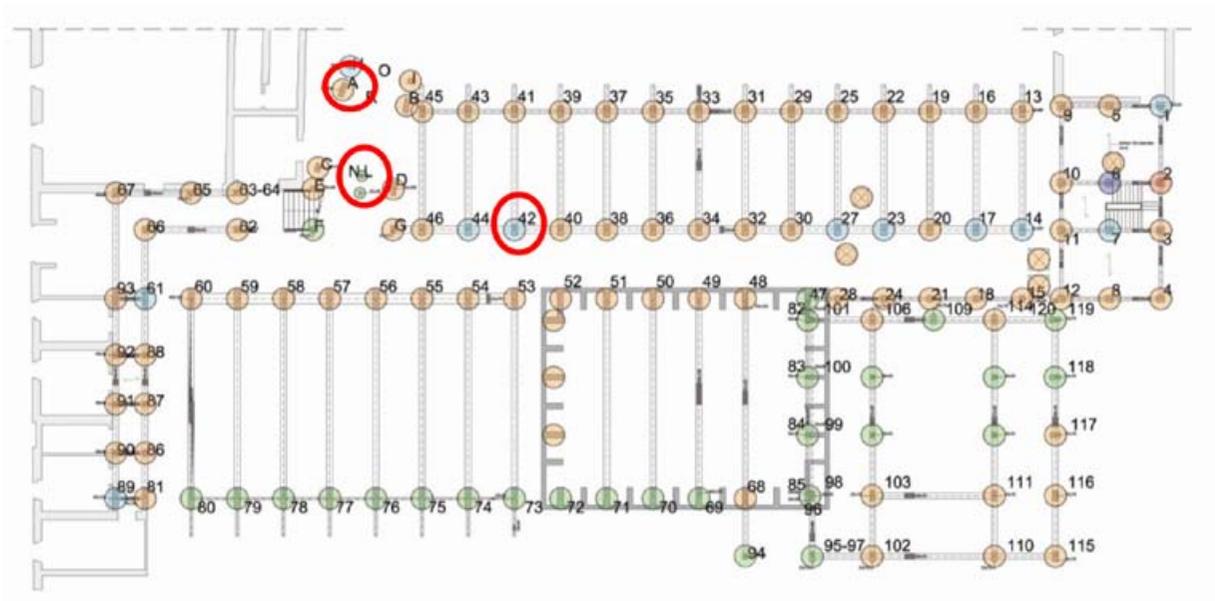


Figura 28 – Disposizione in pianta degli isolatori

L'analisi dinamica per integrazione al passo è stata effettuata anche in questo caso mediante il codice di calcolo SAP2000NL, applicando il procedimento semplificato di analisi non lineare del tipo FNA (Wilson 2004, Sorace et al. 2006). Il periodo fondamentale di vibrazione è risultato di $T_{is} = 2,42s$,

tale da ridurre significativamente le accelerazioni sul telaio.

A titolo di esempio in Figura 29b viene mostrato il ciclo isteretico del dispositivo posto al di sotto del pilastro 42, evidenziato in pianta in Figura 28 e nella vista assonometrica del modello in Figura 29a.



a

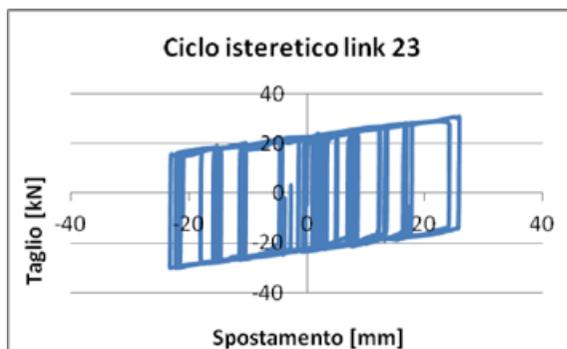


Figura 29 - a) Modello agli elementi finiti della struttura; b) ciclo isteretico dell'isolatore posto sotto il pilastro 42.

Gli spostamenti massimi stimati in valore assoluto per gli isolatori nella condizione limite di collasso risultano essere quelli indicati in Tabella 1, sensibilmente inferiori allo scorrimento limite di 250 mm.

Tabella 1 - Spostamenti massimi degli isolatori allo SLC

U1 = Z	U2 = X	U3 = Y
mm	mm	mm
1	44	39

In particolare si osserva come i maggiori spostamenti si riscontrino nei pilastri dello scalone: la massima componente verticale ha infatti coinvolto il link 89 (pilastro N dello scalone - Figura 28), mentre le altre componenti orizzontali, sia lungo X che lungo Y, sono riferite al link 82 (pilastro A dello scalone - Figura 28).

Le verifiche sono state condotte agli SLV sia sugli elementi duttili che su quelli fragili in termini di confronto tra forze e resistenze. E' stato anche effettuato un controllo degli spostamenti sia allo SLD che allo SLV, in quest'ultimo caso assumendo a riferimento i limiti indicati dalla normativa americana ASCE 41 ($D_{max}=0,02 \cdot h$), come nel caso precedentemente discusso dell'analisi allo stato attuale.

Dai risultati ottenuti emerge come la percentuale di verifiche di resistenza non soddisfatte sia: per i pilastri ed i nodi circa pari al 5%, per le travi dell'11%.

Il controllo degli spostamenti ha invece fatto riscontrare un pressoché totale soddisfacimento dei limiti di norma per entrambi i livelli SLD ed

SLV, evidenziando un significativo innalzamento delle prestazioni strutturali.

E' stata infine valutata l'evenienza del martellamento del complesso esaminato con gli edifici adiacenti, data la diversità del comportamento dinamico dei vari corpi coinvolti nell'intervento con quelli attigui. Si osserva infatti come il telaio in cemento armato della Cassa di Risparmio si trovi a ridosso di paramenti murari su tre allineamenti differenti: Edificio Terminale 1 - 9; Ingresso Principale 67 - 64; Ingresso Principale 93 - 89 (Figura 30).

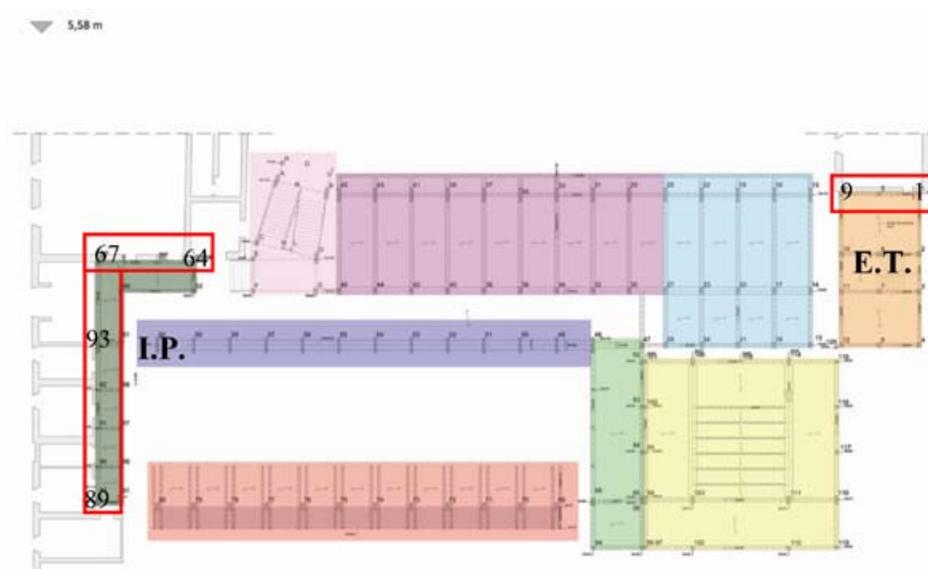


Figura 30 - Indicazione delle zone di martellamento

A questo scopo sono stati stimati gli spostamenti relativi tra i telai in c.a. e la muratura adiacente. In Tabella 2 vengono riportati i risultati di tale indagine e le dimensioni dei giunti sugli stessi allineamenti, ove presenti, che confermano la

sussistenza del problema. Allo scopo di evitarne l'attivazione sono stati pertanto proposti i seguenti ulteriori interventi.

Tabella 2 – Spostamenti delle zone di martellamento

ZONA DI MARTELLAMENTO	SP. GIUNTO mm	SLD mm	SLV mm	SLC mm
E.T. 1 – 9	0	15	32	38
I.P. 67 - 64	0	18	29	36
I.P. 93 - 89	20	56	119	151

Per quanto riguarda il telaio dell'edificio terminale è stato previsto di eseguire scassi profondi circa 100 mm; tale soluzione è resa possibile dal fatto che la muratura ha spessore di 350 mm e non svolge funzione portante. Analoghe considerazioni possono essere fatte riguardo al telaio dell'Ingresso Principale 67 – 64, dove la muratura è di circa 400 mm.

Più problematico è risultato l'intervento sul telaio dell'ingresso principale 93 – 89: secondo questo allineamento lo scasso necessario sarebbe infatti di almeno 200 mm su di una muratura avente spessore solo di 250 mm. Tale considerazione ha motivato la demolizione della stessa parete con arretramento di 250 mm e creazione di un giunto scorrevole atto a garantire la continuità di solaio tra i due corpi adiacenti.

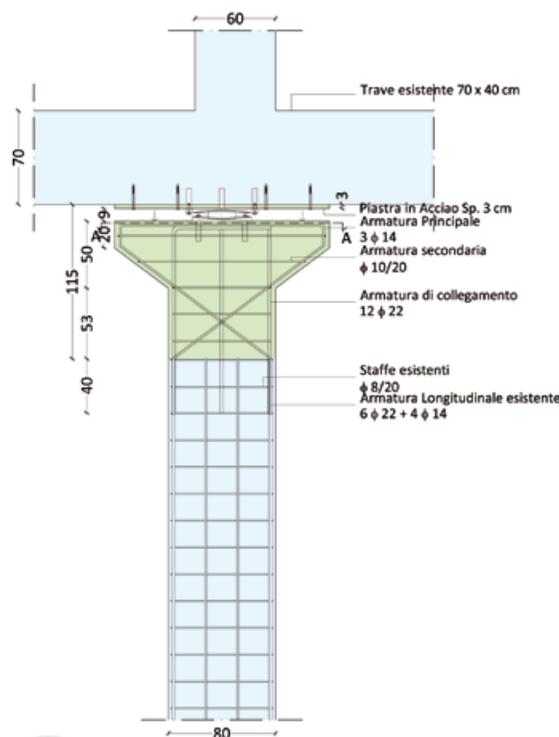
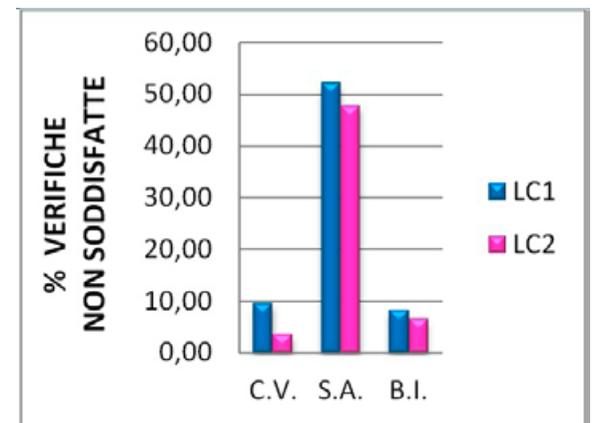


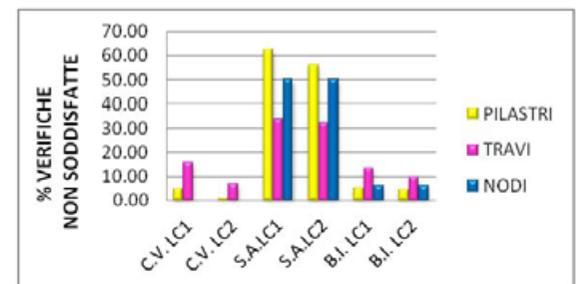
Figura 31 – Dettaglio di un baggiolo tipo

L'inserimento degli isolatori comporta il taglio della struttura di calcestruzzo in corrispondenza della sommità dei pilastri del piano interrato, la messa in forza dell'edificio mediante martinetti metallici, l'esecuzione del baggiolo e l'immissione dei dispositivi nel piano d'isolamento. In Figura 31 viene mostrato il dettaglio progettuale di un baggiolo tipo.

Nella stessa figura si osserva come sia stata prevista una specifica piastra di rinforzo della trave, appartenente all'impalcato mobile al di sopra dell'isolatore. Dall'esame dei risultati delle analisi condotte in riferimento all'ipotesi d'isolamento si evince il sensibile beneficio apportato. Si passa infatti da una media di quasi il 50% degli elementi non verificati su base fissa, ad una media inferiore al 7% su base isolata; particolare miglioramento dello stato sollecitativo si è avuto sui pilastri. Nel caso in esame, dal 60% di elementi non verificati si è infatti confermata come critica la sola percentuale di elementi che mostravano già problemi per carichi verticali, ovvero del 5%. I nodi per i quali le verifiche di resistenza non sono risultate soddisfatte si sono ridotti dal 50% al 10%, mentre le travi hanno fatto registrare meno significativi miglioramenti passando dal 33% al 10%. Tali dati sono immediatamente deducibili dagli istogrammi mostrati in Figura 32, in cui i nuovi



a



b

Figura 32 – Confronto dei risultati delle tre analisi, in termini generali (a) e di elementi (b)

esiti vengono posti a confronto con quelli ottenuti nell'ambito delle indagini precedentemente commentate.

In particolare, in Figura 32a vengono mostrate le percentuali di elementi le cui verifiche non siano soddisfatte per entrambi i livelli di conoscenza e soli carichi verticali (C.V.), quelle ottenute dall'analisi sismica dello stato attuale (S.A.) e quelle relative al caso d'isolamento (B.I.); nella Figura 32b vengono invece evidenziate le differenze di beneficio tra i vari elementi (pilastri, travi e nodi), sempre nelle tre differenti condizioni C.V., S.A., B.I. Gli interventi locali ulteriori proposti per accrescere le specifiche prestazioni anche di questi ultimi elementi non verificati sono oggetto di trattazione del seguente paragrafo.

5. PROPOSTE D'INTERVENTO LOCALE

Per gli elementi non traenti comunque beneficio dall'isolamento alla base, sono stati proposti interventi locali di rinforzo mediante tessuti in fibra di carbonio (CFRP).

In particolare sono state studiate le seguenti soluzioni: sulle travi è stato previsto l'incollaggio di una striscia di CFRP all'intradosso secondo lo schema mostrato in Figura 33a, mentre sui pilastri le prestazioni per pressoflessione sono state innalzate utilizzando fasce incollate longitudinalmente e trasversalmente all'elemento, al fine di migliorarne congiuntamente il confinamento e la resistenza a taglio (Figura 33b).

Nel telaio lato ospedale, già mostrato nelle precedenti Figure 8 e 9 e di cui in Figura 34a viene presentata una vista prospettica dell'elemento consolidato, è stato richiesto un ulteriore intervento consistente nella creazione di un giunto elastico. Infatti le mensole sommitali, pur teoricamente pressoché scariche, non risultano verificate per i soli carichi verticali a flessione in corrispondenza dell'appoggio. Tale "anomalia" di comportamento è giustificabile alla luce della seguente considerazione: la mensola con luce maggiore dal lato del salone, inflettendosi verso il basso a causa del maggiore carico, produce l'innalzamento della mensola esterna più corta che solleva a sua volta il pilastro in falso adducendo il ricarico della mensola di copertura. In Figura 34b viene mostrato lo schema deformativo che si crea sul telaio.

Avendo verificato la non efficacia, allo scopo migliorativo, di un intervento con soli tessuti in

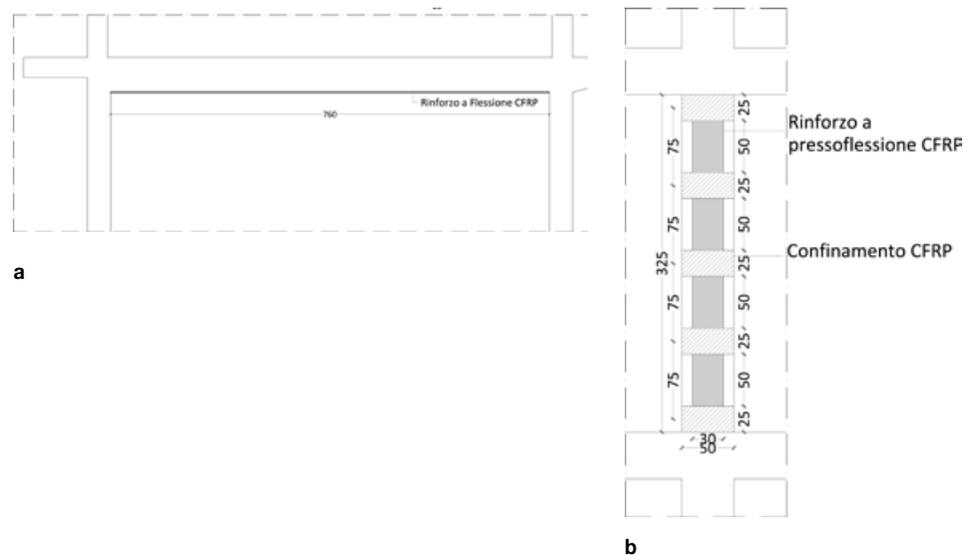


Figura 33 – a) Rinforzo a flessione di una trave; b) rinforzo a pressoflessione e taglio di un pilastro

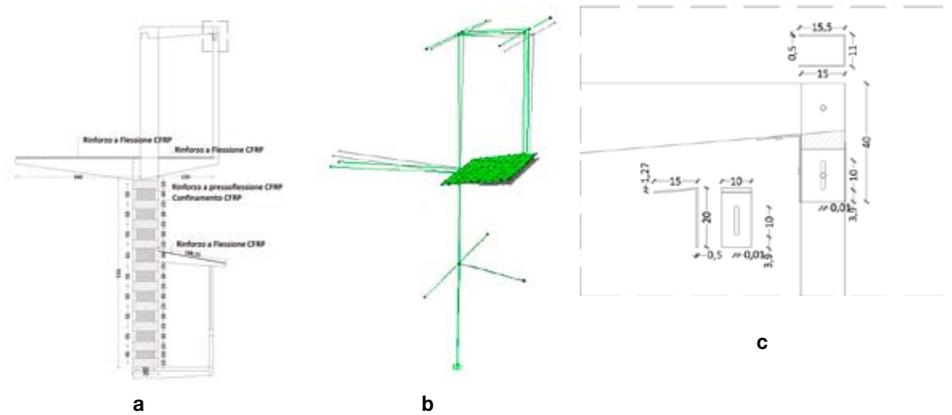


Figura 34 – a) Vista prospettica dell'intervento nel telaio lato ospedale; b) schema deformativo del telaio lato ospedale; c) dettaglio costruttivo del giunto elastico

elastico fra pilastro e mensola in modo da evitare l'effetto di spinta osservato. Esso è stato concepito prevedendo la realizzazione di una piastra asolata in acciaio, avvolgente il pilastro su tre lati. Inoltre, per impedirne la fuoriuscita dal piano, è stata inclusa nel progetto anche una piastra ad L interna, sempre asolata, inserita secondo il dettaglio mostrato in Figura 34c.

Essendo stato valutato uno spostamento massimo verticale pari a 35 mm per una condizione di carico agli Stati Limite Ultimi, all'asolatura è stata data una capacità di scorrimento di ± 50 mm.

6. CONCLUSIONI

Nell'articolo viene proposto il progetto di un intervento di adeguamento sismico dell'edificio sede storica della Cassa di Risparmio a Firenze,

progettato dall'Arch. Michelucci nel 1954. Esso prevede la realizzazione di un piano d'isolamento che porti alla significativa riduzione delle sollecitazioni trasmesse alla sovrastruttura in caso di sisma, senza alterare in alcun modo l'architettura originaria, peraltro molto complessa. I risultati ottenuti dall'analisi condotta confermano un sostanziale soddisfacimento degli obiettivi prefissati. Si osserva infatti come sia emersa una significativa riduzione degli elementi non verificati corrispondentemente al livello di prestazione SLV, passanti dal 50%, nel caso di soluzione su base fissa, al 7%, in quello d'isolamento. Le criticità di tali elementi strutturali, generate già solo per carichi verticali, hanno pertanto motivato l'adozione di specifici interventi locali, per rinforzo mediante materiali fibro-rinforzati.

BIBLIOGRAFIA

ARCHIVIO BERTI, Disegni strutturali.
ARCHIVIO CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE (Con note del Prof. Franco Nuti)
ASCE/SEI 41-06, 2006. *Seismic rehabilitation of existing buildings*, American Society of Civil Engineers – Structural Engineering Institute, Reston, VA.
BARDAZZI S. (1957). "Impressioni di una visita", in "Sede di Banca in Firenze di Giovanni Michelucci", estratto da *Bollettino Tecnico degli Ingegneri e degli Architetti della Toscana*, n° Ottobre-Novembre 1957.
BERTI E. (1958). Relazione Tecnica, in *Cassa di Risparmio di Firenze, I nuovi locali della sede*, Firenze.
COLLEGIO DEI TECNICI DELLA TOSCANA (1958) *Cassa di Risparmio di Firenze. I nuovi locali della sede*, Bollettino degli Ingegneri, Firenze.
BORSI F. (1966). *Giovanni Michelucci, L.E.F.*, Firenze.
CHRISTOPOULOS C. e FILIATRAULT A. (2006). *Principles of passive supplemental damping and seismic isolation*, Iuss Press Ed.
CONFORTI C. (2006). *Giovanni Michelucci 1891-1990*, Electa, Milano.
CSI, 2012. *Sap 2000 NL. Structural Analysis Programs*, Version No. 14.2.2, Computers & Structures, Inc., Berkeley, Ca.
LUGLI L. (1958). "La Cassa di Risparmio, a Firenze", *L'Architettura Cronache e Storia* n°31/1958.
LUGLI L. (1966). *Giovanni Michelucci, Il pensiero e le opere*, Università degli Studi di Bologna, Istituto di Architettura ed Urbanistica, Casa editrice Prof. Riccardo Patron, Bologna.
MICHELUCCI G. (1957). *Considerazioni sull'Architettura, La nuova Sede della Cassa di Risparmio di Firenze*, Il Ponte N°11.
MICHELUCCI G. (1981). *La felicità dell'architetto, 1948-1980*, Ed. Tellini, Pistoia.

NTC 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*, Di cui al D.M.LI.Pp Del 14.01.2008.

NUTI F. (2010). "La sede centrale della Cassa di Risparmio di Firenze (G. Michelucci 1953-1957)", in *La costruzione dell'architettura, temi e opere del dopoguerra italiano*, a cura di Bardelli, Cottone, Nuti, Poretti, Sanna, Ed. Gangemi.

NUTI F. (2010). "Progettare e costruire nuovi edifici nella città storica: un itinerario in Toscana (1948-1965)", in *La costruzione dell'architettura. Temi e opere del dopoguerra italiano* a cura di Bardelli, Cottone, Nuti, Poretti, Sanna, Ed. Gangemi.

NUTI F. Note sui documenti dell'Archivio della Cassa di Risparmio di Firenze.

PATALANO G., TEREZI G., SPINELLI P. (2009). "Sistemi di tipo pendolare ad attrito per l'isolamento alla base degli edifici", *Bollettino degli Ingegneri*, n.5, maggio 2009, 3-12.

SORACE S., TEREZI G., BANDINI L. (2006). *Le potenzialità della "FNA" nell'analisi dinamica non lineare di strutture dotate di sistemi avanzati di protezione sismica*, 16o Convegno Italiano di Meccanica Computazionale GIMC 2006, Articolo 46.

WILSON E. (2004). *Static and dynamic analysis of structures*, 4th Edition, CSI, Berkeley Ca.

Carlotta BIANCHI e' nata a Firenze nel 1987; ha conseguito la Laurea Magistrale in Ingegneri Edile nel 2012 presso l'Universita' degli Studi di Firenze con votazione di 110 e lode.

Gloria TEREZI, nata a Fossombrone (PU) nel 1965, si e' laureata nel 1991 in Ingegneria Civile – Sezione Edile presso la Facolta' di Ingegneria dell'Universita' di Roma "La Sapienza". Nel 1995 ha ricevuto il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle strutture per il settore scientifico-disciplinare ICAR/09 – Tecnica delle costruzioni. Dal febbraio 2001 e' ricercatrice universitaria presso la Facolta' di Ingegneria dell'Universita' di Firenze. Attualmente e' Docente del modulo di "Tecnica delle costruzioni II" nell'ambito del corso integrato di "Tecnica delle costruzioni" per il Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Edile e del Corso di "Costruzioni in zona sismica" per il corso di laurea Magistrale in Ingegneria Edile. E' autrice e co-autrice di oltre 100 pubblicazioni scientifiche di cui circa venti pubblicate su riviste internazionali e nazionali con referee. E' progettista strutturale.

Franco NUTI, nato a Cagnano Amiteno (AQ) nel 1942 si e' laureato in Ingegneria Civile, Sezione Edile presso l'Universita' degli Studi di Bologna.

Fino al 31 ottobre 2012 e' stato Professore Ordinario di "Architettura Tecnica"(SSD ICAR/10) presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Universita' di Firenze. E' stato Docente di "Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici" per il Corso di Laurea Triennale in Scienze dell'Ingegneria Edile, e di "Architettura tecnica e tipi edilizi" per il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile dell'Universita' di Firenze. E' progettista architettonico e direttore lavori di opere edili.

E' Autore di numerose pubblicazioni. Ha condotto studi specifici sull'architettura fiorentina e toscana dell'Ottocento e Novecento, sviluppati in programmi di ricerca di interesse nazionale.