POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Miglioramento sismico di un edificio scolastico esistente ai sensi delle NTC 2008/2018



Relatore/i prof. Gianpaolo Cimellaro Candidato/i Luigi Surano

Anno Accademico 2018/2019

Sommario

C^{Λ}	DI	$\Gamma \Omega$	Ω	T

DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO ARCHITETTONICO PLESSO	
SCOLASTICO	<i>6</i>
Premessa	<i>6</i>
1.1 Inquadramento geografico	7
1.2 Distribuzione funzionale	9
1.2.1 Auditorium	. 10
1.2.2 Scuola	. 13
1.2.3 Palestra	. 18
1.3 Documentazione storica – Genio civile	20
CAPITOLO II	
ANAGRAFE DELL'EDILIZIA SCOLASTICA	. 21
Premessa	. 21
2.1 Norma Nazionale per l'edilizia scolastica	22
2.2 Applicazione della normativa da parte degli Enti Locali (Regione e Comune)	. 23
2.3 Consultazione portale SNAES	24
2.4 Finanziamento Pubblico e coerenza con l'anagrafe.	29
2.5 Conclusioni	. 31
CAPITOLO III	
NDAGINI DIAGNOSTICHE SULL'EDIFICIO	33
Premessa	. 33
3.1 Il piano delle Indagini	34
3.2 Caso di studio: Attività di rilievo	. 35
3.2.1 Indagini magnetometriche (paco-metriche)	. 35
3.2.2 Prova anti – sfondellamento	. 42
3.3 Caso di studio: indagini strutturali	4-

3.3.1 Carotaggi, SONREB e prove carbonatazione	47
3.4 Riassunto prove effettuate	50
3.5 Prova di carico su solai	51
3.5.1 Prova solaio 1	54
3.5.2 Prova solaio 2	58
3.5.3 Prova solaio 3	62
3.5.4 Prova solaio 4	66
3.6 Conclusioni	70
CAPITOLO IV	
SICUREZZA NEGLI EDIFICIAI SENSI DELLE NORME TECNICHE 2008-2018	. 71
Premessa	71
4.1 Confronto testi delle due normative	72
4.1.1 Paragrafo 8.2: Criteri generali :	72
4.1.2 Paragrafo 8.3: Valutazione della Sicurezza	73
4.1.3 Paragrafo 8.4: classificazione degli interventi	76
4.2 Interpretazione e Conclusioni	83
4.2.1 Rischio VS Sicurezza:	83
4.2.2 Valutazione della sicurezza	83
4.2.3 Classificazione degli interventi	83
CAPITOLO V	
MODELLAZIONE STRUTTURA STATO DI FATTO E INTERVENTI PROPOST	Ί
AI SENSI DELLE NTC 2008-2018	85
Premessa	85
5.1 Prove geotecniche e caratterizzazione suolo di fondazione	86
5.1.1 Caratteristiche morfologiche, geolitologiche e strutturali	86
5.1.2 Indagine geognostica: sismica con metodologia ReMi	86
5.1.3 Indagine geognostica: sismica a rifrazione	91

5.1.4 Modellazione geologico tecnica del sottosuolo e calcolo capacità portante . 93
5.1.5 Conclusioni prove geotecniche
5.2 Modellazione struttura
5.2.1 Descrizione software utilizzato: EDILUS
5.2.2 Modellazione stato di fatto
5.2.3 Materiali impiegati e resistenza di calcolo
5.2.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza
5.2.5 Analisi dei carichi
5.2.6 Valutazione azione sismica e spettrogramma di progetto
5.2.7 Metodo di analisi
5.3 Risultati analisi stato di fatto
5.3.1 Conclusioni e interpretazioni risultati
5.4 Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2008
5.4.1 Risultati ottenuti
5.4.2 Conclusioni e interpretazioni risultati
5.5 Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2018
5.5.1 Risultati ottenuti
5.5.2 Conclusioni e interpretazione risultati
CAPITOLO VI
ESECUZIONE LAVORI
<i>Premessa</i>
6.1 Esecuzione lavori
6.1.1 Demolizione muri di tamponamento
6.1.2 Scavo travi di fondazione
6.1.3 Posizionamento armatura
6.1.4 Cassaforma e getto calcestruzzo

6.1.5. Rinforzo in FRP	130
6.2 Conclusione	132
Bibliografia	134
Appendice - Progetto strutturale originario presso il Genio Civile	13 <i>€</i>

CAPITOLO I

DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO

ARCHITETTONICO PLESSO SCOLASTICO

Premessa

Il Comune di Specchia, collocato nel basso Salento, più precisamente a 53 km da Lecce capoluogo provinciale, si estende per una superficie di 24.74 Kmq a metà tra il mar Ionio e Adriatico, presenta un carattere paesaggistico tipico rurale ed ha ricevuto diversi riconoscimenti che lo caratterizzano tra i borghi più belli d'Italia.

In questo contesto è sita la scuola secondaria di I grado Don Luigi Sturzo oggetto di questa tesi. Nel presente capitolo verrà fornito un inquadramento architettonico, una descrizione generica e funzionale dell'edificio, il tutto correlato da alcuni stralci del progetto strutturale originario depositano nel 1970.

1.1 Inquadramento geografico

L'edificio oggetto di intervento è ubicato in via Don Luigi Sturzo una zona residenziale nell'area sud del Comune di Specchia e fa parte dell'Istituto Comprensivo di Alessano. L'intorno urbano è caratterizzato prevalentemente da edifici residenziali. La quota topografica è di 130 metri s.l.m. e le precise coordinate geografiche risultano – Latitudine 39° 56' 04''N- Longitudine 18° 18'04'' E-



Figura 1: Inquadramento da Google Maps.

Per il P.U.G. del Comune di Specchia, l'edificio è classificato come Servizio di Pubblico interesse (urbanizzazione secondaria) – F9 Attrezzature scolastiche esistenti. Nelle Norme Tecniche di attuazione per le attrezzature per l'istruzione (scuola dell'infanzia e dell'obbligo), riferendosi agli edifici esistenti, "sono consentiti interventi di ordinaria e straordinaria manutenzione e di ristrutturazione edilizia con l'aumento della superficie utile nella misura necessaria per il miglioramento delle condizioni igienico/funzionali dell'edificio". L'intervento previsto dal presente è classificabile come "intervento di manutenzione straordinaria" e quindi rientrante nelle categorie di interventi assentiti.

Come illustrato in uno stralcio del P.U.G. (figura 2) si noti che l'edificio non è soggetto a vincolo storico artistico.



Figura 2 - stralcio PUG con legenda annessa

1.2 Distribuzione funzionale

La struttura è composta da tre corpi di fabbrica (scuola, auditorium e palestra) in cui trovano allocazione gli ambienti destinati all'attività scolastica (aule, aule speciali, servizi, amministrazione, aula magna e palestra con spogliatoi e servizi esterni). La scuola è posizionata in maniera baricentrica rispetto all'auditorium e alla palestra ai quali è collegata mediante passaggi esterni coperti.

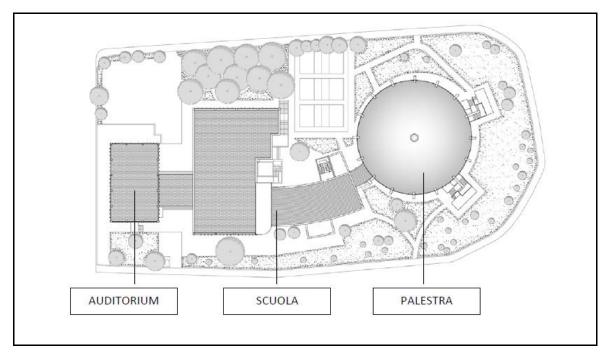


Figura 3: planimetria architettonica plesso scolastico.

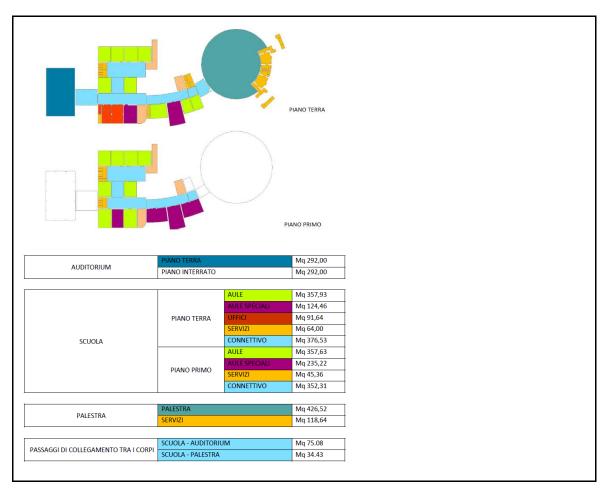


Figura 4: dettaglio ambienti e relativa metratura.

1.2.1 Auditorium

L'edificio si sviluppa in forma regolare e rettangolare per due livelli. Al piano terra, sopraelevato di circa 85 cm, si accede attraverso il passaggio di collegamento con la scuola che funge da atrio aperto. Il piano terra è costituito da un unico ambiente caratterizzato dalla presenza sul



Figura 5: foto esterna auditorium

perimetro di numerose aperture che filtrano molta luce rendendo lo spazio difficilmente utilizzabile per eventi quali conferenze e proiezioni (funzioni adattate nel tempo per le quali questo corpo di fabbrica non era stato progettato in quanto destinato originariamente ad un refettorio). Particolare risulta essere il soffitto costituito da una maglia ortogonale

di travi (un cassettonato) con andamento diagonale rispetto al perimetro. Attraverso una scala sinusoidale si accede ai servizi igienici posti al piano inferiore. Questo livello ricalca come dimensione la sagoma superiore ed ha un accesso dal livello sottostante al quale si accede da una rampa esterna che corre lungo il lato lungo dell'edificio. Al livello interrato sono ubicati ambienti di differenti dimensioni atti ad ospitare sale prove (laboratori teatrali), depositi attrezzature varie e servizi igienici. La struttura è costituita da un'ossatura di travi e pilastri in cemento armato, solai latero-cementizi, mentre le fondazioni sono costituite dai plinti.



Figura 6: foto interna auditorium.

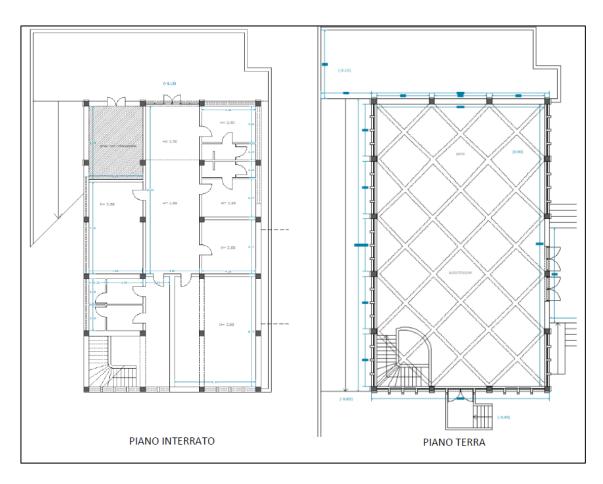


Figura 7: piante auditorium piano interrato e piano terra.

1.2.2 Scuola

L'edificio è articolato su due livelli e si compone sostanzialmente di due blocchi separati da un giunto. Un primo blocco di forma rettangolare ospita l'ingresso che si apre su un corridoio molto ampio che si articola planimetricamente ad "H" e funge da connettivo per i vari ambienti. Al piano terra sono ubicati: la portineria, la presidenza con annesso servizio igienico, la sala professori, 1 aula multimediale, 6 aule didattiche e i servizi igienici per gli studenti. Un secondo blocco, che segue una forma ad arco di circonferenza, è formato da un lungo corridoio prosecuzione di quello di ingresso del primo blocco sul quale affacciano, da un solo lato (quello sulla strada), 3 aule, un laboratorio informatico, i servizi igienici docenti, la sala medica con annesso servizio. A cavallo tra i due corpi è

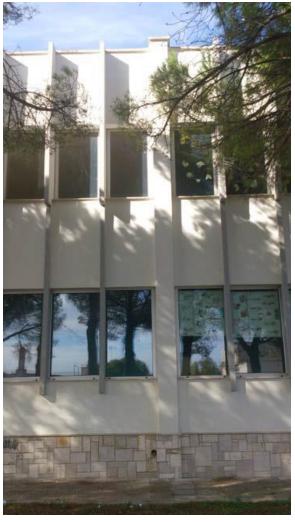


Figura 8: foto esterna scuola.

posizionato il corpo scala che si sviluppa per i due livelli e smonta in copertura. Attraverso il corpo scala si giunge al primo livello che ricalca lo schema distributivo del paino terra. Su questo piano sono ubicati: 8 aule didattiche, 3 laboratori (linguistico, tecnico e musicale), un archivio, deposito e servizi igienici per gli studenti e per i docenti.

Una scala esterna, posizionata sull'estremità superiore del corridoio del primo blocco, conduce all'area esterna posta sul retro del complesso. All'estremità del secondo blocco invece è ubicata una scala antincendio realizzata anch'essa in cemento armato con nucleo centrale e rampe a sbalzo.

La struttura della scuola è costituita da un'ossatura di travi e pilastri in cemento armato, solai latero-cementizi, scale pure in cemento armato mentre le fondazioni sono costituite da plinti.



Figura 9: foto corpo scuola.

Esteriormente la scuola è caratterizzata per il primo blocco da una sorta di setti che segnano i prospetti definendo le aperture delle classi come singole specchiature, mentre il secondo blocco è caratterizzato dalla presenza di finestre a nastro che illuminano il corridoio e i laboratori. La copertura è piana praticabile, raggiungibile tramite la scala di emergenza e il blocco scala centrale, al quale si accede tramite due porte in alluminio.



Figura 10: foto corpo scuola.



Figura 11: interno corpo scuola.

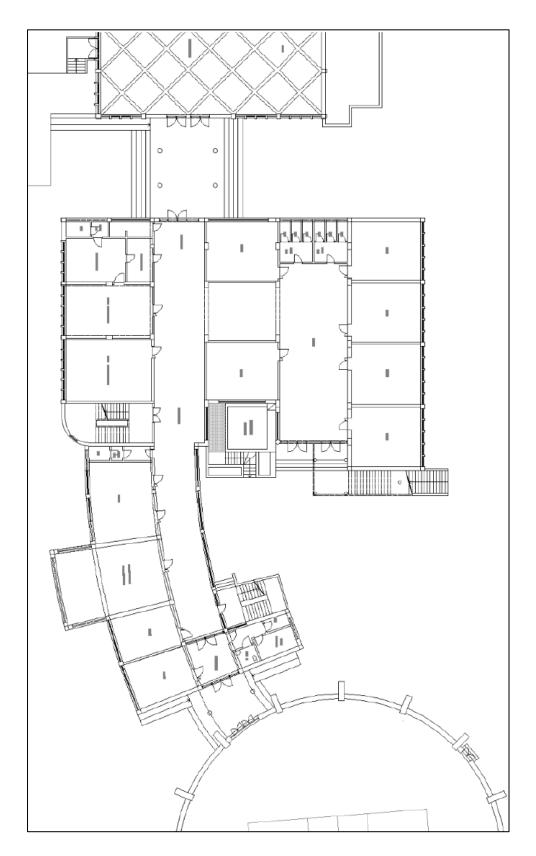


Figura 12: pianta piano terra scuola.

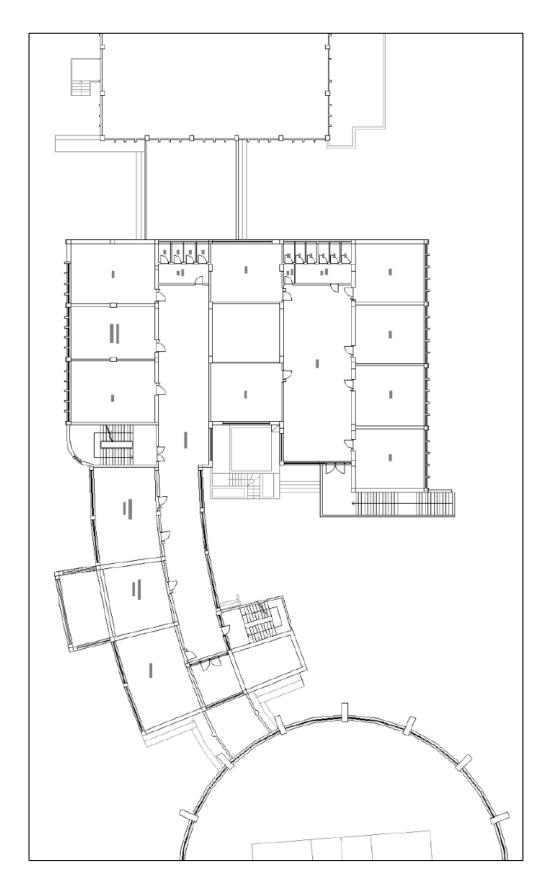


Figura 13: pianta primo piano scuola.

1.2.3 Palestra

La palestra è collegata alla scuola tramite un passaggio coperto. L'edificio ha una forma in pianta circolare ed è caratterizzata dalla presenza di 16 setti verticali a sezione variabile di forma trapezoidale disposti a raggiera lungo il perimetro. All'interno della palestra, sono presenti gli spalti in cemento armato sopraelevata di 2,40 metri dal pavimento sotto alla quale sono ubicati gli spogliatoi, e due tribune mobili.

All'esterno della palestra sono invece stati realizzati due blocchi simmetrici che hanno la doppia funzione di accogliere servizi igienici per gli spettatori e fungere da scala esterna che conduce agli spalti. La palestra è sormontata da una cupola in cemento armato rivestita da una guaina impermeabile che ha nel punto centrale un'apertura circolare chiusa da un cupolino. La palestra è illuminata finestre a nastro che corrono lungo tutto il perimetro ad un'altezza di oltre cinque metri interrotte nei punti in cui sono ubicati i setti.



Figura 14: foto esterna palestra.



Figura 15: foto interna palestra

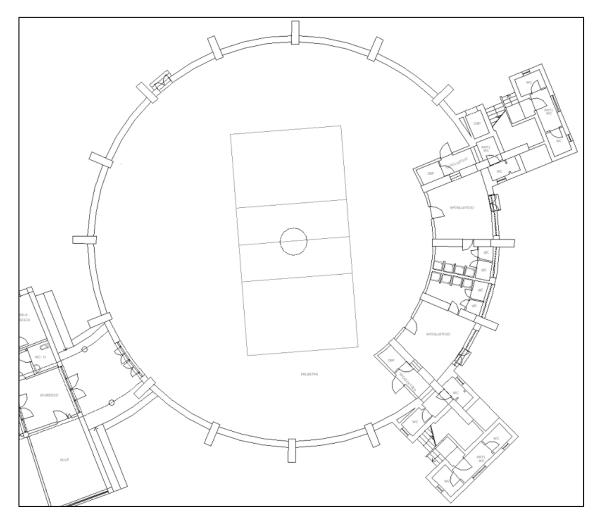


Figura 16 - pianta piano terra palestra

Tutto il complesso è circondato da una vasta area esterna verde con percorsi pedonali che consentono di girare attorno agli edifici. Sul retro sono stati realizzati dei campi per attività ginnica all'aperto e uno spazio caratterizzato dalla fitta presenza di pini che crea una gradevole area di sosta ombreggiata. Sul perimetro esterno sono presenti due varchi carrabili contrapposti e due varchi pedonali in corrispondenza dei collegamenti con la palestra.

1.3 Documentazione storica – Genio civile

Per avere una descrizione preliminare che interessi anche la parte strutturale dell'edificio, è stata condotta una ricerca presso la "Struttura Tecnica Provinciale" di Lecce, sita in Via Don Minzoni 17 73100 Lecce, nonché ex Genio Civile della provincia di Lecce, al fine di recuperare la vecchia documentazione progettuale depositata nell'anno 1978.

Prima di procede con l'illustrare quanto trovato, apriamo una piccola parentesi su quello che è il **Genio Civile**. Esso è un organismo civile o militare formato da ingegneri e tecnici a cui è affidato il compito di progettare, preparare, eseguire e collaudare costruzioni e lavori vari di interesse pubblico o militare. Il Genio Civile in particolare è l'Ente al quale spetta la direzione e sorveglianza dei lavori di pubblico interesse, la revisione dei progetti di opere riguardanti gli enti locali, il collaudo di lavori eseguiti con mutui e sussidi pubblici, le pratiche per espropriazioni di pubblica utilità ecc., che, già di competenza di uffici periferici del Ministero dei Lavori Pubblici, dagli anni 1970 sono stati decentrati a livello regionale.

La documentazione trovata risulta essere:

- Copia del progetto architettonico nº 2 tavole
- Copia del progetto struttura portante composto da relazione di calcolo e n°9 tavole
- Copia della relazione illustrativa

Nell'appendice 1 "PROGETTO STRUTTURALE ORIGINARIO PRESSO EX GENIO CIVILE" si può prendere visione di stralci di tavole menzionate precedentemente.

CAPITOLO II ANAGRAFE DELL'EDILIZIA SCOLASTICA

Premessa

Il presente capitolo riguarda l'"Anagrafe dell'Edilizia Scolastica", nata dalla necessità da parte del Ministero di ottenere un censimento puntuale e dettagliato sullo stato degli immobili di proprietà degli Enti Locali con specifica destinazioni d'uso scolastica. L'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica nasce dall'Input nazionale e dall'impulso da parte della Regione Puglia di far aderire tutti i Comuni ad un progetto di conoscenza del territorio al fine di affrontare puntualmente le criticità esistenti per ogni singolo edificio scolastico in termini di sicurezza ambientale e sismica, efficientamento energetico, smaltimento inquinanti, abbattimento barriere architettoniche, adeguamento alle norme antincendio ed igienico sanitarie, al fine di ottenere una scuola più efficiente e sicura. Tutti gli interventi menzionati sono da attuarsi attraverso la captazione di finanziamenti di opere di edilizia scolastica facente carico a fondi regionali e/o comunitari, assegnati soltanto agli edifici scolastici che risultano regolarmente inseriti nella banca dati dell'Anagrafe nazionale dell'edilizia scolastica, istituita ai sensi dell'art 7 della L. 23/96 (Norme per l'edilizia scolastica).

2.1 Norma Nazionale per l'edilizia scolastica

La norma statale per l'edilizia scolastica, la L. 23/96 è stata emanata l'11 Gennaio del 1996. L'Art. 1 disciplina la sua finalità e testualmente recita:

- 1. Le strutture edilizie costituiscono elemento fondamentale e integrante del sistema scolastico Obiettivo della presente legge è assicurare a tali strutture uno sviluppo qualitativo e una collocazione sul territorio adeguati alla costante evoluzione delle dinamiche formative, culturali, economiche e sociali.
- 2. La programmazione degli interventi per le finalità di cui al comma 1 deve garantire:
 - a) il soddisfacimento del fabbisogno immediato di aule, riducendo gli indici di carenza delle diverse regioni entro la media nazionale;
 - b) la riqualificazione del patrimonio esistente, in particolare di quello avente valore storico-monumentale;
 - c) <u>l'adeguamento alle norme vigenti in materia di agibilità, sicurezza e igiene;</u>
 - d) l'adeguamento delle strutture edilizie alle esigenze della scuola, ai processi di riforma degli ordinamenti e dei programmi, all'innovazione didattica e alla sperimentazione;
 - e) una equilibrata organizzazione territoriale del sistema scolastico, anche con riferimento agli andamenti demografici;
 - f) <u>la disponibilità da parte di ogni scuola di palestre e impianti sportivi di base;</u>
 - g) la piena utilizzazione delle strutture scolastiche da parte della collettività.

Il successivo Art.2 – Interventi da realizzare, riporta tutte le tipologie di intervento per il quale è previsto un finanziamento da parte dello Stato:

a) la costruzione e il completamento di edifici scolastici, nonché l'acquisto e l'eventuale riadattamento di immobili adibiti o da adibire a uso scolastico, in particolare al fine di eliminare le locazioni a carattere oneroso, i doppi turni di frequenza scolastica e l'utilizzazione impropria di stabili che non siano riadattabili;

b) le ristrutturazioni e le manutenzioni straordinarie dirette ad adeguare gli edifici alle norme vigenti in materia di agibilità, sicurezza, igiene ed eliminazione delle barriere architettoniche;

c) la riconversione di edifici scolastici da destinare ad altro tipo di scuola;

d) <u>la realizzazione di impianti sportivi di base o polivalenti, eventualmente di uso comune a più scuole, anche aperti all'utilizzazione da parte della collettività.</u>

L'Art.7 riguarda infine nello specifico l'Anagrafe Edilizia Scolastica, come di seguito riportato:

- 1. Il Ministero della pubblica istruzione realizza e cura l'aggiornamento, nell'ambito del proprio sistema informativo e con la collaborazione degli enti locali interessati, di un'anagrafe nazionale dell'edilizia scolastica diretta ad accertare la consistenza, la situazione e la funzionalità del patrimonio edilizio scolastico. Detta anagrafe è articolata per regioni e costituisce lo strumento conoscitivo fondamentale ai fini dei diversi livelli di programmazione degli interventi nel settore.
- 2. La metodologia e le modalità di rilevazione per la realizzazione dell'anagrafe nazionale di cui al comma l sono determinate dal Ministro della pubblica istruzione, con proprio decreto, sentito l'Osservatorio per l'edilizia scolastica.
- 3. Per la programmazione delle opere di edilizia scolastica, le regioni e gli enti locali interessati possono avvalersi dei dati dell'anagrafe nazionale di cui al comma 1, dei quali possono chiedere la disponibilità anche sotto forma di supporti magnetici.
- 4. Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, entro due anni dalla data di entrata in vigore della presente legge, realizzano le rispettive articolazioni dell'anagrafe nazionale di cui al comma 1 in base agli indirizzi definiti dall'Osservatorio per l'edilizia scolastica.
- 5. Per le finalità di cui al presente articolo è autorizzata la spesa di lire 20 miliardi per il 1995 e di lire 200 milioni annui a decorrere dal 1996.

2.2 Applicazione della normativa da parte degli Enti Locali (Regione e Comune)

Richiamato l'Art.7 della L. 23/96 riportato nel paragrafo precedente, agli atti comunali, con nota regionale prot. 34/121/Uff. E.S. del 13.1.2006, acquisita agli atti dei singoli Comuni, sono state date indicazioni organizzative sulla realizzazione del nodo regionale pugliese.

Detto nodo funge da banca dati telematica da aggiornare in tempo reale semplificando tutte le operazioni di ricerca e indagini. Ad esso si riferiscono tutte le attività di caricamento delle prime informazioni e delle successive operazioni di aggiornamento del data- base.

La dettagliata conoscenza del territorio di competenza degli Enti comunali agevola notevolmente tutte le operazioni di implementazione dei dati oggetto del progetto "Anagrafe".

Il Primo passo è quello relativo alla "georeferenziazione", che stabilisce in maniera univoca la puntuale localizzazione degli edifici scolastici attraverso coordinate geografiche di tipo numerico. La Georeferenziazione differenzia notevolmente i dati medesimi da quelli puramente "alfanumerici" costituenti gli indirizzi postali, consentendo l'attivazione di una serie considerevole di procedure applicative che facilitano il processo gestionale e decisionale (si pensi, ad esempio, alla possibilità di individuare, in tempo reale, gli edifici direttamente interessati ad un evento "critico" in una determinata zona, con immediata predisposizione di procedura di emergenza finalizzata, oltre che di programmare una più efficace e coerente razionalizzazione della rete scolastica e dell'offerta formativa sul territorio).

Infine, per l'attivazione del sistema, è fondamentale la rilevazione dei dati, finalizzata alla costruzione dell'anagrafe dell'edilizia scolastica, basata sull'acquisizione delle informazioni presenti all'interno di due questionari: questionario dell'edificio scolastico; questionario della sede scolastica. Il primo mirato a raccogliere elementi atti a valutare le caratteristiche, sia quantitative che qualitative, degli spazi interni, il secondo, articolato in sezioni ed orientato a raccogliere informazioni sulle unità scolastiche.

2.3 Consultazione portale SNAES

Il sistema di Anagrafe riguardante l'edilizia di tutti i plessi scolastici sul territorio, è dunque un'infrastruttura informativa da supporto alle attività di programmazione, vista la carenza dei dati tecnici relativa ai singoli edifici scolastici, che rende di fatto critica la conoscenza generale e la contestualizzazione di progetti da parte di Enti interessati a finanziamenti regionali e nazionali.

L'aggiornamento costante, tempestivo e sistematico dell'anagrafe, consentirà di avere puntuali informazioni sulle caratteristiche (strutturali, tecnologiche, di sicurezza e di conservazione) e sui punti di forza e di debolezza di tutti gli edifici scolastici, rappresentando un requisito imprescindibile per poter disporre di un quadro completo e puntuale del patrimonio edilizio di ciascun Ente.

Con questo intento nasce dunque SNAES: Sistema Nazionale anagrafe edilizia scolastica, una piattaforma informatica che censisce i dati e le proprietà su dette di tutti gli edifici scolastici di competenza di Comuni e Province.

Le informazioni che il portale mette a disposizione dei soggetti abilitati (Regione Puglia, Province, Comuni, Ufficio Scolastico Regionale e Scuole) sono:

- Schede dell'Anagrafe degli Edifici Scolastici relative al Censimento Nazionale;
- Scheda per il rilievo della vulnerabilità di elementi non strutturali negli edifici scolastici;
- Planimetrie in Autocad di ogni edificio scolastico;
- Planimetrie e destinazioni d'uso dei locali, in formato PDF;
- Raccolta in formato elettronico di tutti gli spazi di ogni edificio, delle loro misure planimetriche e volumetriche e le capienze a norma di ogni aula;
- Georeferenziazione di ogni edificio scolastico;
- Reportistica relativa ai dati contenuti nella scheda di cui al punto 1

Eseguendo il login e selezionando il Comune in esame, per esempio il Comune di Specchia (LE), vengono visualizzati tutti i plessi scolastici presenti nel territorio comunale (cfr. Fig. 1), secondo la schermata di seguito riportata:

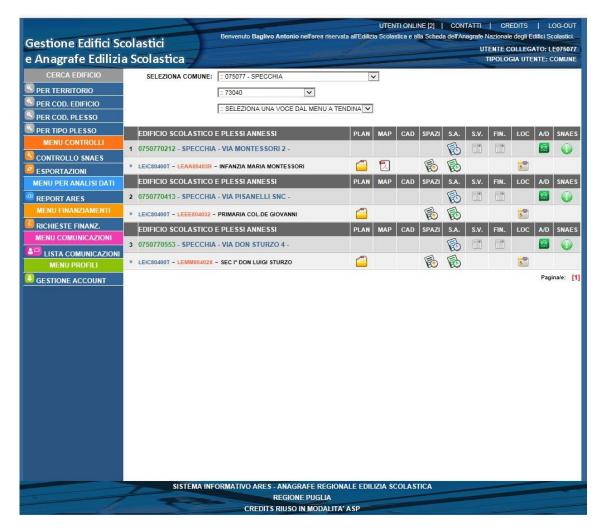


Figura 17: Gestione edifici scolastici -Visualizzazione edifici-

Come evincibile dalla Figura 1.1. L'immobile oggetto della presente tesi, risulta regolarmente iscritto all'Anagrafe dell'edilizia Scolastica della Regione Puglia alla voce SEC I° Don Luigi Sturzo, con codice MIUR istruzione LEIC83400N e codice Miur plesso LEMM83401P.

Di seguito riporte le principali caratteristiche dell'edificio:

>> SEZIONE A -	IDENTIFICAZION	IE DELL'EDIFICIO SCOLASTIC	0					
CODICE E	DIFICIO RILEV:07	750770553						
>> SEZIONE A -	IDENTIFICAZION	IE DELL'EDIFICIO						
CODICE	EDIFICIO MIUR: LE	770553						
	Comune: Specci	hia		077	Codice istat C	Comune		
	Provincia: LE			075	Codice Istat F	rovincia		
	Località:							
V	/ia/Piazza/ecc.: VIA							
* Denomin	azione Strada: DON S	STURZO		4	* Numero Civ	ico		
	* Cap: 73040			0	* Numero Dis	tretto Scol	astico	
L'edifici	o ospita i seguenti	ambiti funzionali:						
	Spazi Didatt							
	Spazi Collett							
	Auditorium/aula mag	na:						
		sa:						
	Palestra/pisci	na:						
	Spazi Amministrat	ivi:						
>> SEZIONE B - NOT	IZIE GENERALI	I SULL'UBICAZIONE DELL	EDIFICIO					
>> 1.0 - UBICAZION	E							
1.0.1 - Inquadramen	to Urbanistico:							
* L'edificio in es	ame, rispetto allo s	strumento urbanistico vigente, situato		O c () D () E	● F	Indicare la Zona	del Piano Regolatore
In	idice di fabbricazio	ne previsto dalla Z.T.O. mc/mq	: 2,5					
1.0.2 - Vincoli:								
Edificio tutelato ai se	ensi del D.Lgs. 22/	01/2004 n°42 (L.1089/39) del	Ministero dei Beni e Attività Culturali:					
Edificio costruito prim	a del 1950 e sotto	posto a parere del Min. dei Ben	i Cult. ai sensi della L.1089/39:					
		Edificio di vetustà s	uperiore a 50 anni:					
	Edificio in area sog	getta a vincolo idrogeologico (I	R.D. 3267/23 e ss):					
Edificio sito in zona	a vincolo paesaggi:	stico del D.Lgs. 22/01/2004 nº4	12 (ex L. 1497/39 e 431/85):					

Figura 18: identificazione dell'edificio – notizie generali sull'ubicazione.

1.0.3 - Vincoli Sismici:	
Edificio situato in zona sismica (L. 64/1974 e ss)	
a) individuare la classificazione sismica del Comune (*):	
b) E' stato progettato o successivamente adeguato con la normativa tecnica antisismica (R.D., L., D.M.):	
c) presenza del Certificato di Conformità attestante la perfetta rispondenza dell'opera eseguita alle norme per le costruzioni in zona sismica (art. 28, L. 64/74 e ss.):	
d) presenza di una relazione geotecnica: data [Formato: gg/mm/aa]	
e) presenza di una relazione geologica:	
Valutazione di vulnerabilità sismica con metodo GNDT/CNR: livello I° O livello II° O	
Anno Indice di Vulnerabilità: [Formato: aaaa]	
E' stata fatta, o si prevede di fare, la verifica sismica ai sensi art. 2 Ord. Pres.Cons. n°3274 del 20/03/2003 e ss.:	
Sono state eseguite altre verifiche sismiche in attuazione delle normative tecniche fino al D.M. 16.01.96 e ss.:	
* Vedi nuova tabella all'egata all'ordinanza del presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 di classificazione sismica del territorio naz zona sismica 1: $ag/g = 0.35$ zona sismica 2: $ag/g = 0.25$ zona sismica 3: $ag/g = 0.15$ zona sismica 4: $ag/g = 0.05$	ionale:
CONSISTENZA AREA	
1.4.3 - Dati dimensionali dell'edificio scolastico:	
Superficie totale dell'area scolastica mq.: 2721	
Superficie coperta dell'edificio in esame (esclusa la palestra se corpo a se stante) mq.: 1350	
Superficie utilizzata dalle attrezzature sportive mq.: 880	
Superficie totale dell'area libera mq.: 800	
Volume lordo dell'edificio scolastico (esclusa la palestra se corpo a se stante) mc.: 12300	
Prospetti a vista num. : 0	
Superficie coperta delle attrezzature sportive mq.: 880	
Superficie utilizzata per impianti sportivi all'aperto mq.: 0	
Volume delle attrezzature sportive mc.: 9000	
1.4.4 - L'area scolastica consente un ampliamento/sopraelevato dell'edificio scolastico rispettando la normativa vigente:	
1.4.5 - Se l'area scolastica è insufficiente, indicare se c'è la possibilità di utilizzare aree libere adiacenti:	

Figura 19: vincoli sismici - consistenza area.

>> 1.7 - ORIGINE ED ETA'		
1.7.1 - Con riferimento al corpo principale indicare se l'edificio in	esame (barrare solo le caselle di interesse):	
E' stato costruito appositamente per uso scolastico:		
E' stato costruito per altri usi ed adattato permanentemente ad uso scolastico:		
E' stato costruito per altri usi e momentaneamente utilizzato ad uso scolastico sia pure mediante temporanei adattamenti:		
* 1.7.2 - Anno di costruzione: 1980 Anno di 4	4 cifre (Es. 2008) * se non noto 7 dal 1976 in poi	
* 1.7.3 - Anno di adattamento ad uso scolastico: 0 Anno di 4	4 cifre (Es. 2008)	
* Attenzione alle domande 1.7.2 e 1.7.3 inserire obbligatoriamente l'ann	o oppure se non noto il periodo per l'aggiornamento di questo step.	
> 1.8 - STATO DI CONSERVAZIONE DEL CORPO DI	FABBRICA PRINCIPALE	
1.8.1 - Opere edilizie *:		
Strutture portanti verticali e murature: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Solal: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Scale: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Coperture: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Intonaci e rivestimenti interni: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Intonaci e rivestimenti esterni: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Controsoffitto: X	impianto non necessario	
Pavimentazioni interne: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Pavimentazione esterne: 1	necessità di installazione ex-novo	
Serramenti interni: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Serramenti esterni: 5	richiede intervento di manutenzione parziale	
Opere da lattoniere (grondaie, pluviali, ecc.): 1	necessità di installazione ex-novo	
* PER OGNI IMPIANTO ATTRIBUIRE IL PUTEGGIO SECONDO L	A CLASSIFICAZIONE	

Figura 20: origine ed età – stato di conservazione

Da tutto quanto sopra rappresentato, i dati forniti, costituiscono informazioni importanti nella fase di progettazione di un'opera pubblica, in quanto permettono di individuare le criticità e le conseguenti necessità del manufatto in esame, nonché supporto alla programmazione dell'opera.

2.4 Finanziamento Pubblico e coerenza con l'anagrafe.

La Regione attraverso piani triennali ed annuali di attuazione programma gli interventi in materia di edilizia scolastica previsti dalla L.23/96, mediante accensione di mutui, da parte degli Enti Locali, presso la Cassa DD.PP. con ammortamento a totale carico dello Stato. Monitora l'utilizzo dei finanziamenti e nomina commissari ad acta in caso di inadempienze. Programma interventi da inserire nei Piani Straordinari di messa in

sicurezza degli edifici scolastici in zona sismica ai sensi della L.289/02. Gestiona il Nodo regionale dell'Anagrafe Nazionale dell'Edilizia scolastica al fine di disporre di una banca dati costantemente aggiornata sulla situazione del patrimonio edilizio scolastico, utile supporto per una programmazione mirata.

Il Comune di Specchia ha instituito e applicato la normativa riguardante l'anagrafe dell'edilizia scolastica. Ha inserito dunque tutti i dati relativi ai plessi scolastici presenti nel territorio di sua competenza. Esaminando lo stato di fatto della scuola secondaria di primo grado Don Luigi Sturzo, oggetto della presente tesi, ed analizzandone le criticità, ha presentato un progetto di riqualificazione dell'edificio volto a migliorarne la sicurezza e il comfort, ottenendo un finanziamento regionale in quanto tale progetto risulta in linea con la normativa nazionale dell'edilizia scolastica ed in particolare con gli articoli precedentemente citati i quanto configurabile come intervento di ristrutturazione e messa in sicurezza dell'immobile destinato ad uso scolastico e degli impianti sportivi ivi presenti.

Nel caso specifico, una volta inseriti tutti i dati necessari per l'anagrafe, è stato possibile sulla scorta delle criticità evidenziate candidare un progetto riguardante la riqualificazione della scuola secondaria di I grado Don Luigi Sturzo. Il progetto prevede diverse tipologie di intervento, al fine di sopperire alle necessità specifiche del plesso stesso:

Interventi di miglioramento strutturale: miglioramento sismico e riparazione strutturale soprattutto per il fenomeno sfondellamento, rifacimento parziale dell'intonaco delle pareti interne;

- Rifacimento della pavimentazione della palestra;
- Manutenzione generale dei servizi igienici con la verifica del corretto funzionamento della rete di distribuzione idrica e di scarico, pulizia e ricostruzione di parti di intonaco delle pareti dei servizi igienici;
- Interventi finalizzati alla sicurezza antincendio con adeguamento del relativo impianto;
- Adeguamento impianto idrico;

- Adeguamento impianto elettrico;
- Adeguamento impianto di riscaldamento: Isolamento termico a cappotto su pareti
 e copertura dell'intero edificio; Sostituzione degli infissi esterni del piano terra
 dell'edificio scolastico, con infissi in alluminio a taglio termico dotati di vetro
 camera; sostituzione caldaia;
- Intervento di adeguamento alle norme igienico sanitarie e abbattimento delle barriere architettoniche: rifacimento completo dei servizi igienici, installazione montascale nel corpo scuola;
- Intervento di rifinitura interna ed esterna dell'edificio;
- Attrezzatura e arredi per la palestra, rifacimento pavimentazione palestra stessa.

Il progetto redatto nel rispetto del Codice dei Contratti D.Lgs.vo n°50/2016, ha raggiunto pienamente gli obiettivi, evincibili dall'anagrafe stesse. Risultando beneficiario di fondi Regionali "POR Puglia 2014/2020. Asse X. Azione 10.8 e Azione 10.9. D.G.G. n°1115 del 19.07.201" per un importo complessivo di €. 1.000.000,00.

2.5 Conclusioni

Grazie all'istituzione dell'anagrafe dell'edilizia scolastica e dei dati inseriti dagli Enti Locali è stato possibile definire che in Italia c'è un patrimonio edilizio scolastico composto da 40.151 edifici attivi che fanno capo agli enti locali, 22.000 di questi edifici sono stati costruiti prima del 1970. Il 53,2% degli edifici possiede il certificato di collaudo statico ma il 53,8% non ha quello di agibilità/abitabilità. Il 78,6% delle scuole ha il piano di emergenza. Il 57,5% degli edifici è dotato di accorgimenti per ridurre i consumi energetici. Le barriere architettoniche risultano rimosse nel 74,5% degli edifici. Nella sezione relativa all'edilizia scolastica è possibile scaricare dei file con estensioni CSV, JSON, RDF e XML, che forniscono indicazioni circa:

- elenco e localizzazione degli edifici scolastici attivi
- presenza di macro-ambiti funzionali (palestra, mensa ...)
- raggiungibilità degli edifici (mezzi pubblici, scuolabus ...)

- uso di origine e data di costruzione degli edifici
- superfici e volumi degli edifici (mq/mc).
- presenza di vincoli (idrogeologici, sismici...).
- ambiente ed area scolastica
- tipologia di riscaldamento
- accorgimenti per il superamento delle barriere architettoniche
- accorgimenti per la riduzione dei consumi energetici
- accorgimenti per la protezione dai rumori
- certificazioni e documenti relativi alla sicurezza

Tale sistema, servirà per individuare le priorità di intervento sulle scuole italiane infatti rappresenta come definito dallo stesso Ministero MIUR:

"un quadro chiaro per poter individuare le priorità di intervento in stretta collaborazione con gli Enti locali per velocizzare le opere di manutenzione. Grazie a tale censimento è stato sbloccato oltre 1 miliardo per l'antisismica e 1,7 miliardi per interventi di messa in sicurezza. Abbiamo semplificato le procedure di spesa grazie all'Accordo in Conferenza Unificata che ci consente di attribuire le risorse direttamente agli Enti locali, senza passaggi intermedi. L'Anagrafe da ora in poi, sempre grazie a questo Accordo, sarà aggiornata in tempo reale e sarà anche migliorata con una quantità maggiore di dati che consentiranno di lavorare al meglio per capire dove c'è maggior bisogno di intervento. Faremo tutto questo insieme e Regioni ed Enti locali che, va ricordato, sono proprietari degli edifici scolastici".

CAPITOLO III

INDAGINI DIAGNOSTICHE SULL'EDIFICIO

Premessa

Il presente capitolo riguarda le tecniche di indagine diagnostica applicate all'edificio esistente. Le indagini diagnostiche vengono realizzate con l'obiettivo di garantire la sicurezza preservando da un lato il bene materiale dall'altro il suo funzionamento strutturale attraverso la messa in sicurezza anche sismica dell'edificio. Nello specifico tali analisi di tipo storico-costruttive sono mirate alla conoscenza dello stato di "salute" dell'edificio. L'attività di indagine prevede lo sviluppo delle conoscenze sulla qualità dei materiali e sul loro comportamento d'insieme attraverso prove sperimentali in situ ed in laboratorio di tipo sia indiretto che diretto, così da consentire l'acquisizione dei dati necessari per una valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici e, conseguentemente alla definizione delle strategie e degli interventi da porre in essere per la riduzione del rischio sismico anche alla luce dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche 2018 che ha definito le procedure standard e le metodologie sperimentali per il controllo delle fasi costruttive e della verifica dell'affidabilità in esercizio delle strutture. La valutazione dell'influenza di un qualsiasi intervento, locale o globale, attraverso le

indagini diagnostiche su una struttura esistente e la risposta dell'edificio alle sollecitazioni statiche e dinamiche sono dunque strettamente connesse alle caratteristiche meccaniche e geometriche strutturali. L'indagine diagnostica è propedeutica alla progettazione esecutiva e punto di partenza per la modellazione numerica che non può basarsi su approssimazioni e semplificazioni ma deve basarsi su un'indagine accurata dell'edificio. Gli elementi fondamentali su cui si concentrano le indagini sono: la geometria e i dettagli costruttivi, i materiali con le relative prove meccaniche e i carichi permanenti e accidentali gravanti sulla struttura.

3.1 Il piano delle Indagini

Lo studio riguarda l'esecuzione di indagini diagnostiche sull'edificio scolastico oggetto della presente tesi in cemento armato sito in zona sismica IV **ovvero quella che nell'intero territorio nazionale presenta il minor rischio sismico**, essendo possibili sporadiche scosse che possono creare danni con bassissima probabilità, al fine della successiva valutazione della sicurezza ai sensi delle NTC 2018.

L'edificio in oggetto presenta una struttura portate in calcestruzzo armato presumibilmente databile alla seconda metà degli anni 70 come evincibile dalla documentazione progettuale (Vedasi Appendice) depositata nell'anno 1978 presso la "Struttura Tecnica Provinciale" di Lecce, ex Genio Civile ovvero l'Ente al quale spettava la direzione e sorveglianza dei lavori di pubblico interesse, la revisione dei progetti di opere riguardanti gli Enti locali, il collaudo di lavori eseguiti con mutui e sussidi pubblici, le pratiche per espropriazioni di pubblica utilità ecc., che, già di competenza di uffici periferici del Ministero dei Lavori Pubblici, e dagli anni 1970 decentrati a livello regionale. Si è proceduto alla definizione di un piano di indagini che avesse come obiettivo la verifica completa allo sfondellamento dei solai e la verifica statica degli stessi nonché ulteriori indagini che hanno consentito un livello di conoscenza LC2. A tal fine si sono scelte le tecniche di indagine più adatte. Tali indagini hanno riguardato sia attività di rilievo sia indagini strutturali e sperimentali. Preliminarmente alle indagini strumentali o di rilievo è stato compiuto un esame autoptico dell'edificio.

3.2 Caso di studio: Attività di rilievo

3.2.1 Indagini magnetometriche (paco-metriche)

a. Descrizione prova

L'indagine paco metrica consiste nella misura del campo magnetico determinato dalla presenza di armature in acciaio in vicinanza della superficie del calcestruzzo degli elementi strutturali indagati. Si eseguono con il pacometro e si riesce a determinare la localizzazione delle armature la misura del copri-ferro e la stima del diametro delle barre e delle staffe. I rilievi pacometrici servono a determinare numero e posizione delle barre di armatura negli elementi in c.a.

b. Risultati

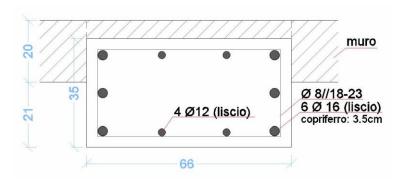


Figura 21: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)	
PAC1	PILASTRO AULA	65 x 35	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO PRIMO		4	12			
PAC4	PILASTRO AULA	65 x 35	6	14	8	18 ÷ 23	
	- PIANO PRIMO		4	12			
PAC21	PILASTRO AULA	65 x 35	6	16	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		4	12			
PAC22	PILASTRO AULA	65 x 35	6	16	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		4	12			
PAC46	PILASTRO AULA	65 x 35	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO PRIMO		4	12			
PAC47	PILASTRO AULA	65 x 35	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO PRIMO		4	12			

PAC28	PILASTRO AULA	65 x 35	6	16	8	18 ÷ 23
	– PIANO TERRA		4	12		
PAC29	PILASTRO AULA	65 x 35	6	16	8	18 ÷ 23
	– PIANO TERRA		4	12		

Tabella 1: ferri pilastro da prova paco metrica

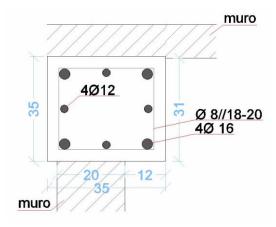


Figura 22: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC2	PILASTRO AULA	65 x 35	4	14	8	18 ÷ 20
	– PIANO PRIMO		4	10		
PAC23	PILASTRO AULA	65 x 35	4	16	8	18 ÷ 20
	– PIANO TERRA		4	12		

Tabella 2 : ferri pilastro da prova paco metrica

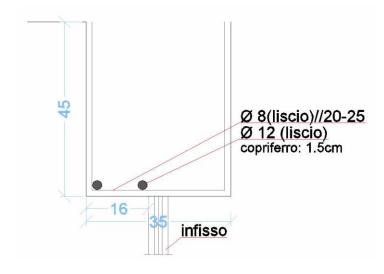


Figura 23: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	opera Dimensioni (cm) (b x h) Armatura longitudinale Staffe				
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC3	PILASTRO WC- PIANO PRIMO	45 x 16	2 (rilevabili)	12	8	20 ÷ 25

Tabella 3: ferri pilastro wc da prova paco metrica

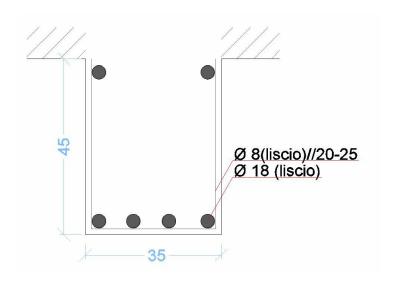


Figura 24: sezione trave

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
		(CIII) (U X II)	N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC5	TRAVE – PIANO PRIMO	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC9	TRAVE – PIANO TERRA	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC30	TRAVE – PIANO TERRA	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25

Tabella 4: ferri trave da prova paco-metrica

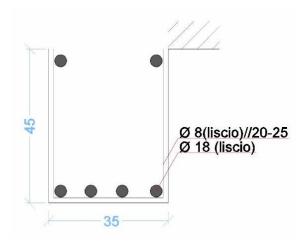


Figura 25: sezione trave

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
		() ()	N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC6	TRAVE AULA – PIANO PRIMO	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC42	TRAVE AULA – PIANO PRIMO	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC43	TRAVE AULA – PIANO PRIMO	45 x 35	6	18	8	20 ÷ 25

Tabella 5: ferri trave da prova paco-metrica

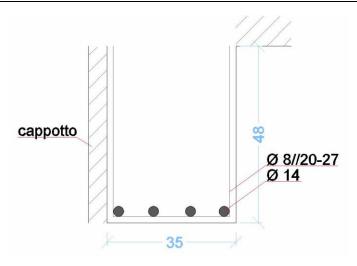


Figura 26: sezione trave

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC7	TRAVE CORR PIANO PRIMO	48 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC11	TRAVE CORR PIANO TERRA	48 x 35	6	18	8	20 ÷ 25

PAC18	TRAVE CORR PIANO TERRA	48 x 35	6	18	8	20 ÷ 25
PAC37	TRAVE CORR PIANO PRIMO	48 x 35	6	18	8	20 ÷ 25

Tabella 6: ferri trave da prova paco-metrica

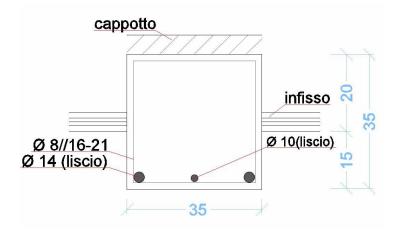


Figura 27 :sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura lo	Armatura longitudinale		affe
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC8	PILASTRO CORR.	35 x 35	2	14	8	16 ÷ 21
	– PIANO PRIMO		1	10		

Tabella 7 : ferri pilastro da prova paco metrica

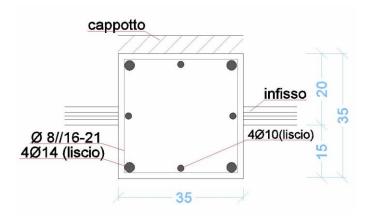


Figura 28: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC10	PILASTRO	35 x 35	4	16	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO TERRA		4	12		
PAC16		35 x 35	4	16	8	17 ÷ 21

			1	1		-
	PILASTRO		4	12		
	CORR. – PIANO					
	TERRA					
PAC17	PILASTRO	35 x 35	4	16	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO		4	12	1	
	TERRA					
PAC20	PILASTRO	35 x 35	4	16	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO		4	12		
	TERRA					
PAC33	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	15 ÷ 20
	CORR. – PIANO		4	10	1	
	PRIMO					
PAC25	PILASTRO	35 x 35	4	16	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO		4	12]	
	TERRA					
PAC26	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO		4	10]	
	TERRA					
PAC27	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	17 ÷ 21
	CORR. – PIANO		4	10]	
	TERRA					
PAC34	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	15 ÷ 20
	CORR. – PIANO		4	10		
	PRIMO					
PAC35	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	15 ÷ 20
	CORR. – PIANO		4	10	1	
	PRIMO					
PAC36	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	15 ÷ 20
	CORR. – PIANO		4	10	1	
	PRIMO					
PAC38	PILASTRO	35 x 35	4	14	8	15 ÷ 20
	CORR. – PIANO		4	10		
	PRIMO					

Tabella 8: ferri pilastro da prova paco-metrica

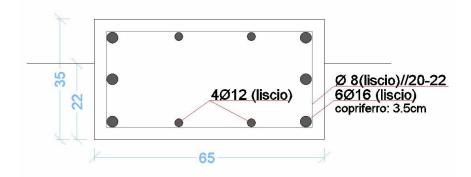


Figura 29: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC12	PILASTRO AULA – PIANO TERRA	35 x 65	6	16	8	
			4	12		

PAC13	PILASTRO AULA – PIANO TERRA	35 x 65	6	16	8	20 ÷ 22
	11110 1211111		4	12		
PAC14	PILASTRO AULA – PIANO TERRA	35 x 65	6	16	8	20 ÷ 22
	Thurs ibidei		4	12		
PAC15	PILASTRO AULA – PIANO TERRA	35 x 65	6	16	8	20 ÷ 22
	11110 1211111		4	12		

Tabella 9: ferri pilastro prova da prova paco-metrica.

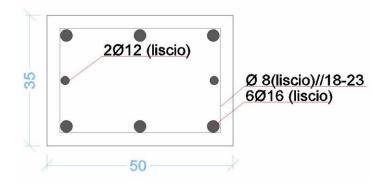


Figura 30: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura lo	Armatura longitudinale		Staffe	
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)	
PAC12	PILASTRO AULA	35 x 50	6	16	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		2	12			
PAC13	PILASTRO AULA	35 x 50	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		2	10			
PAC14	PILASTRO AULA	35 x 50	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		2	10			
PAC15	PILASTRO AULA	35 x 50	6	14	8	18 ÷ 23	
	– PIANO TERRA		2	10			

Tabella 10: ferri pilastro da prova paco-metrica.

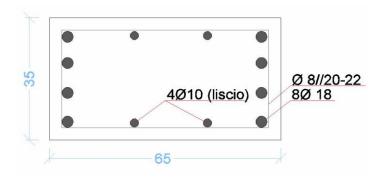


Figura 31: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale		Sta	affe
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)
PAC24	PILASTRO AULA -	35 x 65	8	18	8	20 ÷ 22
	PIANO TERRA		4	10		

Tabella 10: ferri pilastro da prova paco metrica

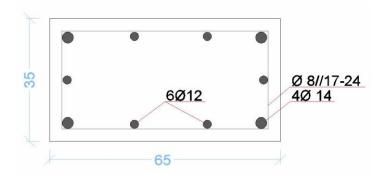


Figura 32: sezione pilastro

Sigla	Posizione in opera	Dimensioni (cm) (b x h)	Armatura longitudinale				affe
			N.	(ø)	(ø)	Passo (cm)	
PAC39	PILASTRO AULA –	35 x 65	4	14	8	17 ÷ 24	
	PIANO PRIMO		6	12			
PAC40	PILASTRO AULA –	35 x 65	4	14	8	17 ÷ 24	
	PIANO PRIMO		6	12			
PAC41	PILASTRO AULA –	35 x 65	4	14	8	17 ÷ 24	
	PIANO PRIMO		6	12			
PAC45	PILASTRO AULA –	35 x 65	4	14	8	17 ÷ 24	
	PIANO PRIMO		6	12			

Tabella 11: ferri pilastro da prova paco-metrica

3.2.2 Prova anti – sfondellamento

a. Descrizione prova

Lo sfondellamento è un fenomeno di degrado tipico dei solai in latero-cemento, e consiste nel distacco e conseguente caduta della parte inferiore delle pignatte e/o dell'intonaco di cui è composto il solaio stesso, avente origine dalla espulsione del copri ferro dei travetti.

Sebbene il fenomeno non comporti, in genere, una perdita significativa della capacità portante del solaio, esso può avere gravi conseguenze per l'incolumità delle persone presenti negli ambienti sottostanti, per via della caduta di porzioni, spesso ingenti, di laterizi ed intonaco.

Lo sfondellamento si verifica in corrispondenza del superamento del valore di resistenza del materiale costituente le pignatte, ed è riconducibile all'interazione di diverse cause quali la cattiva manutenzione del manufatto, nelle infiltrazioni con la conseguente dilatazione, nell'ossidazione dei ferri di armatura. Più in generale in qualsiasi situazione che comporta all'induzione di uno stato di sollecitazione non previsto, come ad esempio la compressione tra travetti in cemento armato e laterizio. La presenza di acqua di infiltrazione o di umidita in genere in grado di provocare un'espansione del laterizio e la corrosione dell'armatura dei travetti con conseguente espulsione del copri ferro e distacco della parte inferiore delle pignatte e dell'intonaco di rivestimento.

La prima indagine effettuata per lo studio di questo fenomeno è la "battitura manuale" che consiste nel fare una prima valutazione battendo manualmente la superficie del solaio con colpi regolari cercando di individuare zone che presentano suoni "vuoti" alla battitura.

In seconda fase, viene utilizzata la "diagnosi strumentale" con lo scopo di individuare, con metodi non distruttivi, gli sfondellamenti o le lesioni negli elementi in laterizio e anche i distacchi del solo strato d'intonaco. La strumentazione per l'indagine è composta da un'asta alla cui estremità sono posti un attuatore elettromeccanico con testa battente e un microfono direzionale. L'intensità di battuta è costante ed il microfono ne registra la risposta sonora. L'indagine viene svolta mediante auscultazione sonica di impulsi sequenziali emessi e ricevuti su una maglia a geometria fissa ed analizzati nel dominio delle frequenze. Le valutazioni sull'eventuale difettosità delle aree sono espresse in base alla comparazione delle frequenze ottenute in una zona "sana" su cui viene registrata la frequenza di taratura con quelle ottenute nelle zone oggetto di indagini.

b. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature:

- Canali acquisizione: 1;

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia delta-sigma;

Range dinamico: 128dB;

- Distorsione massima: 0.0005%;

- Banda passante: 0-106Hz;

- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz;

- Diafonia: -120dB a 20 Hz;

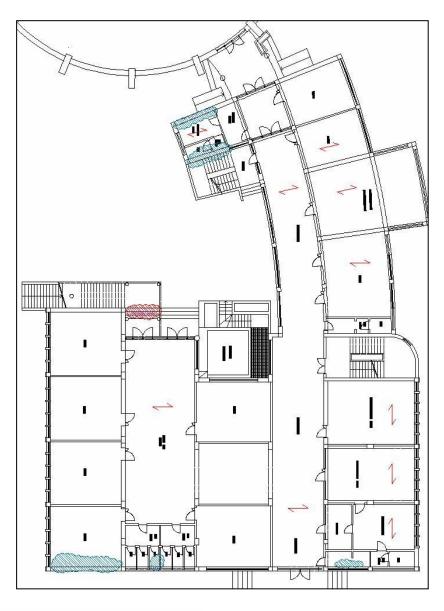
- Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB;

- Tempo pre-trigger: impostabile da software;

- Frequenza di campionamento: 4000 - 8000 c/s;

c. Risultato in planimetria

La mappatura riportata in planimetria rappresenta la restituzione dei valori ottenuti nella campagna eseguita con strumentazione sonora. L'elaborazione ha permesso di determinare le zone a debole rischio sfondellamento. La taratura dello strumento, che avviene su una porzione sana di solaio, indica che l'intradosso oggetto di indagine "risuona" ad una determinata frequenza. Per tutte le superfici che sono state caratterizzate da frequenze maggiori o uguali della frequenza di taratura, il solaio e l'intonaco rispondono con un comportamento monolitico, e pertanto sono da considerarsi, allo stato attuale, zone prive di rischio. Le zone che invece sono caratterizzate da frequenze più basse, sono da considerarsi, allo stato attuale, zone problematiche con sfondellamento in atto. Nelle tavole allegate sono indicate con tratteggio le zone a rischio sfondellamento corrispondenti a quelle zone dove i valori di frequenza trovati risultano più bassi dei valori delle frequenze di taratura.



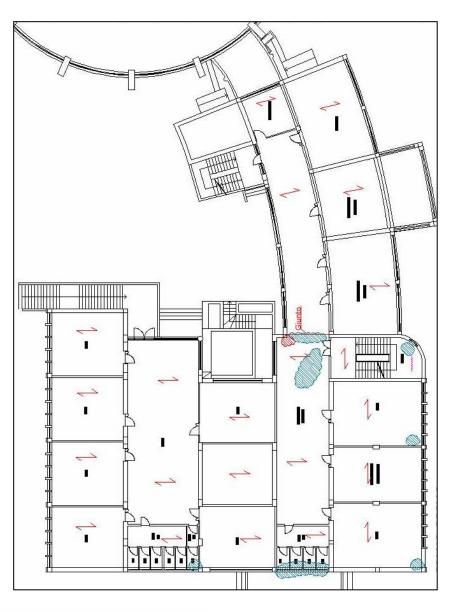
Legenda:

Zona con presenza di inflitrazioni e/o muffe;

Zona con presenza di sfondellamento in atto;

Lesione;

Figura 33: planimetria sfond. Piano terra



Legenda:

Zona con presenza di inflitrazioni e/o muffe;

Zona con presenza di sfondellamento in atto;

Lesione;

Figura 34: planimetria sfond. Primo piano

3.3 Caso di studio: indagini strutturali

3.3.1 Carotaggi, SONREB e prove carbonatazione

a. Descrizione delle prove

I carotaggi si eseguono al fine di estrarre dall'elemento strutturale considerato (pilastri, travi cordoli ecc.) campioni di calcestruzzo. Viene effettuata utilizzando corone di taglio con denti diamantati al fine di provocare il minino disturbo possibile. I diametri D di prelievo possono essere di 50 mm – 75 mm – 100 mm – 150 mm con profondità di estrazione variabile tra poco più di D e poco più di 2D; preventivamente all'estrazione delle carote nelle zone interessate verranno eseguiti dei rilievi pacometrici al fine di evitare il taglio dei ferri di armatura. Sulle carote estratte si esegue una normalizzazione dimensionale per far rientrare le dimensioni nei limiti di tolleranza disposti dalle norme. Tale normalizzazione dimensione viene effettuata attraverso diverse operazioni:

- Taglio della carota per portarla alla lunghezza desiderata mediante sega ad acqua con lama diamantata;
- Rettifica e spianatura mediante spianatrice automatica al fine di raggiungere i livelli di planarità e rettilineità delle facce imposte dalla norma;
- Eventuale cappatura con materiale idoneo al fine di raggiungere i livelli di ortogonalità tra le facce.

Sul campione normalizzato si esegue poi una prova di rottura a compressione al fine di determinare il valore della resistenza a compressione in sito del cls. Il laboratorio essendo autorizzato secondo la 1086 ai fini delle prove sui materiali da costruzione esegue le prove di compressione come da norme prescritte e con apparecchiature regolarmente tarate da enti esterni autorizzati.

Prove **SONREB** (Sclerometro e ultrasuoni): sono così definite le prove non distruttive che mettono in relazione i risultati ottenuti da prove sclerometri con quelli ottenuti da prove ad ultrasuoni. Attraverso queste indagini si riesce a stimare con buona approssimazione il valore della resistenza a compressione in sito del cls degli elementi strutturali in c.a. Esse sono generalmente eseguite complementarmente ai carotaggi che

risultano essenziali alla fine di una corretta calibrazione dei risultati. Nei punti in cui si intendono eseguire i carotaggi si procede preliminarmente con le prove SONREB in modo che una volta eseguite le prove di compressione sulle carote è possibili stabilire una correlazione tra risultati SONREB e risultati delle prove di compressione attraverso la determinazione di coefficienti di comparazione.

La carbonatazione è un fenomeno chimico che interessa il calcestruzzo, in particolare interessa la reazione tra l'anidride carbonica (presente in maggiori quantità nei centri urbani) e la calce con la produzione di carbonato di calcio e vapore acqueo, abbassando il pH e di conseguenza rendendo l'ambiente più ostile alle armature in ferro, che tenderanno a degradarsi arrugginendosi facilmente. La profondità di carbonatazione si può determinare mediante la prova alla fenolftaleina. Il procedimento sfrutta le proprietà del reagente che cambia colore, virando al rosso magenta al contatto con il calcestruzzo avente pH> 8,0÷9,8 e rimanendo incolore per valori di pH inferiori. La determinazione della profondità di carbonatazione, che deve essere effettuata immediatamente dopo il prelievo del campione, avviene spruzzando la soluzione di fenolftaleina sul provino. Il calcestruzzo carbonatato non modifica il suo colore, mentre quello non ancora raggiunto dalla carbonatazione assume il tipico colore rosso magenta del reagente in ambiente alcalino. Per stimare in maniera ottimale la penetrazione della carbonatazione in una struttura è necessario effettuare la prova su una campionatura sufficientemente estesa.

b. Risultati

Resistenza alla compressione di provini cilindrici in calcestruzzo secondo il D.M. 14/01/2008 e la norma UNI EN 12390-3:2009

Attrezzatura utilizzata:

- Calibro digitale da 300 mm
- Bilancia digitale portata 31000 gControls 11-D0630/03
- Telaio da 3000 KN per prove di compressione Controls 50-c5600/FR
- Rettifica spianatrice con movimento radiale della testa rotante_Controls 55

Sigla	Modalità di prelievo	Condizioni di umidità al momento della prova	Dimensione massima aggregato (mm)	D/H	Profondità carbonatazione (mm)
C1	Orizzontale	Asciutto	27.72	1	Non carbonatata
C2	Orizzontale	Asciutto	27.21	1	Non carbonatati
C3	Orizzontale	Asciutto	30.19	1	Non carbonatati
C4	Orizzontale	Asciutto	23.93	1	19
C5	Orizzontale	Asciutto	29.76	1	5
C6	Orizzontale	Asciutto	21.03	1	Non carbonatati
C7	Orizzontale	Asciutto	22.15	1	36
C8	Orizzontale	Asciutto	26.78	1	13

Tabella 12: profondità carbonatazione

Sigla	Posizione	Diametr	Altezza	Area	Peso	Carico	Resistenza
		o	(mm)	(mm ²)	(g)	di	a
		(mm)				rottura	compressio
						(KN)	ne della
							carota
							(N/mm^2)
C1	Pilastro piano primo	75.03	75.10	4421	741	160.13	36.22
C2	Trave piano primo	75.05	76.08	4424	753	77024	17.46
C3	Pilastro piano primo	75.09	75.25	4428	731	99.81	22.54
C4	Trave piano primo	75.07	74.75	4388	728	73.37	16.72
C5	Trave piano terra	75.10	75.40	4430	731	105.04	23.71
C6	Pilastro piano terra	75.14	75.32	4456	716	75.26	16.89
C7	Trave piano terra	75.12	75.42	4465	739	99.39	22.26
C8	Pilastro piano terra	75.08	75.35	4427	712	80.26	18.13

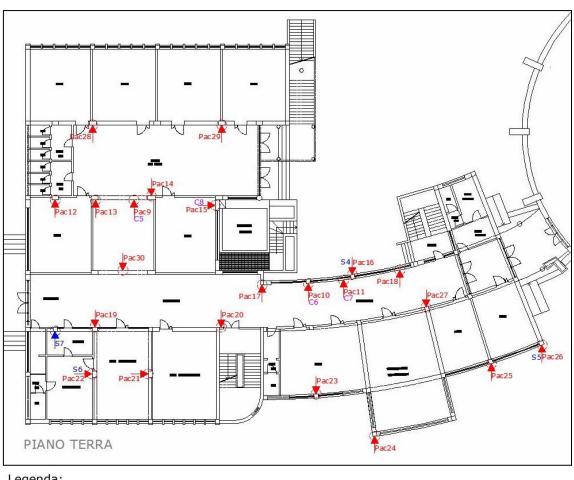
Tabella 13: resistenza a compressione carote.

Risultati prove sclerometriche eseguite con sclerometro Ectha 1000

N°	Elemento strutturale	Media sclerometro su 20 battute	Resistenza a compressione (MPa)
S1	Trave WC – piano primo	39	25
S2	Trave WC – piano primo	41	27
S3	Trave atrio – piano primo	43	29
S4	Pilastro corridoio – piano terra	38	24
S5	Pilastro aula – piano terra	39	25
S6	Pilastro presidenza – piano terra	40	26
S7	Pilastro bidelli – piano terra	38	24

Tabella 14: resistenza a compressione con sclerometro

3.4 Riassunto prove effettuate



Legenda:

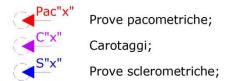
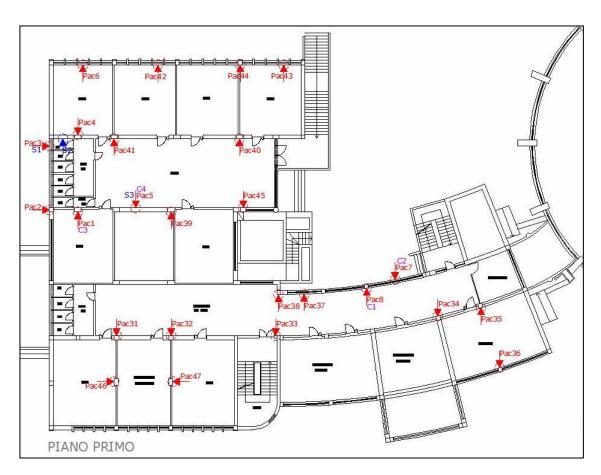


Figura 35: planimetria prove effettuate piano terra



Legenda:

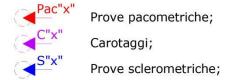


Figura 36: planimetria prove effettuate primo piano

3.5 Prova di carico su solai

In merito alla verifica statica dei solai si è proceduto attraverso prove di caratterizzazione diretta quali le prove di carico ciò al fine di confrontare la freccia sperimentale con quella teorica e dalle quali è possibile determinare le caratteristiche di resistenza ed elasticità degli elementi strutturali sottoposti a prova, che relazionate con la conoscenza della

geometria strutturale, permettono di ottenere una esatta comparazione tra comportamento teorico e quello reale.

Le prove di carico si eseguono andando ad applicare al solaio o alla trave in esame un carico (somma dei carichi di esercizio di progetto e dei carichi permanenti non ancora applicati alla struttura) e determinando le deformazioni dell'elemento strutturale. Il carico da applicare viene generalmente realizzato utilizzando dei serbatoi ad acqua oppure martinetti oleodinamici a seconda che si voglia considerare un carico uniformemente distribuito o un carico concentrato. L'entità dei carichi dipende dalla tipologia di solaio e dalle caratteristiche progettuali oltre che dalla destinazione d'uso, in quanto la normativa vigente prevede dei carichi minimi a cui un solaio deve resistere in base alla sua destinazione.

Nel caso di studio la prova di carico applicato è stata eseguita misurando la quantità d'acqua con cui vengono riempiti i serbatoi letta sul flussometro della pompa mentre le deformazioni vengono lette in diverse punti della struttura utilizzando comparatori centesimali meccanici o flessimetri millesimali elettronici.

I tempi di applicazione del carico per determinare le frecce massime sono in genere dettate dalle stabilizzazioni della struttura così come i tempi di lettura a struttura scarica per la determinazione delle deformazioni residue.

La rilevazione delle deformazioni è stata ottenuta attraverso il sistema denominato INOVA network, costituito da:

- Coordinatore (Gataway) collegato ad una unità computerizzata;
- Router collegato all'unità computerizzata;
- Trasduttori di spostamento lineari INova;
- Software di acquisizione ed elaborazione

I trasduttori di spostamento collegati ad aste telescopiche sono posti a contatto con l'intradosso della struttura nei punti in cui si devono rilevare le deformazioni. La trasmissione avviene tramite WIFI. Le caratteristiche dei sensori sono i seguenti:

- risoluzione 0.001 mm
- corsa 50 mm
- linearità 99.7 %

Per la formazione del carico vengono utilizzati: Serbatoi flessibili, prodotti dalla Novatest S.R.L.;

La prova è stata eseguita utilizzando comparatori elettronici per la lettura delle deformazioni. Essi sono stati collegati alla struttura oggetto di prova attraverso aste telescopiche in lega leggera. Per la realizzazione del carico si è utilizzato un serbatoio ad acqua. Il carico è stato applicato coprendo una fascia di solaio larga 2,5 m per l'intera lunghezza del solaio stesso. L'acqua per la realizzazione del carico è stata prelevata da autobotte e gradatamente versata nei serbatoi. Il carico è stato realizzato a gradini fino al raggiungimento del carico massimo di prova, per ogni gradino di carico, al raggiungimento della stabilizzazione delle deformazioni, sono stati registrati i valori delle deformazioni in cinque punti della trave in corrispondenza della direttrice longitudinale dei serbatoi; le deformazioni son state lette nei due punti corrispondenti agli appoggi della trave caricata, nei due punti posti a L/4 dove L è la luce netta del solaio, e in mezzeria a L/2. Pertanto, si è proceduto al calcolo dei carichi di prova e rilevate sperimentalmente le frecce in 5 punti.

3.5.1 PROVA SOLAIO 1

È stata eseguita una prova sul solaio terminale latero - cementizio con luce pari a 6,80 m., al primo piano in corrispondenza dell' ingresso dell'atrio atrio.

a. Schema planimetrico:

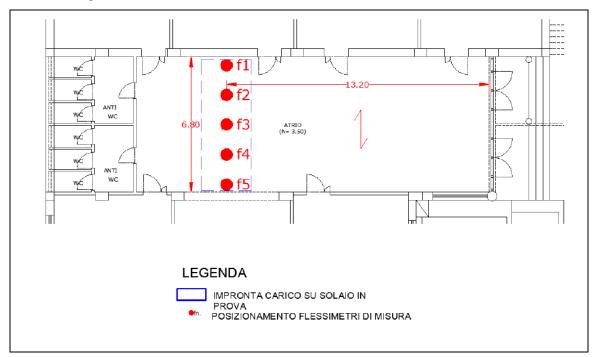


Figura 37: Schema planimetrico con ubicazione del carico e dei comparatori di misura.

b. Calcolo carichi di prova:

L	(m)	6.60	Luce del solaio			
I	(m)	2.5	Larghezza fascia caricata			
K		2.00	Coeff. Di collaborazione trasversale dei carichi			
Qa	(daN/mq)	300	Carichi accidentali			
Qp	(daN/mq)	/	Carichi permanenti non strutturali non applicati			
$\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}_{\mathbf{a}} + \mathbf{Q}_{\mathbf{p}}) * \mathbf{K}$	(daN/mq)	600	Carico di prova			

Tabella 15: calcolo carichi di prova solaio 1

c. Misurazioni:

Sono state rilevate le frecce in 5 punti mediante comparatori centesimali elettronici. Le misurazioni sono state effettuate per aumenti progressivi dei carichi in fase di carico e per decrementi progressivi dei carichi nella fase di scarico. I tempi tra un gradino di carico (o scarico) ed il successivo sono stati dettati dalla stabilizzazione delle deformazioni.

P	(1) f app.	(2) f L/4	(3) f L/2	(4) f L/4	(5) f app.	Ora lettura
[kg/m2]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.25
150	0.02	0.12	0.16	0.10	0.02	10.41
300	0.04	0.22	0.30	0.19	0.04	10.52
450	0.06	0.29	0.42	0.26	0.05	10.57
600	0.09	0.39	0.53	0.34	0.07	11.10
600	0.09	0.39	0.53	0.34	0.07	12.15
450	0.06	0.31	0.45	0.30	0.05	12.23
300	0.05	0.24	0.35	0.23	0.04	12.31
150	0.02	0.15	0.21	0.13	0.02	12.47
0	0.00	0.02	0.04	0.02	0.00	13.50

Tabella 16: misurazione della freccia

d. Grafici della deformazione:

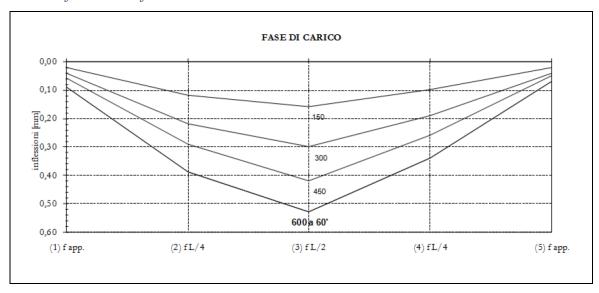


Figura 38: grafico inflessione fase di carico.

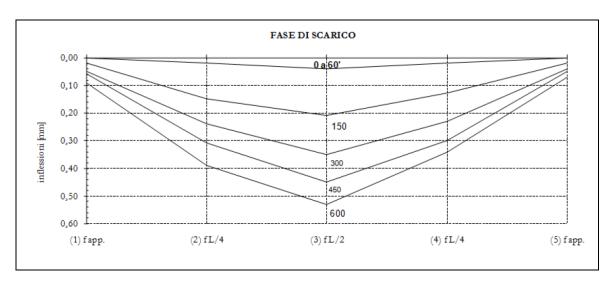


Figura 39: grafico inflessione fase di scarico.

e. Documentazione fotografica:



Figura 40: Foto interna disposizione trasduttori.



Figura 41: foto esterna impronta di carico.

f. Conclusione rapporto di prova:

Nella prova sopra illustrata, eseguita sul solaio terminale del primo piano al fine di verificarne le caratteristiche di resistenza ed elasticità, si è registrata la freccia massima in mezzeria del solaio nel punto più sollecitato, che è risultata essere pari a 0.45 mm al netto dei cedimenti agli appoggi, si è inoltre registrata la freccia residua pari a 0.04 mm, nonché 1'8.88% della freccia massima.

3.5.2 PROVA SOLAIO 2

È stata eseguita una prova sul solaio terminale latero - cementizio con luce pari a 6,60 m. ubicato al primo piano a copertura del laboratorio musicale.

a. Schema planimetrico:

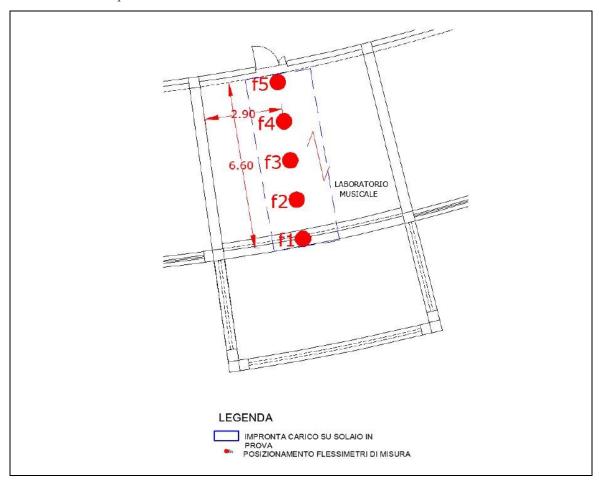


Figura 42: schema planimetrico con ubicazione del carico e dei comparatori di misura

b. Calcolo carichi di prova:

L	(m)	6.60	Luce del solaio			
I	(m)	2.5	Larghezza fascia caricata			
K		2.00	Coeff. Di collaborazione trasversale dei carichi			
Qa	(daN/mq)	300	Carichi accidentali			
$\mathbf{Q}_{\mathbf{p}}$	(daN/mq)	/	Carichi permanenti non strutturali non applicati			
$\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}_{\mathbf{a}} + \mathbf{Q}_{\mathbf{p}}) * \mathbf{K}$	(daN/mq)	600	Carico di prova			

Tabella 17: calcolo carichi di prova solaio 2

c. Misurazioni:

Sono state rilevate le frecce in 5 punti mediante comparatori centesimali elettronici. Le misurazioni sono state effettuate per aumenti progressivi dei carichi in fase di carico e per decrementi progressivi dei carichi nella fase di scarico. I tempi tra un gradino di carico (o scarico) ed il successivo sono stati dettati dalla stabilizzazione delle deformazioni.

P	(1) f app.	(2) f L/4	(3) f L/2	(4) f L/4	(5) f app.	Ora lettura
[kg/m2]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	lettur a
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.57
150	0.01	0.08	0.14	0.10	0.01	12.04
300	0.03	0.16	0.23	0.17	0.02	12.12
450	0.05	0.24	0.34	0.24	0.03	12.18
600	0.08	0.34	0.49	0.32	0.04	12.30
600	0.08	0.34	0.49	0.32	0.04	13.30
450	0.05	0.26	0.36	0.26	0.03	13.42
300	0.03	0.18	0.25	0.19	0.02	13.51
150	0.02	0.09	0.17	0.12	0.01	14.00
0	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	15.10

Tabella 18: misurazione della freccia

d. Grafici della deformazione:

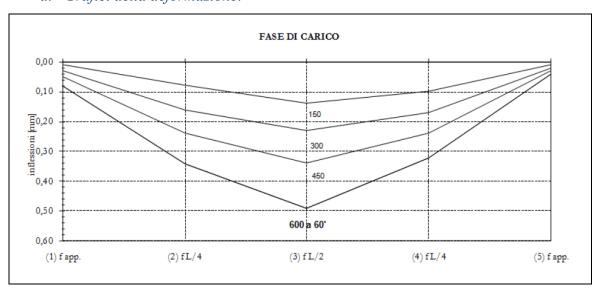


Figura 43: grafico inflessione fase di carico

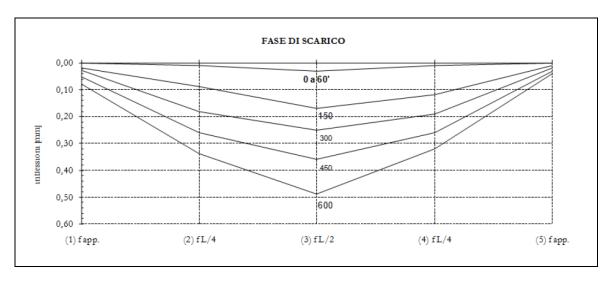


Figura 44: grafico inflessione fase di scarico

e. Documentazione fotografica:



Figura 45: foto interna disposizione trasduttori



Figura 46: foto esterna impronta di carico

f. Conclusione rapporto di prova:

Nella prova sopra illustrata, eseguita sul solaio terminale del primo piano al fine di verificarne le caratteristiche di resistenza ed elasticità, si è registrata la freccia massima in mezzeria del solaio nel punto più sollecitato, che è risultata essere pari a 0.43 mm al netto dei cedimenti agli appoggi, si è inoltre registrata la freccia residua pari a 0.03 mm, nonché 1'6.98% della freccia massima.

3.5.3 PROVA SOLAIO 3

È stata eseguita una prova sul solaio intermedio latero - cementizio con luce pari a 6,60 m., a copertura dell'atrio piano terra.

a. Schema planimetrico:

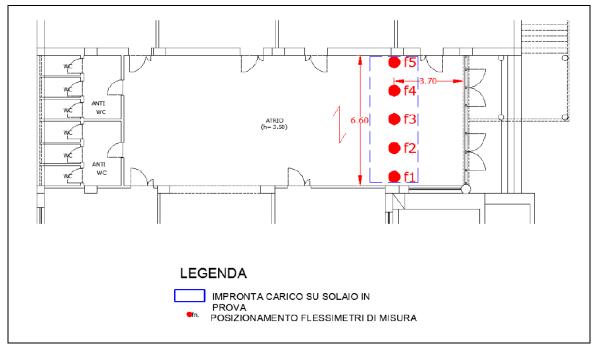


Figura 47: schema planimetrico con ubicazione del carico e dei comparatori di misura

b. Calcolo carichi di prova:

L	(m)	6.40	Luce del solaio			
I	(m)	2.5	Larghezza fascia caricata			
K		2.00	Coeff. Di collaborazione trasversale dei carichi			
$\mathbf{Q}_{\mathbf{a}}$	(daN/mq)	300	Carichi accidentali			
$\mathbf{Q}_{\mathbf{p}}$	(daN/mq)	/	Carichi permanenti non strutturali non applicati			
$\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}_{\mathbf{a}} + \mathbf{Q}_{\mathbf{p}}) * \mathbf{K}$	(daN/mq)	600	Carico di prova			

Tabella 19: calcolo carichi di prova solaio 3

c. Misurazioni:

Sono state rilevate le frecce in 5 punti mediante comparatori centesimali elettronici. Le misurazioni sono state effettuate per aumenti progressivi dei carichi in fase di carico e per decrementi progressivi dei carichi nella fase di scarico. I tempi tra un gradino di carico (o scarico) ed il successivo sono stati dettati dalla stabilizzazione delle deformazioni.

P	(1) f app.	(2) f L/4	(3) f L/2	(4) f L/4	(5) f app.	Ora lettura
[kg/m2]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	1000010
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.53
150	0.05	0.12	0.15	0.02	0.02	15.10
300	0.09	0.23	0.29	0.04	0.04	15.17
450	0.14	0.35	0.46	0.05	0.05	15.23
600	0.18	0.47	0.61	0.07	0.07	15.47
600	0.18	0.47	0.61	0.07	0.07	16.55
450	0.15	0.36	0.49	0.05	0.05	17.12
300	0.10	0.25	0.34	0.04	0.04	17.24
150	0.06	0.15	0.20	0.02	0.02	17.35
0	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00	18.45

Tabella 20: misurazione della freccia

d. Grafici della deformazione:

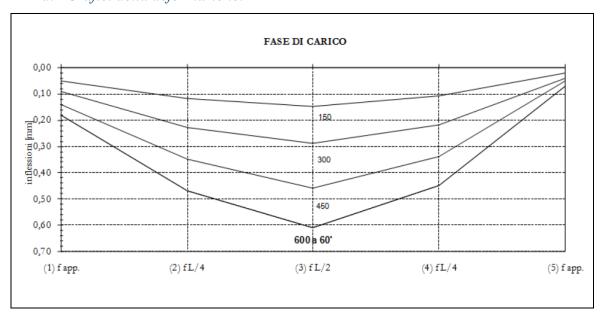


Figura 48: grafico inflessione fase di carico

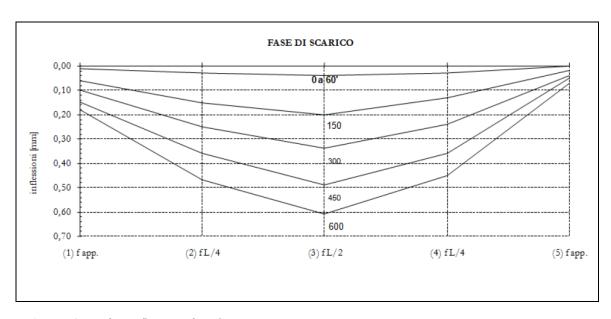


Figura 49: grafico inflessione fase di scarico

e. Documentazione fotografica:



Figura 50: foto interna disposizione trasduttori



Figura 51: foto esterna impronta di carico

f. Conclusione rapporto di prova:

Nella prova sopra illustrata, eseguita sul solaio intermedio del piano terra al fine di verificarne le caratteristiche di resistenza ed elasticità, si è registrata la freccia massima in mezzeria del solaio nel punto più sollecitato, che è risultata essere pari a 0.46 mm al netto dei cedimenti agli appoggi, si è inoltre registrata la freccia residua pari a 0.05 mm, nonché l'10.87% della freccia massima.

3.5.4 PROVA SOLAIO 4

È stata eseguita una prova sul solaio intermedio latero - cementizio, a copertura di un'aula a piano terra, con luce pari a 6,18 m.

a. Schema planimetrico:

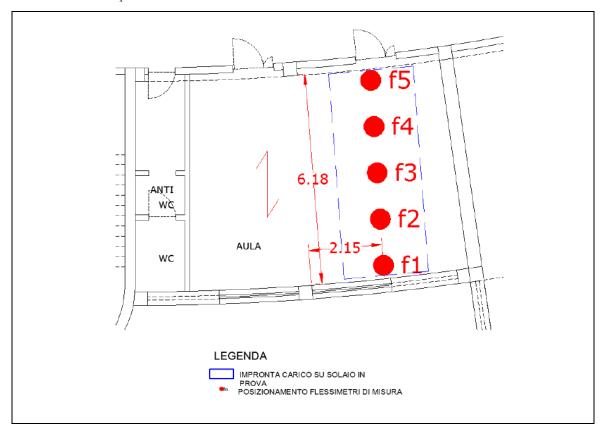


Figura 52: schema planimetrico con ubicazione del carico e dei comparatori di misura

b. Calcolo carichi di prova:

L	(m)	6.40	Luce del solaio			
I	(m)	2.5	Larghezza fascia caricata			
K		2.00	Coeff. Di collaborazione trasversale dei carichi			
Qa	(daN/mq)	300	Carichi accidentali			
Qp	(daN/mq)	/	Carichi permanenti non strutturali non applicati			
$\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}_{\mathbf{a}} + \mathbf{Q}_{\mathbf{p}}) * \mathbf{K}$	(daN/mq)	600	Carico di prova			

Tabella 21: calcolo carichi di prova solaio 4

c. Misurazioni:

Sono state rilevate le frecce in 5 punti mediante comparatori centesimali elettronici. Le misurazioni sono state effettuate per aumenti progressivi dei carichi in fase di carico e per decrementi progressivi dei carichi nella fase di scarico. I tempi tra un gradino di carico (o scarico) ed il successivo sono stati dettati dalla stabilizzazione delle deformazioni.

P	(1) f app.	(2) f L/4	(3) f L/2	(4) f L/4	(5) f app.	Ora lettura
[kg/m2]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.53
150	0.05	0.12	0.15	0.11	0.02	15.10
300	0.09	0.23	0.29	0.22	0.04	15.57
450	0.14	0.35	0.46	0.34	0.05	15.23
600	0.18	0.47	0.61	0.45	0.07	15.47
600	0.18	0.47	0.61	0.45	0.07	16.55
450	0.15	0.36	0.49	0.36	0.05	17.12
300	0.10	0.25	0.34	0.24	0.04	17.24
150	0.06	0.15	0.20	0.13	0.02	17.35
0	0.01	0.03	0.04	0.03	0.00	18.45

Tabella 22: misurazione della freccia

d. Grafici della deformazione:

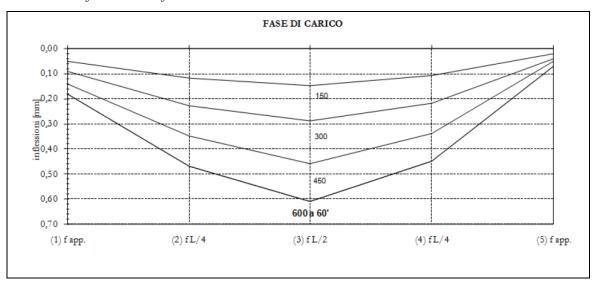


Figura 53: grafico inflessione fase di carico

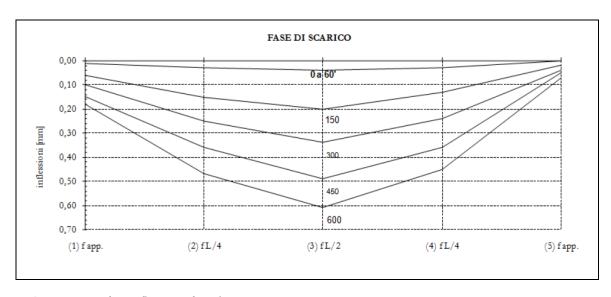


Figura 54: grafico inflessione fase di scarico

e. Documentazione fotografica:



Figura 55: foto interna disposizione trasduttori



Figura 56: foto esterna impronta di carico

f. Conclusione rapporto di prova:

Nella prova sopra illustrata, eseguita sul solaio intermedio del piano terra al fine di verificarne le caratteristiche di resistenza ed elasticità, si è registrata la freccia massima in mezzeria del solaio nel punto più sollecitato, che è risultata essere pari a 0.49 mm al netto dei cedimenti agli appoggi, si è inoltre registrata la freccia residua pari a 0.04 mm, nonché 1'8.16% della freccia massima.

3.6 Conclusioni

Dalle analisi condotte e dai rilievi effettuati è possibile affermare che la struttura non presenta carenze evidenti o disomogeneità strutturali. Le prove anti sfondellamento hanno evidenziato zone con presenza di infiltrazione e muffe, e zone lesionate con il fenomeno dello sfondellamento in atto. Solitamente per tali situazioni si raccomanda un periodico controllo ad opera di personale tecnico, così come una costante attività di manutenzione della copertura stessa e delle impermeabilizzazioni. In merito alle prove di carico su solaio, secondo il paragrafo 9 delle "norme tecniche costruttive 2018", l'esito delle tali è da valutarsi secondo questi punti salienti:

- Le deformazioni accrescono all'incirca proporzionalmente ai carichi
- Nel corso delle prove non si siano prodotte fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti che compromettano la sicurezza e la conservazione dell'opera
- La deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non superi 1\3 di quella totale misurata al netto dei prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico
- La deformazione elastica sia non maggiore di quella calcolata (per semplificazione L/500 può essere preso come valore di freccia teorica, in quanto proveniente dalle limitazioni del NTC per deformazioni verticali in SLE)

Si noti che tutte le prescrizioni elencate sopra sono ampiamente rispettate, implicando così l'idoneità dei solai verificati.

Tutti i parametri tecnici ricavati in questo capitolo saranno utili a costruire un modello numerico della struttura che sia quanto più coerente alla realtà dello stato di fatto. I risultati di cui alle prove sperimentali coincidono con gli elaborati storici depositati presso il genio Civile.

CAPITOLO IV

SICUREZZA NEGLI EDIFICIAI SENSI DELLE NORME

TECNICHE 2008-2018

Premessa

Il presente capitolo verterà sulle prescrizioni in tema di sicurezza con riferimento ai capitoli 8 delle "Norme Tecniche Costruttive 2008 e 2018" riguardanti la sicurezza degli edifici esistenti facendone in primis un confronto puntuale basato sui testi delle due normative, evidenziando gli aspetti in cui si differiscono, lasciando spazio in seguito a commenti e possibili interpretazioni.

4.1 Confronto testi delle due normative

Di seguito i paragrafi del capitolo 8 delle "Norme tecniche costruttive 2018" (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Gazzetta Ufficiale, 2018). Per una migliore comprensione del paragone, verranno riportati entrambi i testi correlati dove sono sbarrate le parti riguardanti le NTC 2008, ed evidenziate in rosso le parti aggiunte con le nuove NTC 2018.

4.1.1 Paragrafo 8.2: Criteri generali:

<<Le disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della presente norma costituiscono, ove applicabili, riferimento anche per le costruzioni esistenti, ad esclusione di quanto indicato nella presente norma in merito a limitazioni di altezza, regole generali, prescrizioni sulla geometria e sui particolari costruttivi e fatto salvo quanto specificato nel seguito. Nel caso di interventi che non prevedano modifiche strutturali (impiantistici, di distribuzione degli spazi, etc.) il progettista deve valutare la loro possibile interazione con gli SLU e SLE della struttura o di parte di essa. La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi devono tenere conto dei seguenti aspetti della costruzione:</p>

- Essa riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- In essa possono essere insiti, ma non palesi, difetti di impostazione e di realizzazione;
- Essa può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- Le sue strutture possono presentare degrado e/o modifiche significative, rispetto alla situazione originaria.

Nella definizione dei modelli strutturali si dovrà considerare che sono conoscibili, con un livello di approfondimento che dipende dalla documentazione disponibile e dalla qualità ed estensione delle indagini che vengono svolte, le seguenti caratteristiche:

- La geometria e i particolari costruttivi;
- Le proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni;

- I carichi permanenti.

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso di coefficienti legati ai "fattori di confidenza" che, nelle verifiche di sicurezza, modifichino i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza (v. §8.5.4) delle caratteristiche sopra elencate.>>1

4.1.2 Paragrafo 8.3: Valutazione della Sicurezza

<<La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU; nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente. Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC) di una struttura esistente e un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura e in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi anche locali.</p>

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

¹ (NTC 2018)

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad a danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di conseguenti anche a problemi in fondazione;
 - provati gravi errori di progetto o di costruzione;
 - cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una della classe d'uso superiore della costruzione;
 - esecuzione interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità θ e/o ne modifichino la rigidezza.
 - ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui all'art. 8.4
 - opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abilitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura.

Nella La valutazione della sicurezza, da dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali di miglioramento o adeguamento di cui al punto 8.4, e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento il Progettista dovrà esplicitare, in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto fra capacità e domanda, i livelli di sicurezza attuali precedenti all'intervento o raggiunti con l'intervento e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione.

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto Latra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'i-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto $\zeta_{v,i}$ tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione. È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.>>²

4.1.3 Paragrafo 8.4: classificazione degli interventi

<< Si individuano le seguenti categorie di intervento:

• RIPARAZIONI O INTERVENTI LOCALI che interessino singoli elementi strutturali elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti.

² (Cardinale, 2018) presentazione delle nuove norme tecniche costruttive 2018

- INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme; di sicurezza fissati all'art. 8.4.3.
- INTERVENTI DI ADEGUAMENTO atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza—fissati all'art. 8.4.3.

Solo gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico. Per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", e in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.>>3

Sotto paragrafo 8.4.1: Riparazione o intervento locale

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

_

³ (NTC 2018) (Cardinale, 2018) presentazione delle nuove norme tecniche costruttive 2018

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti. Non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al par. 8.2 8.3 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento ed a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.>>4

Sotto paragrafo 8.4.2: Intervento di miglioramento

<< Il progetto di intervento e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme. Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate. È</p>

-

⁴ (NTC 2018) (Cardinale, 2018) presentazione delle nuove norme tecniche costruttive 2018

possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1. Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0.>>5$

Sotto paragrafo 8.4.3: Intervento di adeguamento

<< E fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione e tali da alternarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 dell'art. 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;

_

⁵ (NTC 2018) (Cardinale, 2018) presentazione delle nuove norme tecniche costruttive 2018

- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso di edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.
- e) Apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b), d), per la verifica della struttura, si deve avere $\zeta_E \ge 1$. Nei casi c) ed e) si può assumere $\zeta_E \ge 0.8$.

Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali o variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d). una o più condizioni di cui agli altri precedenti punti.>>6

Evitando di trascrivere interamente in resto dei paragrafi del capitolo 8 delle NTC riguardanti:

 Definizione del modello di riferimento 	ner I	e analisi
--	-------	-----------

⁶ (NTC 2018)

- Materiali;
- progettazione degli interventi in presenza di azioni sismiche.

Vengono sotto riportati solo alcuni paragrafi di essi dove abbiamo piccole sottigliezze da far notare, utili alla comprensione delle conclusioni stilate a fine capitolo.

Sotto paragrafo 8.5.3: Caratterizzazione meccanica dei materiali

<< Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di costruzioni sottoposte a tutela, ai sensi del D.lgs. 42/2004, di beni di interesse storico-artistico o storico-documentale o inseriti in aggregati storici e nel recupero di centri storici o di insediamenti storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione. I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell'entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. Per le prove di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC o eventuali successive modifiche o interazioni, il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove stesse devono essere effettuate a cura di un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001.>>7

Sotto paragrafo 8.5.4: Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

<< Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali) e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello nelle verifiche di sicurezza. Ai fini della scelta del tipo</p>

⁷ (NTC 2018)

di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti, ordinati per informazione crescente:

- *LC1*;
- *LC2*:
- *LC3*.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria della struttura, dettagli costruttivi, proprietà dei materiali, connessioni tra i diversi elementi e loro presumibili modalità di collasso. Specifica attenzione dovrà essere posta alla completa individuazione dei potenziali meccanismi di collasso locali e globali, duttili e fragili.>>8

Sotto paragrafo 8.7.5: Progetto dell'intervento

<< Per tutte le tipologie costruttive, il progetto dell'intervento di miglioramento o adeguamento sismico deve almeno comprendere:</p>

- a) l'analisi e la verifica della struttura prima dell'intervento, con identificazione delle carenze e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto);
- b) la scelta, esplicitamente motivata, del tipo di intervento;
- c) la scelta, esplicitamente motivata, delle tecniche e/o dei materiali;
- d) il dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi;
- e) l'analisi strutturale della struttura post-intervento;
- f) la verifica della struttura post-intervento, con determinazione del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto).

Analogamente si procederà per gli interventi (di riparazione o rafforzamento) locali. In tal caso non si eseguiranno le analisi della struttura e le verifiche ante

^{8 (}NTC 2018) (Cardinale, 2018) presentazione delle nuove norme tecniche costruttive 2018

e post-operam di cui ai punti a), e), f), che saranno sostituite da analoghe verifiche sul singolo elemento o sul meccanismo locale sul quale si interviene, al fine di determinarne gli incrementi di resistenza e/o di duttilità conseguenti all'intervento.>>9

4.2 Interpretazione e Conclusioni

4.2.1 Rischio VS Sicurezza:

Il Capitolo 8 delle nuove NTC 2018, riguardante gli interventi sugli edifici esistenti, ha apportato un cambiamento concettuale sugli interventi di ambito sismico. La disputa tra una filosofia di "sicurezza" ed un'altra di "riduzione del rischio" si è conclusa con il prevalere della seconda. In altri termini, a fronte delle risorse limitate del nostro Paese, dove risulta quasi un'utopia la messa in sicurezza della totalità del patrimonio edilizio, si pensa, secondo questa nuova concezione, che sia meglio ridurre il rischio sismico per la maggior parte degli edifici, anziché metterne in sicurezza solo alcuni.

4.2.2 Valutazione della sicurezza

Come si può notare nel paragrafo 8.3 è stata inserita una nuova voce che rende obbligatoria la valutazione della sicurezza, ossia "opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abilitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione". Si precisa inoltre che il livello di sicurezza dell'immobile è quantificato come:

 $\zeta = \frac{azione\ sismica\ massima\ sopportabile\ dalla\ struttura}{azione\ sismica\ massima\ che\ si\ utilizzerebbe\ per\ una\ nuova\ costruzione}$

4.2.3 Classificazione degli interventi

Riguardo la classificazione degli interventi, negli **interventi locali** si precisa l'obbligo di dimostrare che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti, anziché come nelle vecchie norme, comportino un miglioramento delle condizioni. Inoltre, è fatto obbligo di valutare l'incremento di sicurezza qualora gli

_

⁹ (NTC 2018)

interventi siano migliorie delle caratteristiche meccaniche e strutturali o limitazioni della possibilità dei meccanismi di collasso.

Negli **interventi di miglioramento,** si è specificato che il valore di ζ_E (precedentemente definito) può essere inferiore dell'unità. Fatta eccezione di particolari situazioni che coinvolgono beni culturali, per costruzioni di classe III e IV il valore di ζ_E deve comunque non essere minore a 0.6. Quanto detto sembrerebbe una riduzione del livello di sicurezza, ma in realtà, mai nessuna norma aveva imposto per gli edifici esistenti un ζ_E di 1 Si ritiene dunque sufficiente "garantire" che la struttura sopporti il 60% della domanda sismica del sito (cioè ha il 60% della capacità che avrebbe una nuova costruzione nello stesso sito). Per le rimanenti strutture ordinarie invece, il ζ_E deve essere **incrementato** di 0.1 Si esplica proprio in questo passaggio, la volontà di diffondere quanto più la riduzione del rischio.

Sorge però una questione non di poco conto, l'indicazione di incrementare di 0.1 il livello di sicurezza comunque risulta un aspetto benefico, soprattutto se messo in relazione ad una non indicazione a riguardo. D'altronde bisogna notare che questo incremento molte volte non risulta sufficiente, in quanto se le condizioni iniziali sono precarie, di certo non sarà l'incremento di 0.1 di ζ_E a migliorare la situazione. Il problema è che il tecnico progettista che esegue l'intervento è dovuto ad una verifica di sicurezza seguita dalla dichiarazione che l'edificio possa essere utilizzato. Pertanto, sarebbe stato più opportuno, per evitare confusione, richiedere una "verifica della riduzione del rischio" anziché una "verifica di sicurezza".

Per quanto concerne **gli interventi di adeguamento,** sono state meglio precisate alcune specifiche per le quali è obbligatorio tale tipologia di intervento, con l'aggiunta di una prescrizione riguardante il cambio di destinazione d'uso, che era assente nelle norme precedenti. Inoltre, per alcuni punti è stata introdotta la possibilità di adottare un coefficiente di sicurezza ζ_E di 0.8 anziché 1.

Concludendo, in ripresa a quando detto nei paragrafi precedenti, le nuove "Norme Tecniche Costruttive 2018" rappresentano il primo passo verso una filosofia che mira a diffondere gli interventi di abbassamento del rischio sismico in tutto il patrimonio edilizio del nostro Paese.

CAPITOLO V

MODELLAZIONE STRUTTURA STATO DI FATTO E INTERVENTI PROPOSTI AI SENSI DELLE NTC 2008-2018

Premessa

Nel seguente capitolo verrà affrontata la modellazione della struttura. Tale modello numerico, dovrà essere quanto più fedele e coerente con la realtà in modo da non incorrere in errori grossolani che mal condizionino la proposta di miglioramento effettuata in seguito. Raccolti tutti i dati utili provenienti dalle indagini conoscitive, tramite delle indagini geotecniche saranno esplicitati i parametri caratteristici del terreno sottostante. Tramite il software di calcolo utilizzato sarà effettuata una simulazione sismica, e verranno portate in evidenza tutte le criticità della struttura allo stato di fatto.

5.1 Prove geotecniche e caratterizzazione suolo di fondazione¹⁰

5.1.1 Caratteristiche morfologiche, geolitologiche e strutturali

L'area indagata è ubicata a sud dell'abitato di Specchia ad una quota topografica di 130 metri s.l.m.; morfologia pianeggiante e priva di emergenze di interesse scientifico e ingegneristico.

Dal rilievo geologico di superficie è stata evidenziata la seguente successione stratigrafica:

- Calcare di Altamura
- Pietra Leccese
- Calcareniti di Gravina

In base ai caratteri litologici, la circolazione idrica si esplica attraverso un livello localizzato nei calcari cretacei denominato "acquifero di base" in quanto la falda in esso contenuta è sostenuta dall'acqua marina di invasione continentale. Il gradiente idraulico, come emerso dai numerosi rilievi effettuati, è di 2.0 metri e tende a ridursi verso Est con una cadente piezometrica dello 0.015%. La falda si rinviene ad una profondità superiore a 100 metri, pertanto non interagisce con le opere fondali della struttura esistente.

5.1.2 Indagine geognostica: sismica con metodologia ReMi

Indagine condotta in conformità al D.M. 14.01.2008. Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione si è proceduto mediante la metodologia ReMi (refraction microtremor). Vengono dunque utilizzati dei microtremori abbinati ad un vettore di geofoni che captano le onde propagate nel terreno. La modellazione del sottosuolo avviene mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Per rilevare onde sismiche trasversali, è necessaria una sorgente di onde con una prevalente componente di taglio. Recenti studi hanno consentito di creare un modello matematico anche per trattare le onde S, cercando di godere del vantaggio della elevata energia associata a questo tipo di propagazione.

L'analisi delle onde S mediante ReMi viene eseguita con la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del

¹⁰ Paragrafo tratto da report relazione tecnica società (GeoProve, s.d.)

segnale. In questo spettro trasformato risulta facile separare la componente delle onde S da altri tipi di segnali. L'osservazione dello spettro consente di notare ce l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f

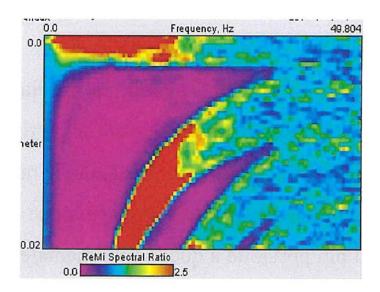


Figura 57: esempio di spettro di potenza p-f

Nella precedente figura è possibile riconoscere visivamente le onde Rayleigh che hanno carattere dispersivo.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitrari ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o l/velocità di fase) per alcune frequenze.

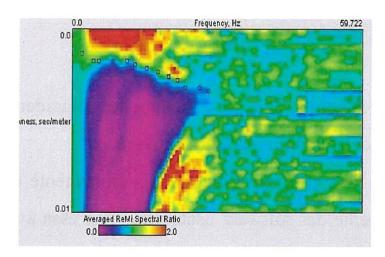


Figura 58: esempio di picking

Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma di periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi ReMi, consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell'utente più esperto.

I dati selezionati dall'immagine P-f vengono plottati su un diagramma, nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello Vs che è modificabile dall'interpretatore. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità nel modello, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

La curva di dispersione calcolata, approssimativamente coincidente con la curva sperimentale, viene associata ad un modello sintetico. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e dipendentemente dal software usato può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale.

Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore.

La $V_{\rm S30}$ è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i}^{h_i}/V_i}$$

Da tale relazione è emerso un valore di $V_{\rm s30}$ di 717 m/sec.

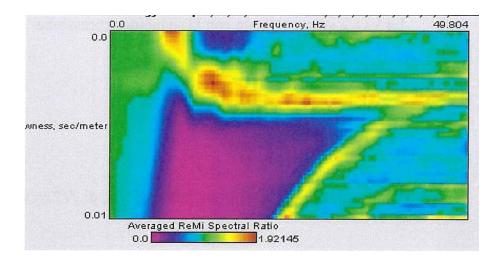


Figura 59: spettro di potenza p-f

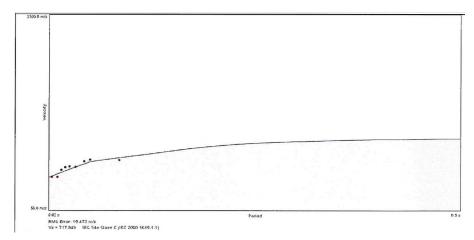


Figura 60: curva di dispersione

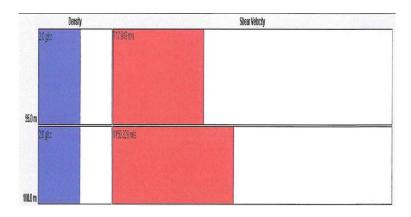


Figura 61: modello del profilo Vs/profondità

Pertanto, viste le categorie di suolo individuate dal Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008, recante "Norme Tecniche per le costruzioni", il suono di fondazione in esame rientra nella categoria B in quanto presenta un valore di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/sec. Ossia: "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti" con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{STP,30}$ <50 nei terreni a grana grossa e 70 < $c_{u,30}$ <250 KPa nei terreni a grana fina)"

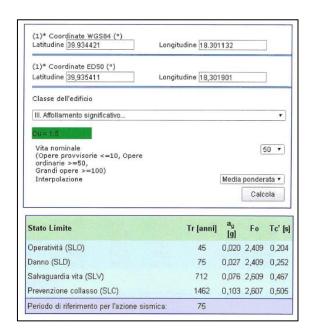


Figura 62: dati spettrogramma progetto

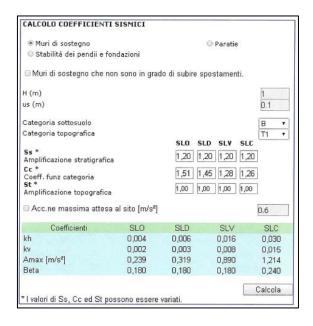


Figura 63: coefficienti sismici

5.1.3 Indagine geognostica: sismica a rifrazione

Per determinare la successione stratigrafica e le proprietà geotecniche del terreo fondale si è proceduti con l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione.

La sismica di rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni, con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità (Vp) con cui tali onde coprono le distanze tra sorgente ed i vari ricevitori.

I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (democrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati.

È stato eseguito un profilo sismico coniugato, adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri. L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 Kg ed una piastra rettangolare. Le onde così generate sono state registrate con un sismografo

a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo. L'interpretazione dei dati di campagna è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo Palmer e delle intercette.

Dal profilo sismico è stato ricostruito un modello a due sismo-strati. In affioramento si rinviene del terreno di riporto per uno spessore di 0.8 metri e presenta una velocità di 300m/sec, il secondo sismo-strato presenta una velocità di 1500 m/sec ed è assimilabile ad una calcarenite ben cementata.

I parametri geotecnici delle **calcareniti** dedotti dal profilo sismico a rifrazione sono risultati i seguenti:

Densità relativa (%)	80
Angolo di attrito (°)	40
Modulo elastico (Kg/cmq)	117
Classificazione AGI	Addensato
Coesione (Kg/cmq)	0.0
Peso di volume (gr/cmc)	2.22
Modulo di Poisson	0.27
Modulo di def. Taglio (Kg/cmq)	2260
Modulo di reazione (kg/cmc)	7.34

Tabella 23: parametri geotecnici dedotti dal profilo sismico

A seguire come rappresentato in **figura 64** una rappresentazione della stratigrafia del terreno ricavata con il metodo a rifrazione.

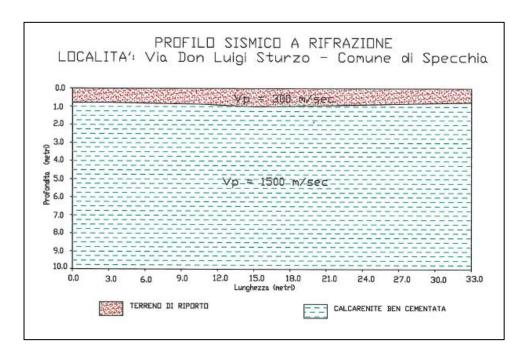


Figura 64: profilo sismico di rifrazione

5.1.4 Modellazione geologico tecnica del sottosuolo e calcolo capacità portante

Le nuove norme tecniche ordinano, nel metodo semiprobabilistico agli strati limite, di tener conto di eventuali indeterminazioni andando a dividere i parametri geotecnici travati, con opportuni coefficienti di sicurezza.

Parametro al quale applicare il coeff. parziale	Coefficienti parz	ziali di sicurezza	Parametri corretti				
	M1	M2	M1	M2			
Tan φ'	$\gamma_{\phi} = 1.00$	$\gamma_{\phi} = 1.25$	40	33			
C'	$\gamma_c = 1.00$	$\gamma_c = 1.25$	0.0	0.0			
γ	$\gamma_s = 1.00$	$\gamma_s = 1.00$	2.22	2.22			

Tabella 24: parametri geotecnici corretti. Tan ϕ = tangente dell'angolo di resistenza al taglio; C'=coesione efficace (kg/cmq); γ = peso dell'unità di volume (g/cmc);

Per il calcolo della capacità portante è stato applicato l'approccio 1 combinazione 2, combinazione tipo geotecnica GEO (A2 + M2 + R2), nel nostro caso per la

determinazione della capacità portante dei terreni è stata utilizzata la relazione di Meyerhof per fondazione continua, orizzontale e senza inclinazione di carico. La formula è la seguente:

$$q \lim = c N_c s_c d_c + \gamma D N_q s_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

dove N_c , N_q , N_y , sono fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di attrito efficace(ϕ '); s_c , s_q , s_y , sono fattori di forma della fondazione; d_c , d_q , d_y , sono fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.

I valori dei fattori di forma sono stati calcolati mediante le relazioni:

$$s_c = 1 + 0.2 * k_p * \frac{B}{L}$$

$$s_q = s_y = 1 + 0.1 * K_p * \frac{B}{L}$$

Dove:

$$K_p = tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

con L= lunghezza della fondazione; B = larghezza della fondazione

Nei casi reali la fondazione è posta sempre ad una certa profondità D al di sotto del p.c.

Ciò comporta:

- Un effetto stabilizzante dovuto alla presenza del sovraccarico q'= γD agente ai bordi della fondazione;
- Un effetto stabilizzante dovuto alla resistenza al taglio mobilitabile lungo la superficie di scorrimento.

Il primo è rappresentato nell'espressione q lim del termine (q'Nq); il secondo è ricavabile dall'espressione approssimata di (Meterhof, 1970):

$$d_c = 1 + 0.2\sqrt{k_p} * \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_{\mathcal{X}} = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} * \frac{D}{B}$$

Dove:

$$k_p = tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Con D = profondità; B = larghezza

Il carico di sicurezza q_s è stato ottenuto applicando alla capacità portante ultima (qlim) un coefficiente pari a 1.8

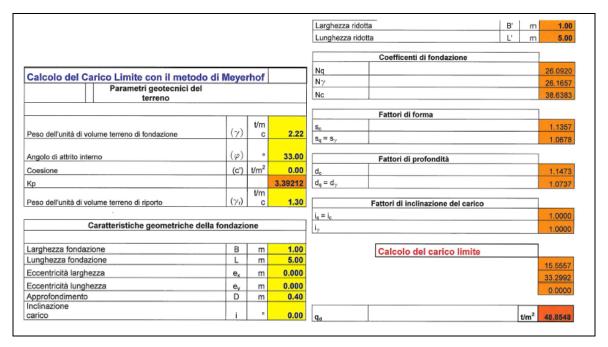


Tabella 25: calcolo del carico limite

Il carico ammissibile risulta pari a 2.6 Kg/cmq.

5.1.5 Conclusioni prove geotecniche

Dalle indagini eseguite su di un'area dove insita la scuola secondaria di I grado Don Luigi Sturzo è emerso:

- Litologicamente affiorano le Calcareniti di Gravina
- Idrogeologicamente è presente una falda profonda che non interagisce con le opere fondali della struttura
- Morfologicamente l'aerea risulta sub-pianeggiante e posizionata ad una quota topografica di circa 130 metri s.l.m.;
- Dal profilo sismico di rifrazione è stata ricostruita la successione litostratigrafica (si veda fig. 8)

- I parametri geotecnici sono stati ricavati nel par 5.1.4
- Dall'indagine sismica con metodo ReMi, è stata determinata una Vs30 di 717 m/sec.
- La categoria sismica del suolo di fondazione è la B.

5.2 Modellazione struttura¹¹

5.2.1 Descrizione software utilizzato: EDILUS

Il software utilizzato consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi. È dotato di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solai, solette, setti, travi-pareti, ecc.). L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, pareti ecc.) in un ambiente grafico integrato.

È possibile creare archivi di Sezioni, Materiali e Carichi da conservare e riutilizzare in qualsiasi momento, sempre fermo restante la possibilità di modificarli e integrarli.

Le operazioni consentite all'Utente sono:

- · definizione vincoli interni ed esterni di ciascuna asta
- · inserimento dei parametri necessari alla riproduzione dell'azione sismica;
- · definizione condizioni di carico;
- · definizione rigidezza degli impalcati.

Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti MICROSAP prodotto dalla società TESYS S.r.l. La scelta di tale codice e motivata dall'elevata affidabilità dimostrata e dall'ampia documentazione a disposizione, dalla quale risulta la sostanziale uniformità dei risultati ottenuti su strutture standard con i risultati internazionalmente accettati ed utilizzati come riferimento.

¹¹ La reazione di tale paragrafo è stata effettuata prendendo in riferimento le relazioni tecniche generate dal software utilizzato Eilus-CA (Software, Acca, s.d.)

5.2.2 Modellazione stato di fatto

Per la modellazione del corpo centrale del plesso scolastico si è partiti dal progetto originario depositato all'ex Genio Civile nel 1978 (vedasi appendice 1). Risulta dunque una struttura intelaiata in C.A. articolata in pianto terra e piano primo, con solai in latero cemento e basata su fondazioni isolate (plinti). La struttura è stata discretizzata tramiti l'utilizzo di elementi beam e shell.

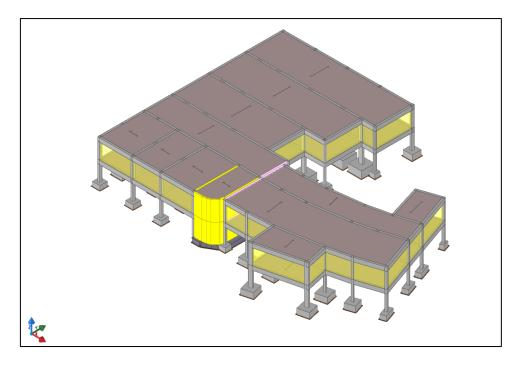


Figura 65: assonometria modello stato di fatto

5.2.3 Materiali impiegati e resistenza di calcolo

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

I materiali impiagati nella costruzione degli elementi strutturali sono i seguenti:

Calcestruzzo armato

											Caratte	ristiche c	alcestruz	zzo a	rmato
N _{id}	γk	α _{T, i}	E	G	C _{Erid}	Stz	R _{ck}	R _{cm}	%R _{ck}	γ _c	f _{cd}	f _{ctd}	f _{cfm}	N	n Ac
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]		[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Cls C	25/30_B4	150C - (C2	5/30)												
001	25 000	0,000010	31 447	13 103	60	F/P	30,00	-	0,85	1,50	11,76	0,99	2,56	15	002

Tabella 26: caratteristiche calcestruzzo armato

Acciaio

													(Caratteri	stiche	acciaio
N _{id}	γk	α _{T, i}	E	G	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yd,1} / f _{yd,2}	f _{td}	γs	γ _{м1}	ү м2	ү мз,slv	⅓ M3,SLE	NCn t	M7 Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
Acci	aio B450	C - (B4500	C)													
002	78 500	0,000010	210 000	80 769	F/P	450,0 0	-	391,30	-	1,15	-	-	-	_	-	_
			000	/69	·	-		-								

Tabella 27: tabella caratteristiche acciaio

Legenda: N_{id} Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali. γ_k Peso specifico. $\alpha_{T,i}$ coefficiente di dilatazione termica E modulo elastico normale G modulo elastico tangenziale C_{Erid} Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [$E_{sisma} = E \cdot c_{Erid}$]. Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo) Rck Resistenza caratteristica cubica \mathbf{R}_{cm} Resistenza media cubica. ${}^{\mbox{\it M}}_{ck}$ Percentuale di riduzione della R_{ck} γ_c Coefficiente parziale di sicurezza del materiale. \mathbf{f}_{cd} Resistenza di calcolo a compressione fctd Resistenza di calcolo a trazione \mathbf{f}_{cfm} Resistenza media a trazione per flessione n Ac Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale

 $\mathbf{f}_{tk,1}$ Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $t \le 40$ mm).

 $\mathbf{f}_{tk,2}$ Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t \leq 80 mm).

 γ_s Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale

TAC Tipologia di Applicazione del Composito: [A] = Tipo A; [B] = Tipo B; [-] = materiale generico.

5.2.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Sulla base delle informazioni acquisite:

- sulla GEOMETRIA (§C8.A.1.A.1 Circolare 02-02-2009 n. 617);
- sui DETTAGLI COSTRUTTIVI (§C8.A.1.A.2 Circolare 02-02-2009 n. 617);
- sulle PROPRIETA' DEI MATERIALI (§C8.A.1.A.3 Circolare 02-02-2009 n. 617);

con riferimento alla Tabella C8.A.1.1 (Circolare 02-02-2009 n. 617) sono stati acquisiti il **LIVELLO DI CONOSCENZA** (LC - §C8.A.1.A.4 - Circolare 02-02-2009 n. 617) ed il **FATTORE DI CONFIDENZA** (FC - §C8.A.1.A.4 - Circolare 02-02-2009 n. 617) seguenti:

	Livello di conoscenza e fattore di confidenza						
Livello di conoscenza	Fattore di confidenza						
LC2	1.20						
LEGENDA: Livello di conoscenza e fattore di confidenza							
Livello di conoscenza [LC1] = Conoscenza Limitata - [LC2] = Conoscenza Adeguata - [LC3] = Conoscenza Accurata. Fattore di confidenza applicato alle proprietà dei materiali.							

Tabella 28: livello di conoscenza e fattore di confidenza

5.2.5 Analisi dei carichi

N _{id}	т. с.	Descrizione del Carico	Tipologie di Carico	Peso Proprio		Permanente NO Strutturale	N	Sovraccarico Accide	Caric o	
		Carico	Carico	Descrizione	PP	Descrizione	PNS	Descrizione	SA	Neve
001	S	Doppia fodera 34cm (12+12)	Carico Permanente	Fodera esterna (12 cm) e fodera interna (12 cm)	1 920	Intonaco interno, intonaco esterno, isolante poliuretano espanso	740		0	[N/m²]
002	S	Platea	Abitazioni	*vedi le relative tabelle dei carichi	-	Sottofondo e pavimento di tipo industriale in calcestruzzo	2 000	Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN (Cat. F – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008)	2 500	0
003	S	LatCem Cop. acc. H22	Coperture	Solaio di tipo tradizionale latero- cementizio di spessore 22 cm (18+4)	3 050	Manto di copertura, impermeabilizzazione e intonaco inferiore	1 360	Coperture praticabili di locali di abitazione (Cat. H2 – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008)	2 000	1 000
004	S	LatCem Scuole H25	Scuole	Solaio di tipo tradizionale latero- cementizio di spessore 25 cm (20+5)	3 530	Pavimentazione e sottofondo, incidenza dei tramezzi e intonaco inferiore	2 360	Scuole (Cat. C1 – Tab. 3.1.II - DM 14.01.2008)	3 000	0
N _{id} T. C.	GEN pns,	Numero identifica Identificativo del Valori, rispettivan tipo di carico indi	tipo di carico: nente, del Peso cato nella colo	[S] = Superficiale - [L] Proprio, del Sovracca	ico Per "C"), i	are - [C] = Concentrato manente NON struttura valori riportati nelle co er carichi Concentrati.	ile, del			

Tabella 29: analisi dei carichi

5.2.6 Valutazione azione sismica e spettrogramma di progetto

Il procedimento per la valutazione dell'azione sismica e nonché la valutazione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche e stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica.
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g, F₀ e T_c per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione e stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio.
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

L'edificio e stato progettato per una Vita Nominale pari a 50 anni e per Classe d'Uso pari a 3. In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il suolo di fondazione di

categoria B, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

						Par	rametri di perico	olosità sismica
Stato Limite	a _g	Fo	T*c	Cc	T _B	T _c	T _D	Ss
	[q]		[s]		[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	0.0203	2.411	0.205	1.51	0.103	0.310	1.681	1.20
SLD	0.0271	2.407	0.254	1.45	0.123	0.368	1.708	1.20
SLV	0.0755	2.610	0.468	1.28	0.200	0.599	1.902	1.20
SLC	0.1031	2.608	0.507	1.26	0.213	0.638	2.012	1.20

Tabella 30: parametri utilizzati per la costruzione degli spettri di progetto

Oltre a questi parametri è stato necessario valutare il fattore di struttura "q" che tiene conto delle capacità dissipative della stessa. Tale fattore dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla classe di duttilità e dalla regolarità in altezza.

Sono risultati i seguiti valori:

Stato limite di salvaguardia della vita

- -Verifica meccanismi "duttili"
 - Fattore di Struttura (qx) per sisma orizzontale in direzione X: **3,000**;
 - Fattore di Struttura (q_Y) per sisma orizzontale in direzione Y: **3,000**;
 - Fattore di Struttura (qz) per sisma verticale: **1,50**.
- -Verifica meccanismi "fragili"
 - Il fattore di struttura utilizzato per la verifica di tali meccanismi e pari a **1,50**.

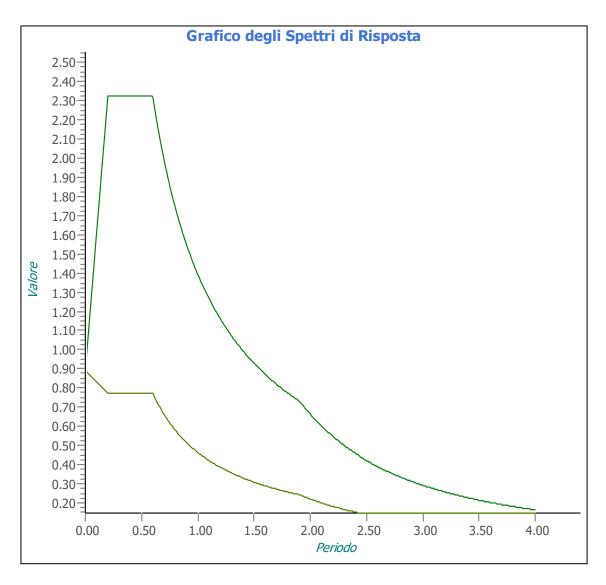


Figura 66: spettrogramma di progetto SLV

5.2.7 Metodo di analisi

La tipologia di analisi adottata è stata quella **modale.** La risposta massima complessiva di una generica caratteristica E, è stata trovata tramite una combinazione probabilistica definita CQC (*Complete Quadratic Combination*).

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} E_i E_j} \qquad \qquad \rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{1j}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij}^2)}$$

$$\beta_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

Dove:

- n e il numero di modi di vibrazione considerati;
- ξ e il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;
- βij e il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Il calcolo degli effetti dell'azione sismica e stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo cioè conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione escludendo i tamponamenti. Si è tenuto conto delle deformabilità taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; muri, pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a quattro nodi con comportamento a guscio. Sono stati considerati sei gradi di libertà per nodo; in ogni nodo della struttura sono state applicate le forze sismiche derivanti dalle masse circostanti. Le sollecitazioni derivanti da tali forze sono state poi combinate con quelle derivanti dagli altri carichi come prima specificato.

Per quanto riguarda Le azioni orizzontali dovute al sisma sulla struttura, esse vengono convenzionalmente determinate come agenti separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate. In generale, però, le componenti orizzontali del sisma devono essere considerate come agenti simultaneamente. A tale scopo, la combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica è stata tenuta in conto come segue:

• gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0.30 E_{EdY}$$
 ; $E_{EdY} \pm 0.30 E_{EdX}$

dove:

EEdx rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale X scelto della struttura;

EEdy rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale Y scelto della struttura.

Invece per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando

l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a +/- 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

5.3 Risultati analisi stato di fatto

Tabella 31: metodo di analisi

Analisi	Fattore di struttura q nella direzione del sisma						
Alidisi	Sisma orizzontale in direzione X	Sisma orizzontale in direzione Y					
Dinamica modale con fattore di struttura q	3.000	3.000					

LEGENDA: Metodo di analisi

Tipo di analisi usata per la verifica sismica e il calcolo degli indicatori di rischio sismico.

Fattore di struttura q [-] = Non significativo per il tipo di analisi usata.

Tabella 32: periodi fondamentali e masse partecipanti

Direzion e	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.323	1	28.98	886.18
Υ	0.188	2	28.56	879.80

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo di vibrazione nella direzione considerata.

Modo di vibrare Modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione

considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.

Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto. Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata. Masse partecipanti

Coefficiente di partecipazione

Tabella 33: capacità - entità dell'azione sismica

SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _c	T _{RC}
			[Ag/g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.0793	545
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.0546	229
SLV	Carico Limite Terreno	TER	0.4064	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.0000	0
SLV	Taglio	CA	0.0676	380
SLV	Rottura del Nodo	CA	0.0000	0

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno [SLO] = stato limite di operatività.

Materiale Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] =

Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura. Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi. Tipo di rottura

Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGAc=0 -> l'elemento risulta non verificato già

per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica $[G_k + \Sigma_i(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$. Se PGAc=NS -> Non significativo per valori di PGAc >=

Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno (valutato con la formula 2 dell'ALLEGATO A del D.M.

14/01/2008).

Tabella 34: domanda - entità dell'azione sismica

Stato Limite	PGA _D	T _{RD}
	[Ag/g]	[anni]
SLO	0.0244	45
SLD	0.0325	75
SLV	0.0906	712
SLC	0.1237	1462

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite
Stato Limite | Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso.

PGA_D | Domanda in termini di accelerazione al sito (S_s·S_T·a_g/g).

Domanda in termini di periodo di ritorno.

Tabella 35: indicatori di rischio sismico

Stato Limite	α pga	$lpha_{TR}$
SLO	2.240	1.949
SLD	2.440	2.255
SLV	0.000	0.000

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività. Stato Limite

Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGAc/PGAD - [NS] = non significativo, per valori α_{PGA}

superiori o uguali a 100. [0] - S la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla. Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: $(T_{RC}/T_{RD})^{0.41}$ - [NS] = non significativo, per α_{TR}

valori superiori o uguali a 100.

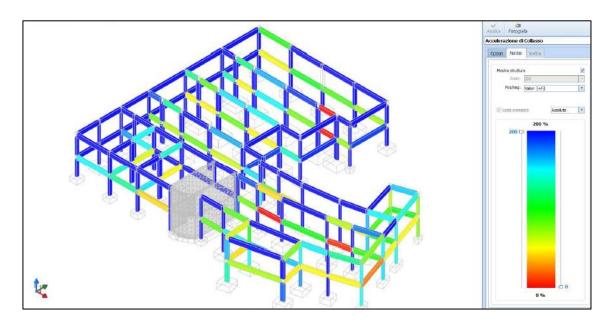


Figura 67: accelerazioni di collasso % - flessione

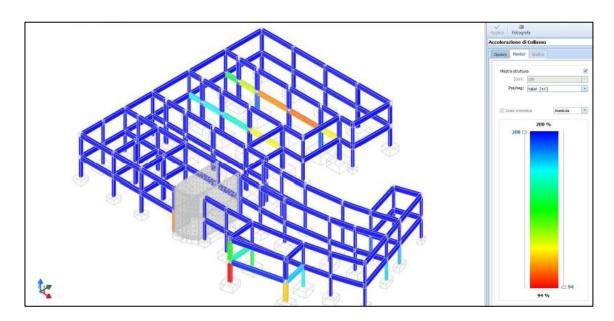


Figura 68: accelerazioni di collasso % - taglio

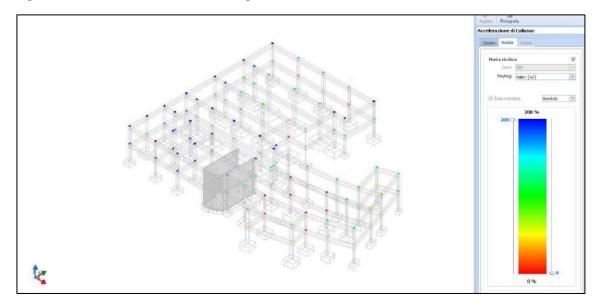


Figura 69: accelerazioni di collasso % - rottura nodo

5.3.1 Conclusioni e interpretazioni risultati

Dall'analisi effettuata, la struttura nel suo stato di fatto, presenta, come evincibile nelle tabelle precedenti, periodi T per i modi di vibrare preponderanti in direzione x e y, rispettivamente di 0.323 s e 0.188 s.

Al fine di calcolare l'indice di rischio sismico definito dalla normativa come

 $\zeta = \frac{azione\ sismica\ massima\ sopportabile\ dalla\ struttura}{azione\ sismica\ massima\ che\ si\ utilizzerebbe\ per\ una\ nuova\ costruzione}$

la *tabella 12* riassume la capacità in termini di risposta sismica per le varie situazioni progettuali. Le criticità emergono per le verifiche allo "Stato limite della salvaguardia della vita" per rotture dovute a flessione o pressoflessione e rotture del nodo, dove la capacità nei confronti dell'azione sismica risulta 0.00. Come si evince dalla legenda di *tabella 12*. il valore di PGA_c di 0.00 sta ad indicare che la criticità proviene già dalla verifica statica per carichi verticali allo SLU (stato limite ultimo). Ne consegue quindi che l'indicatore di rischio sismico risultante è anch'esso 0.00.

Le *figure:10;11;12*, rappresentano degli screenshot del software Edilus riportanti i valori percentuali dell'accelerazioni di collasso, divise per tipologia di rottura (flessione, taglio, rottura nodo), su di una scala cromatica. In queste rappresentazioni in colore rosso è rappresentato l'elemento con il valore relativamente più basso, ed in blu quello più alto corrispondente al valore del 200%.

5.4 Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2008

Per il plesso scolastico oggetto di questa tesi, è stato previsto un intervento sulla struttura esistente, che sia di miglioramento. Dicasi intervento di miglioramento, l'intervento "atto ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pure senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalla presenti norme".(NTC 2008)

Pertanto, sulla base di quanto affermato nel Cap 4 sulla comparazione delle due NTC, per una soluzione migliorativa contenuta anche economicamente, si è optato per l'inserimento nella struttura di setti in cemento armato e per l'applicazione di fasce di fibra di carbonio.

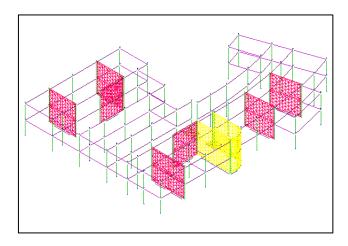


Figura 70: rappresentazione setti

I setti rappresentati in rosso in *figura:13* hanno il compito di confinare e centrare il centro di rigidezza della struttura nonché di limitare l'entità dell'azione sismica orizzontatale che grava sui pilastri.

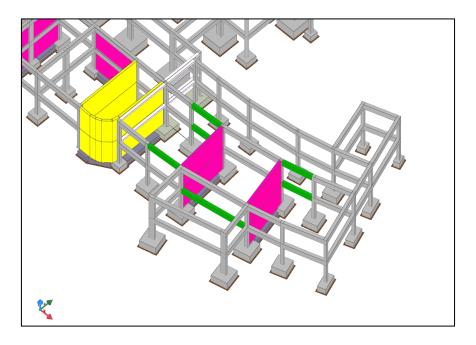


Figura 71: rappresentazione travi interessate dal placcaggio FRP

Mentre Per gli elementi portanti orizzontali che risultano ancora non verificati si è previsto un rinforzo locale mediante fasciatura in FRP (rappresentati in verde in figura 14.).

I rinforzi in FRP (Fiber Reinforced Polymer) sono da moltissimi anni impiegati nell'adeguamento sismico di strutture in cemento armato, muratura e legno. Grazie alla loro elevatissima resistenza e al peso trascurabile risultano vincenti nel rinforzo strutturale. Con il termine FRP o materiali fibrorinforzati a matrice polimerica si indica una vasta gamma di materiali compositi, costituiti da una matrice polimerica di natura organica con la quale viene impregnato un rinforzo in fibra continua con elevate proprietà meccaniche.

Di recente sviluppo e commercializzazione sono invece i materiali compositi ottenuti da una matrice inorganica, costituita da un legante idraulico pozzolanico, e da reti di fibra, in genere carbonio.

Come tutti i materiali compositi, gli FRP hanno un comportamento anisotropo ed eterogeneo ma garantiscono un comportamento elastico lineare fino al collasso.

I prodotti fibrorinforzati presentano particolari caratteristiche quali:

- elevata leggerezza
- elevata resistenza meccanica
- elevate resistenza alla corrosione
- elevata coibenza termica

Le fibre hanno una elevata resistenza a trazione e rappresentano pertanto gli elementi resistenti del materiale fibrorinforzato. Infatti, quando un materiale fibrorinforzato subisce uno sforzo assiale di trazione, gli sforzi veri e propri vengono assorbiti dalle fibre mentre alla matrice polimerica si dà il solo compito di distribuzione degli stessi fra le fibre determinando così una uniformità di sollecitazione tra queste. La resina ha inoltre la funzione di protezione delle fibre dall'usura nonché quella di assicurare un loro buon allineamento. In breve in campo simico, gli FRP permettono di aumentare la capacità portante e/o la duttilità di una struttura senza l'introduzione di nuove masse sismiche.

5.4.1 Risultati ottenuti

Tabella 36: Metodo di analisi

Analisi	Fattore di struttura q nella direzione del sisma				
Alidisi	Sisma orizzontale in direzione X	Sisma orizzontale in direzione Y			
Dinamica modale con fattore di struttura q	3,000	3,000			

LEGENDA: Metodo di analisi

Analisi Tipo di analisi usata per la verifica sismica e il calcolo degli indicatori di rischio sismico.

Fattore di struttura a [-] = Non significativo per il tipo di analisi usata.

Tabella 37: periodi fondamentali e masse partecipanti

Direzion Periodo		Periodo	Modo di vibrare	Modo di vibrare Masse partecipanti	
		[s]		[%]	
	X	0.141	2	28.23	930.63
	Υ	0.093	1	43.36	1′153.25

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo di vibrazione nella direzione considerata.

Modo di vibrare Modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione

considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di Masse partecipanti partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto. Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata.

Coefficiente di partecipazione

Tabella 38: capacità - entità dell'azione sismica sostenibile

SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C	T _{RC}
			[Ag/g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1659	>2475
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1210	1396
SLV	Carico Limite Terreno	TER	1.4980	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.0190	82
SLV	Taglio	CA	0.0558	241
SLV	Rottura del Nodo	CA	0.0780	337

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività. Stato Limite

Materiale Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] =

Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura. Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi.

Tipo di rottura

Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGAc=0-> l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica [$G_k+\Sigma_i(\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i})$]. Se PGAc=NS-> Non significativo per valori di PGAc>= 1000.

Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno (valutato con la formula 2 dell'ALLEGATO A del D.M. 14/01/2008). T_{RC}

Tabella 39: domanda - entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite	PGA _D	T _{RD}
	[Ag/g]	[anni]
SLO	0.0244	45
SLD	0.0325	75
SLV	0.0906	712
SLC	0.1237	1462

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno

- [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso. Domanda in termini di accelerazione al sito $(S_x S_T \cdot a_g/g)$.

PGA_D

 T_{RD} Domanda in termini di periodo di ritorno.

Tabella 40: placcaggio con FRP per flessione - dati di verifica

Idrí	%Lu	Kь	$\Gamma_{\sf Fd}$	f_{fdd}	f _{fdd2}	€ fu	€ _{f,max}	$\sigma_{\rm fd}$	f _{ck}	f _{ctm}	D_{Fb}
	[%]	[mm]	[N/mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Piano te	rra	Trave 25-	26								
0006	25%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0006	37.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
Piano te	rra	Trave 23-	24								
0003	50%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0003	62.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0003	75%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0003	87.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
Piano Pr	rimo	Trave 8-9									
0001	50%	1.00	0.2701	199.02	0.00	0.0150	0.0009	199.02	24.90	2.56	entrambe
0001	62.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0001	75%	1.00	0.2701	268.07	0.00	0.0150	0.0012	268.07	24.90	2.56	entrambe
Piano Pr	rimo	Trave 25-	26								
0005	0%	1.00	0.2701	0.00	0.00	0.0150	0.0000	0.00	24.90	2.56	entrambe
0005	12.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0005	25%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0005	37.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0005	50%	1.00	0.2701	118.86	0.00	0.0150	0.0005	118.86	24.90	2.56	entrambe
Piano Pr	rimo	Trave 23-	24								
0004	62.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0004	75%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe
0004	87.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	entrambe

LEGENDA:

Identificativo dell'intervento.

Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di verifica, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione (Lu), a partire dall'estremo iniziale.

Fattore di tipo geometrico. Energia specifica di frattura di progetto.

 $oldsymbol{\mathsf{K}_{\mathsf{b}}}{oldsymbol{\mathsf{\Gamma}_{\mathsf{Fd}}}}$ $oldsymbol{\mathsf{f}_{\mathsf{fdd}}}$

Resistenza di progetto alla delaminazione "modalità 1" (delaminazione di estremità). Resistenza di progetto alla delaminazione "modalità 2" (delaminazione in corrispondenza di fessure da flessione). f_{fdd2}

Deformazione ultima del rinforzo.

Deformazione limite per delaminazione intermedia (modalità 2). Tensione massima di calcolo nel rinforzo FRP.

Gfd f_{ck} f_{ctm} D_{Fb}

Resistenza cilindrica del calcestruzzo.

Resistenza media a trazione del calcestruzzo.

Disposizione delle fibre.

Tabella 41: paragone indicatore rischio sismico ante/post operam

POST

		Indicatori di rischio sismico
Stato Limite	αpga	α _{TR}
SLO	4.968	4.089
SLD	5.101	4.353
SLV	0.210	0.270
·		

ANTE

		Indicatori di rischio sismico
Stato Limite	$lpha_{\sf PGA}$	$lpha_{TR}$
SLO	2.240	1.949
SLD	2.440	2.255
SLV	0.000	0.000

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno

αpgA

- [SLO] = stato limite di operatività. Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGA_0/PGA_0 - [NS] = non significativo, per valori

superiori o uguali a 100. [0] - 8 la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla. Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: $(T_{RO}/T_{RD})^{0.41} - [NS] = non significativo, per$ valori superiori o uguali a 100.

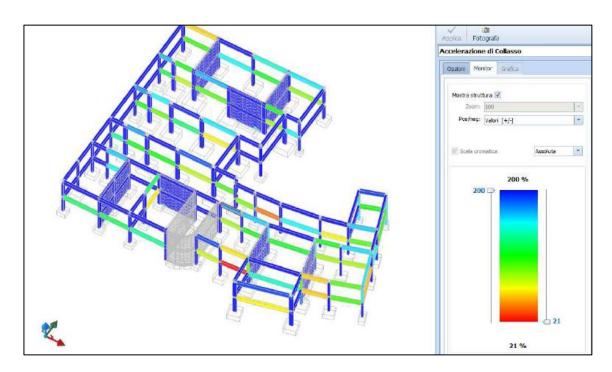


Figura 72: accelerazioni di collasso % - flessione

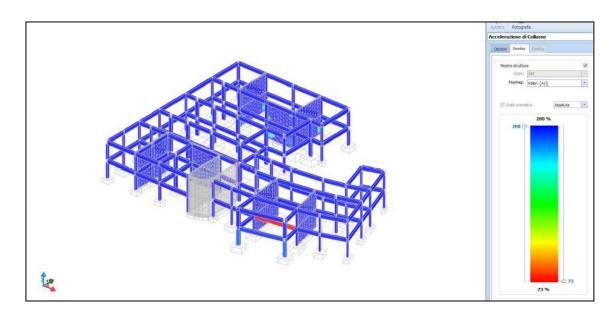


Figura 73: accelerazioni di collasso % - taglio

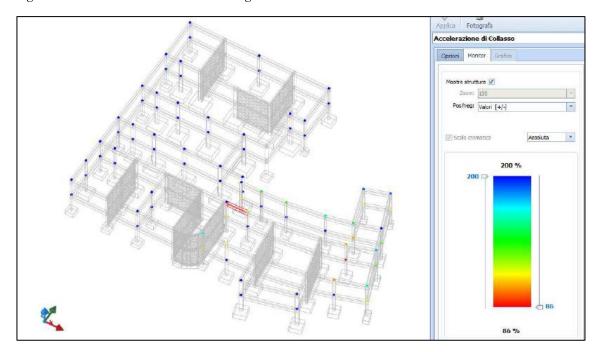


Figura 74: accelerazioni di collasso % - rottura del nodo

5.4.2 Conclusioni e interpretazioni risultati

Per quanto riguarda le definizioni e la spiegazione dei risultati riportati sopra, valgono le stesso considerazioni fatte nel *paragrafo 5.3.1* eccetto ovviamente dei valori numerici.

Si può affermare che oltre ai setti è stata anche fondamentale per l'innalzamento dell'indice di rischio sismico nei confronti dello SLV, l'applicazione delle FRP(tabella 19). Il criterio con la quale esse sono state applicate, consiste nell'andare a valutare nella rappresentazione cromatica di Edilus, gli elementi che presentano l'accelerazione percentuale di collasso minore, valutare in punti dell'elemento locale che riscontra la criticità considerata, e applicarvi la fibra per la lunghezza che si desidera, senza dimenticare di dare prescrizioni sul tipo di applicazione (intradosso, estradosso, avvolgimento) spessore, e ancoraggio (se questo è garantito o meno).

In aggiunta nella *tabella 20*, viene riportato il paragone tra le due situazioni, ossia quella "ante operam" e quella "post operam" dove vediamo gli indicatori di rischio sismico relativi allo SLO (stato limite di operatività) e SLD (stato limite di danno) che sono quasi raddoppiati (rispettivamente da 2.240 -> 4.968 e 2.440 -> 5.101); l'indice di rischio relativo allo SLV (stato limite salvaguardia della vita) risulta incrementato da 0.00 -> 0.21.

5.5 Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2018

Come appreso dal Cap 4 "Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1."¹²

Al fine dunque di raggiungere un valore di rischio sismico di 0.6 è bastato verificare la situazione progettuale che aveva maggiori criticità, nel nostro caso SLV per flessione e pressoflessione, ed apporre ulteriori placcaggi con FRP sugli elementi che presentavano l'accelerazione di collasso percentuale più bassa.

_

¹² (NTC 2018)

5.5.1 Risultati ottenuti

Tabella 42: metodo di analisi

Analisi	Fattore di struttura q nella direzione del sisma			
Alidisi	Sisma orizzontale in direzione X	Sisma orizzontale in direzione Y		
Dinamica modale con fattore di struttura q	3.000	3.000		

LEGENDA: Metodo di analisi

Tipo di analisi usata per la verifica sismica e il calcolo degli indicatori di rischio sismico.

Fattore di struttura q [-] = Non significativo per il tipo di analisi usata.

Tabella 43: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Direzion e	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.141	2	28.23	930.62
Y	0.093	1	43.36	1′153.25

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo Periodo di vibrazione nella direzione considerata.di vibrare Modo di vibrare che presenta il massimo

coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di

analisi scelto.

Masse partecipanti Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di

partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.

Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata. Coefficiente di partecipazione

Tabella 44: Capacità - entità dell'azione sismica sostenibile

SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGAc	T _{RC}
			[ag/q]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1659	>2475
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1210	1396
SLV	Carico Limite Terreno	TER	1.9141	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.0547	230
SLV	Taglio	CA	0.0558	241
SLV	Rottura del Nodo	CA	0.0783	530

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di

danno - [SLO] = stato limite di operatività.

Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] =

Materiale Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura. Tipo di rottura $PGA_{\mathbb{C}}$

Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi.
Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGAc=0 -> l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica $[G_k + \Sigma_i(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$. Se PGAc=NS -> Non significativo per valori di PGAc >=

Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno [= T_{RD} ·(PGA_D) $^{\eta}$ con η = 1/0,41]. TRC

Tabella 45: domanda - entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite	PGA _D	T_{RD}
	[a _g /g]	[anni]
SLO	0.0244	45
SLD	0.0325	75
SLV	0.0906	712
SLC	0.1237	1462

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso. Domanda in termini di accelerazione al sito $(S_sS_T = a_g/g)$.

PGA_D

 T_{RD} Domanda in termini di periodo di ritorno.

Tabella 46: indicatori rischio sismico

Stato Limite	αpga	α _{TR}
SLO	4.968	4.089
SLD	5.101	4.353
SLV	0.603	0.629

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.

Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGAc/PGAD - [NS] = non significativo, per Stato Limite

αpga

valori superiori o uguali a 100. [0] -> la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla. Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: $(T_{RC}/T_{RD})^{0.41}$ - [NS] = non significativo, per α_{TR}

valori superiori o uguali a 100.

Tabella 47: placcaggio con FRP per flessione - dati di verifica

Ida	%Lu	Кь	ΓFd	frad	frad2	Efu	Et.max	Ofd	fck	fctm	DFb
	[%]	[mm]	[N/mm]	[N/mm ³]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ³]	
Piano Prir	no	Trave 23-24									
0007	62.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0007	75%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0007	87.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0007	100%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
Piano Prir	no	Trave 25-26									
0009	12,5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0009	25%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0009	37.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0009	50%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0009	62,5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
Piano Primo		Trave 8-9	0.2701	110.07	301.02	0.0150	0.0015	301.02	2 1130	2.50	Cridanibo
0001	50%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2,56	entrambe
0001	62.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0001	75%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
Piano Prin		Trave 10-14	0.2701	110.07	331.02	0.0130	0.0013	551.62	21.50	2.50	Citatinac
0005	37.5%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426,84	24.90	2.56	superiore
0005	50%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426,84	24.90		superiore
Piano Prir		Trave 55-56	0.2701	207.71	120.01	0.0130	0.0013	120.01	24.50	2.50	superiore
0012	87.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	superiore
Piano terr		Trave 23-24	0.2/01	253.77	003.01	0.0130	0.0020	003.01	24.50	2.30	superiore
0006	50%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
0006	62.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0006	75%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0006	87.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0006	100%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
Piano terr		Trave 9-10	0.2701	140.07	301.02	0.0130	0.0013	301.02	24.90	2.30	enu arribe
0003	87.5%		0,2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.50	entrambe
0003		1.00									
	100%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.50	entrambe
Piano terr		Trave 25-26	0.0704	146.67	204.02	0.0450	0.0012	204 62	24.60	0.55	
8000	25%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
8000	37.5%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90		entrambe
0008	50%	1.00	0.2701	146.87	301.82	0.0150	0.0013	301.82	24.90	2.56	entrambe
Piano terr		Trave 8-9	0.2704	207.74	426.04	0.0150	0.0010	426.64	24.00	2.55	
0002	62.5%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426.84	24.90		entrambe
0002	75%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426.84	24.90	2.56	entrambe
Piano terr		Trave 29-30									
0011	75%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426.84	24.90		entrambe
0011	87.5%	1.00	0.2701	207.71	426.84	0.0150	0.0019	426.84	24.90	2.56	entrambe
Piano terra		Trave 10-14									
0004	37.5%	1.00	0.2701	103.85	213.42	0.0150	0.0009	213.42	24.90	2.56	superiore
Piano terr		Trave 15-27									
0010	87.5%	1.00	0.2701	293.74	603.64	0.0150	0.0026	603.64	24.90	2.56	superiore

LEGENDA:

DA:

Identificativo dell'intervento.

Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di verifica, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione (Lu), a partire dall'estremo iniziale.

Fattore di tipo geometrico.

Energia specifica di frattura di progetto.

Resistenza di progetto alla delaminazione "modalità 1" (delaminazione di estremità).

Resistenza di progetto alla delaminazione "modalità 2" (delaminazione in corrispondenza di fessure da flessione).

Deformazione ultima del rinforzo.

Deformazione limite per delaminazione intermedia (modalità 2).

Tensione massima di calcolo nel rinforzo FRP.

Resistenza cilindrica del calcestruzzo.

Resistenza media a trazione del calcestruzzo.

Disposizione delle fibre.

Idrf
%LI
Kb
FFd
ffdd
ffdd2
&fu
&fr,max
Gfd
fck
fctm
DFb

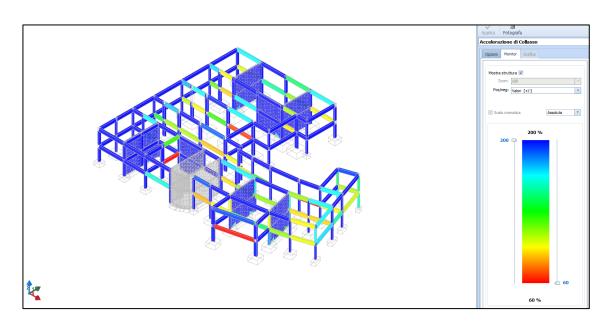


Figura 75: accelerazione di collasso % - flessione

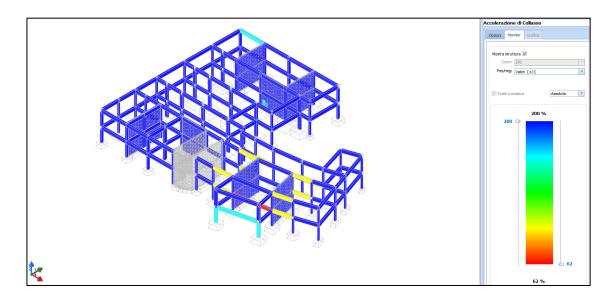


Figura 76: accelerazione di collasso % - taglio

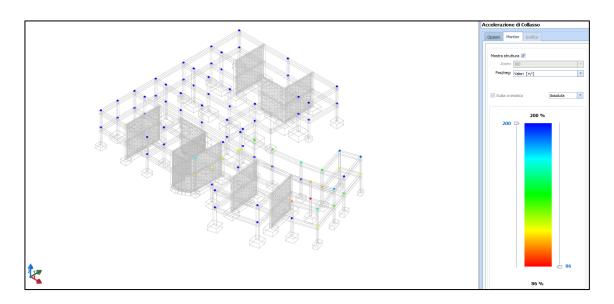


Figura 77: accelerazione di collasso % - rottura nodo

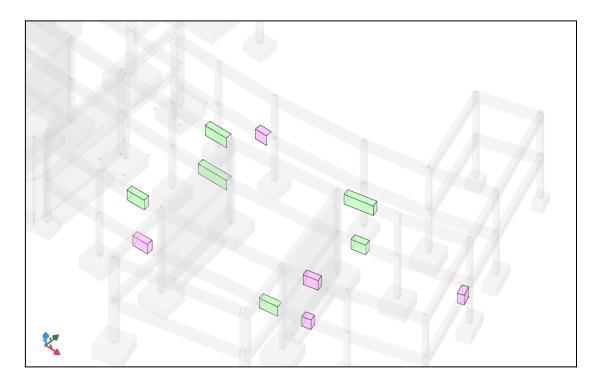


Figura 78: placcaggi in FRP applicati

5.5.2 Conclusioni e interpretazione risultati

Si è visto nel paragrafo precedente che con l'ulteriore messa in atto di placcaggi in FRP è stato possibile raggiungere un valore di *indicatore rischio sismico* di 0.603. In *figura* 22 è stato rappresentato in verde i placcaggi previsti nel miglioramento al **paragrafo 5.4**,

in viola invece si possono notare gli ulteriori placcaggi per raggiungere l'indicatore di rischio sismico prefissato.

È doveroso ricordare che, è stato possibile limitare tale intervento al semplice raggiungimento di un indicatore di rischio sismico di 0.6 esclusivamente per il fatto che si tratta un intervento appunto di miglioramento. Qualora si fossero verificate ulteriori necessità prescritte dalla normativa vigente, che avessero implicato l'obbligo di adeguare la struttura, sarebbe stato necessario raggiungere un *indicatore di rischio sismico* di 1.00 e c garantire la verifica allo SLU (stato limite ultimo) di tutti gli elementi strutturali.

CAPITOLO VI

Esecuzione lavori

Premessa

Quest'ultimo capitolo è stato stilato per esplicare la messa in opera delle soluzioni progettuali proposte. Si vedranno stralci di tavole esecutive, un report fotografico dei vari step e diverse note di problematiche emerse in cantiere.

6.1 Esecuzione lavori

I lavori in questione riguardavano in partenza la soluzione progettuale proposta nel paragrafo 5.4 "Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2008". In seguito, però è stata richiesta una variante in corso d'opera per pervenuta normativa che ha permesso di recuperare ulteriori fondi, tali da concretizzare la soluzione progettuale proposta nel paragrafo 5.5 "Intervento di miglioramento ai sensi delle NTC 2018". Tale soluzione ricapitolando quanto detto precedentemente, risulta nella realizzazione di pareti in cemento armato a sostituzione di alcune pareti di tamponamento, e nell'applicazione di FRP nelle travi risultate critiche nell'analisi effettuata.

Di seguito riportati alcuni stralci delle tavole esecutive in modo da comprendere meglio i vari step scanditi nei successivi sotto-paragrafi.

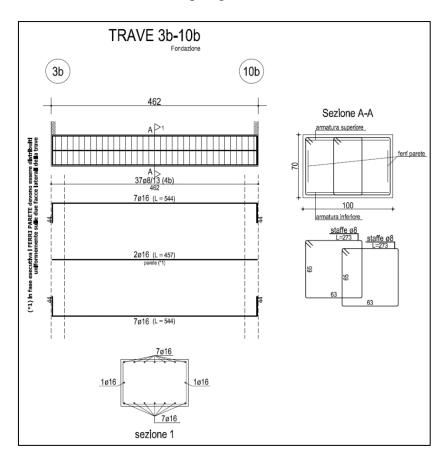


Figura 79: esecutivo trave di fondazione

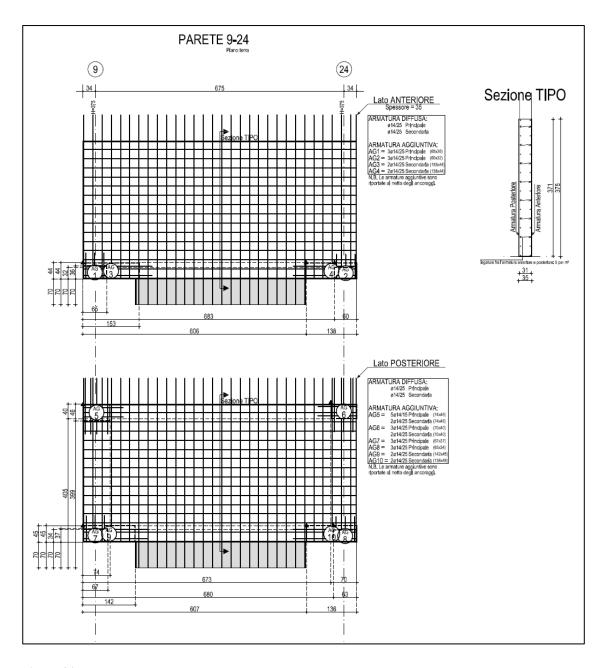


Figura 80: esecutivo parete cemento armato piano terra

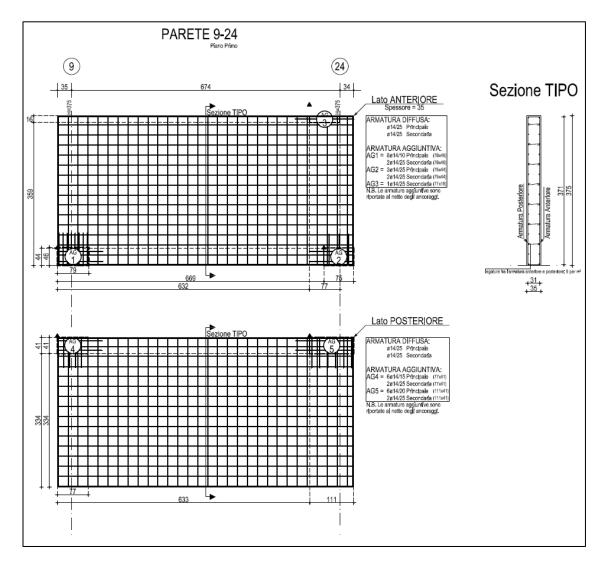


Figura 81: esecutivo parete in cemento armato primo piano

6.1.1 Demolizione muri di tamponamento

In questa prima fase, è stato necessario capire se la demolizione dei muri di tamponamento, che saranno poi sostituiti con pareti in cemento armato, potesse avvenire in maniera massiva e totalitaria per ottimizzare il lavoro degli operai in cantiere, o se questa devesse riguardare un muro alla volta.

Il problema nasce infatti, dal non dare per scontato che i costruttori della vecchia struttura abbiano eseguito i lavori a regola d'arte seguendo alla lettera il progetto iniziale. Nel peggiore dei casi, ipotizzando che il solaio sia stato gettato dopo la messa in opera di tali muri, sta a significare che i muri di tamponamento presenti fungerebbero da appoggio e su di loro graverebbe parte del peso del solaio. Per tanto una loro demolizione causerebbe

una variazione dello schema statico che nel peggiore dei casi potrebbe portare al collasso della struttura stessa.

In seguito, dai saggi condotti è emerso che i muri in questione erano scarichi dal peso del solaio e si è potuto procedere alla loro demolizione.





Figura 82: demolizione dei muri di tamponamento.

6.1.2 Scavo travi di fondazione

Dopo la demolizione dei muri di tamponamento, sono stati effettuati gli scavi per le travi di fondazione su cui poggeranno le nuove pareti in cemento armato.

La profondità dello scavo è stata dettata dalla necessita di raggiungere la quota base dei plinti di fondazione esistenti, dove come attestato dalle prove geologiche paragrafo 5.1, ci si aspettava di trovare calcareniti ben cementate, che rappresentano un base di appoggio ideale.



Figura 83: scavo alla profondità di 1.5 m



Figura 84: scavo ispezione plinto di fondazione



Figura 85: trincea per trave di fondazione

6.1.3 Posizionamento armatura

Fase importante è quella del posizionamento dei ferri prima del getto di calcestruzzo. Seguendo lo stralcio di esecutivo, si parte prima dal posizionamento nella trincea della gabbia riguardante la trave di fondazione (vedi figura sottostante. **Fig. 86**) adagiata su appositi distanziatori per garantire la realizzazione del copriferro previsto.



Figura 86: armatura trave di fondazione

Successivamente avviene il posizionamento dei ferri riguardanti le pareti, che vengono ripresi dalla gabbia di fondazione. (figura 87).



Figura 87: ripresa armatura parete

È doveroso far notare lo sbalzo tra la trave di fondazione e la parete, una scelta progettuale adottata per non aggiungere sollecitazioni sui plinti di fondazione esistenti. Altro dettaglio importante è quello dell'inghisaggio dei ferri, ossia il fissaggio dei ferri di ripresa tramite un ancorante chimico (vedi figura 88), il tutto finalizzato a consolidare e uniformare il nuovo elemento alla struttura esistente.





Figura 88: dettaglio ancoraggio ferri

6.1.4 Cassaforma e getto calcestruzzo

La fase finale delle opere cementizie risulta quella della creazione della cassaforma e del conseguente getto di calcestruzzo.

Per quanto riguardo la trave di fondazione, si è voluto utilizzare lo scavo stesso da cassaforma. Infatti, è risultato vantaggioso, sia dal punto di vista economico che da quello operativo, accettare un maggiore dispendio di calcestruzzo anziché allargare ulteriormente lo scavo per creare la cassaforma con i tradizionali pannelli.

Le pareti in cemento armato invece, sono state ultimate con la messa in opera di



Figura 89: getto trave di fondazione

pannelli in legno, accuratamente puntellati per resistere alla pressione del CLS (vedi fig. 90). Inoltre, per permettere alla pompa e al vibratore di cls il corretto accesso all'interno della cassaforma, sono stati creati dei fori nel solaio (vedi fig. 90).



Figura 90: a sinistra la cassaforma puntellata; a destra l'altra faccia della parete, dove si notano i fori del solaio che garantiscono l'accesso della pompa e del vibratore CLS



Figura 91: parete cemento armato ultimata - piano terra

6.1.5. Rinforzo in FRP

L'applicazione di FRP (Fiber Reinforced Polymer) prevista nel progetto di questa tesi, risulta essere la scelta progettuale più adeguata, in quanto di facile concretizzazione e meno invasiva per una struttura esistente. L'impiego di questi materiali fibro-rinforzati garantiscono buone prestazioni dal punto di vista meccanico, rendendoli particolarmente idonei negli interventi di consolidamento statico e di miglioramento\adeguamento sismico.

Nel nostro caso come già menzionato nei paragrafi 5.4 e 5.5 l'intervento con questa tipologia riguarda alcune travi che presentavano nell'analisi modale un PGA% (indice di rischio sismico percentuale) critico.

Abbiamo due tipologie applicative nei confronti delle travi d'interesse. La prima riguardate il rinforzo a flessione che prevende l'incollaggio di una fascia di FRP nella zona tesa della trave (vedi figura 91).



Figura 92: in blu la fascia FRP applicata all'intradosso della trave

La seconda tipologia invece riguarda il rinforzo a taglio dove le face di FRP sono state avvolte a "U" intorno alla trave (vedi figura).

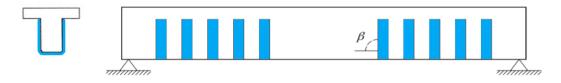


Figura 93: in blu le fasce di FRP avvolte a "U" per il rinforzo a taglio

Il corretto funzionamento delle FRP è dovuto alla modalità con la quale queste fibre vengono applicate. Lo scopo, infatti, è quello di garantire la massima aderenza delle stesse alla superficie sulla quale vengono applicate.

Un corretto processo di applicazione di FRP comprende:

- la pulizia della trave mediante sabbiatura
- la regolarizzazione della superficie di applicazione mediante rasatura
- applicazione dell'adesivo, che ha la funzione di trasferire gli sforzi dal cls alle fibre
- applicazione dei fogli di FRP
- impregnazione dei fogli precedentemente applicati tramite una matrice polimerica



Figura 94: applicazione FRP

6.2 Conclusione

Oltre alla parte prettamente operativa descritta in questo capitolo, abbiamo ovviamente una serie di norme e adempimenti obbligatori, che devono essere portati a termine dalle varie figure professionali che prendono parte al lavoro in questione. Tra questi il più importante che risulta necessario alla corretta conclusione di un lavoro sia pubblico che privato, è il collaudo. Definito in tal modo dall' art 215 del d.P.R 207, 2010 avente oggetto «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»:

"Il collaudo ha lo scopo di verificare e certificare che l'opera o il lavoro siano stati eseguiti a regola d'arte, secondo il progetto approvato e le relative prescrizioni tecniche, nonché le eventuali perizie di variante, in conformità del contratto e degli eventuali atti di sottomissione o aggiuntivi debitamente approvati. Il collaudo ha altresì lo scopo di verificare che i dati risultanti dalla contabilità finale e dai documenti giustificativi corrispondano fra loro e con le risultanze di fatto, non solo per dimensioni, forma e quantità, ma anche per qualità dei materiali, dei componenti e delle provviste, e che le procedure espropriative poste a carico dell'esecutore siano state espletate tempestivamente e diligentemente. Il collaudo comprende altresì tutte le verifiche tecniche previste dalle leggi di settore." 13

_

¹³ (d.P.R 207, 2010)

Come spiegato anche nel capitolo 9 delle Norme Tecniche Costruttive sia del 2008 che del 2018, il collaudatore, nominato della stazione appaltante, deve far valere la propria figura in corso d'opera qualora il progetto preveda elementi strutturali non più ispezionabili a lavoro ultimato. Riassumendo quanto detto nelle NTC tale figura deve interfacciarsi con la Direzione dei lavori e con il Costruttore, per far si che siano svolte le attività previste da progetto nel rispetto delle normative vigenti.

Per concludere parliamo degli obblighi sanciti dal d.P.R. 380/01 art. 65 e art. 93, per i quali prima dell'inizio dei lavori, bisogna effettuarne la denuncia allo Sportello Unico, che a sua volta inoltrerà all'Ufficio Tecnico Regionale, allegando un esauriente progetto delle opere previste e dei materiali impiegati accompagnate da relazioni tecniche dettagliate riguardanti gli elementi strutturali in elevazione e di fondazione con giustificazioni sulle scelte progettuali adottate. Una volta ultimati i lavori, entro 60 giorni, sempre allo stesso sportello, la Direzione Lavori dovrà inoltrare i risultati delle prove sperimentali effettuate sui materiali impiegati.

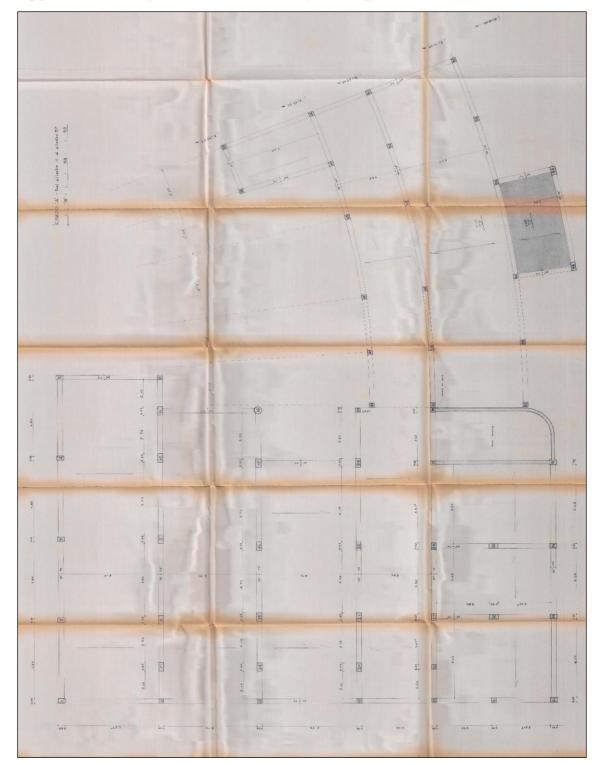
Bibliografia

- Aiello, E. (2018, 11 29). NTC 2018 analisi della norma. Tratto da geologifyg: http://www.geologifyg.it/wp-content/uploads/2018/12/SLIDE-CORSO-NTC-2018-Padova-29-11-2018.pdf
- Archetipo SRL. (2016, aprile 28). CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE ESISTENTI studi, tecniche e tecnologie, il rinforzo delle strutture e la riduzione del rischio sismico:. Tratto da Archetipo project and building: http://blog.archetiposrl.com/2016/04/consolidamento-delle-strutture-esistenti-studi-tecniche-e-tecnologie-il-rinforzo-delle-strutture-e-la-riduzione-del-rischiosismico/
- Barocci, A. (2018, 02 22). NTC 2018, sicurezza e progettazione dell'esistente: cosa cambia. Tratto da EdilTecnico: https://www.ediltecnico.it/61289/nuove-ntc-sicurezza-progettazione-esistente-cosa-cambia/
- Cardinale, G. (2018, 02 23). Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. Le responsabilità professionali tra aspetti prescrittivi e prestazionali della norma.

 Salerno. Tratto da https://www.tuttoingegnere.it/images/convegni/2018_nuove_norme_tecniche_co struzioni/Giovanni_Cardinale.pdf
- d.P.R 207. (2010, ottobre 5). Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.
- d.P.R. 380. (2001, giugno 6). *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari* in materia edilizia. Tratto da http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2001_0380.htm#065
- GeoProve. (s.d.). Tratto da GeoProve: www.geoprove.eu
- Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. (2008, 01 14). Norme tecniche per le costruzioni. Roma: Gazzetta Ufficiale.

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2018, 02 20). Norme Tecniche Costruttive 2018. *Aggiornamento delle <<Norme Tecniche per le Costruzioni>>*. Roma: Gazzetta Ufficiale. Tratto da www.gazzettaufficiale.it/.../serie generale/caricaPdf
- MIur. (s.d.). Edilizia Scolastica. Norma Nazionale per l'edilizia scolastica.
- Pavone, G. (s.d.). *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni VEDI IL CAP 8*. Tratto da gipavon.it: http://www.gipavon.it/434393382
- Pellegrino, C. (2012, aprile). Rinforzo e messa in sicurezza di strutture in c.a mediante materiali compositi. Tratto da ordineingegnerimantova: http://www.ordineingegnerimantova.it/wp-content/uploads/2012/10/relazione-Pellegrino.pdf
- Pisapia, M. D. (2017, giugno 5). *Come rinforzare una trave a flessione utilizzando gli*FRP. Tratto da www.marcodepisapia.com:

 https://www.marcodepisapia.com/come-rinforzare-una-trave-con-gli-frp/
- Salomone, P. (2018, 09). Tecniche di indagine diagnostiche su edifici esistenti a destinazione scolastica. *L'Ufficio Tecnico*, p. 24-33.
- Software, Acca. (s.d.). *Software Calcolo Strutturale Cemento Armato*. Tratto da Edilus-CA: https://www.acca.it/software-calcolo-strutturale-cemento-armato



Appendice - Progetto strutturale originario presso il Genio Civile

Tavola 6 – pianta piano terra

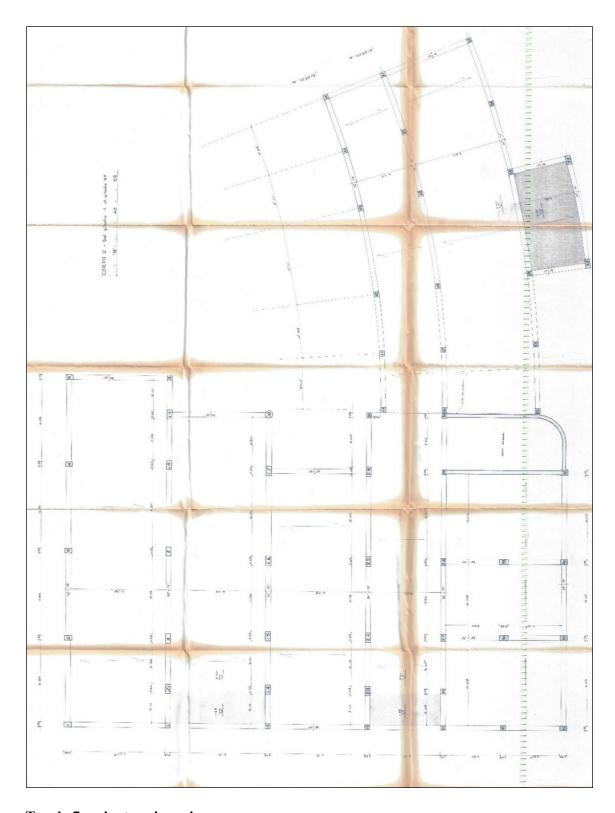
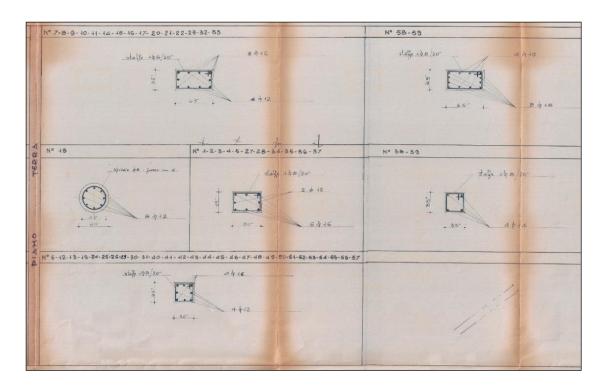
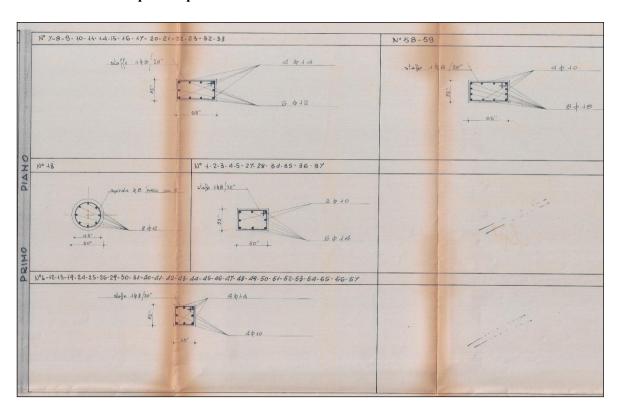


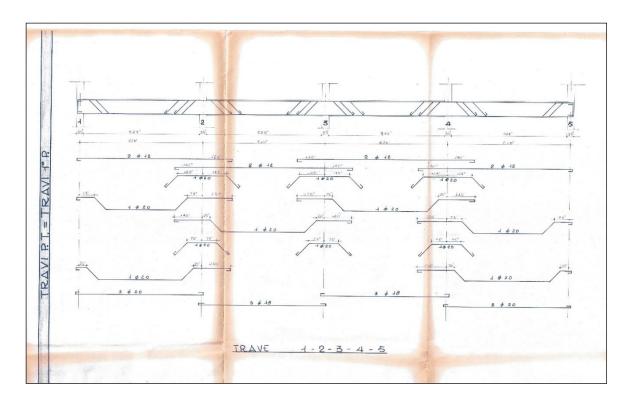
Tavola 7 - pianta primo piano



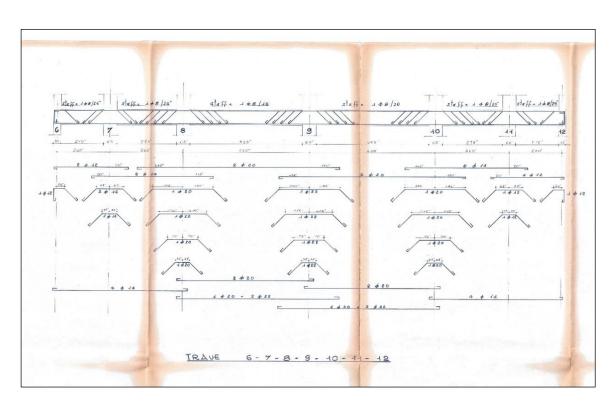
Particolare sezione pilastri piano terra



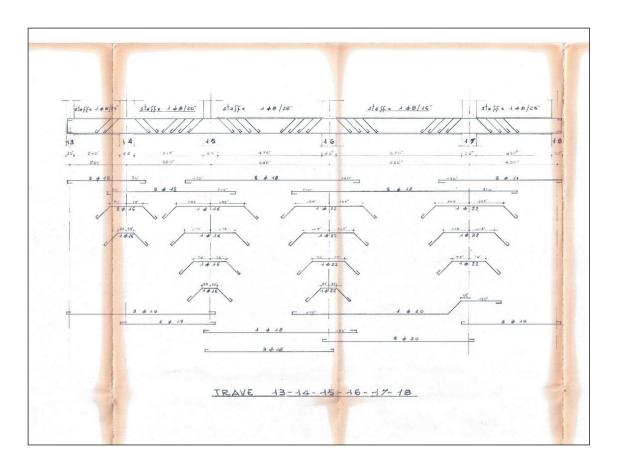
Particolare sezione pilastri primo piano



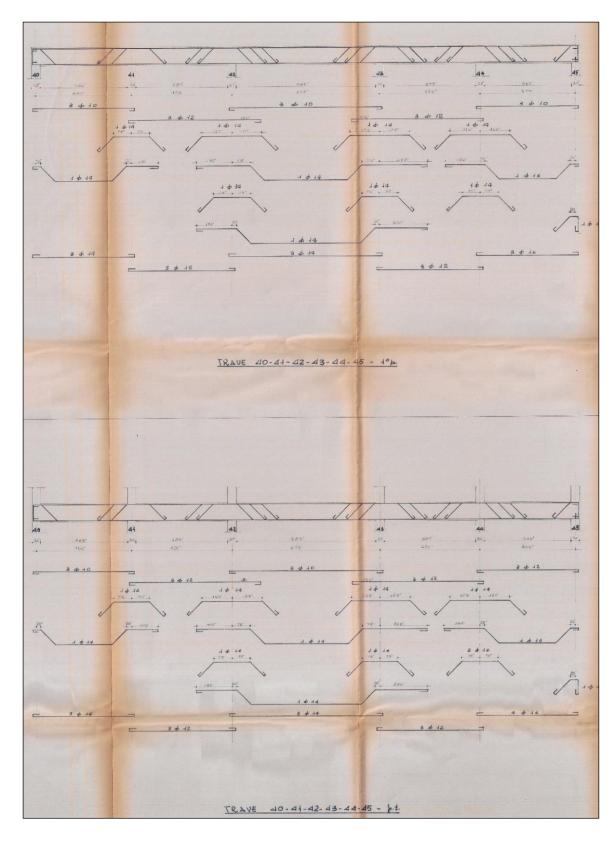
Particolare travi corpo A



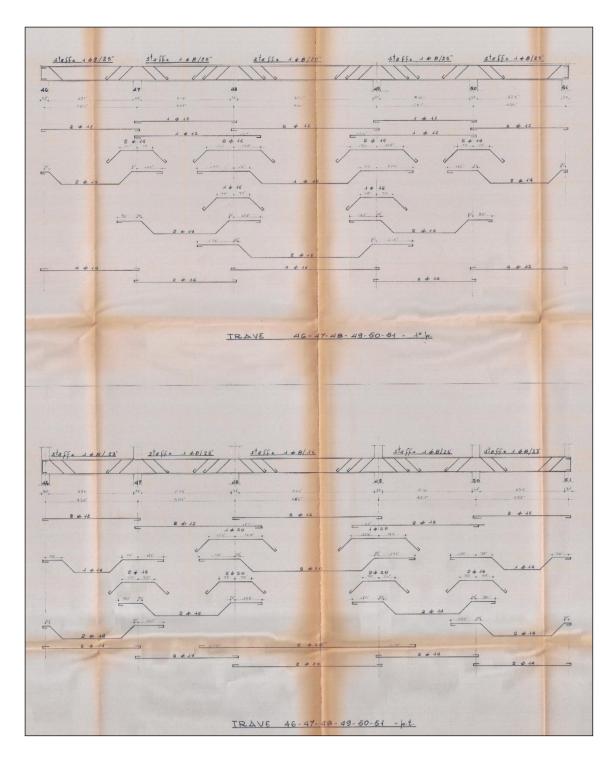
Particolare travi corpo A



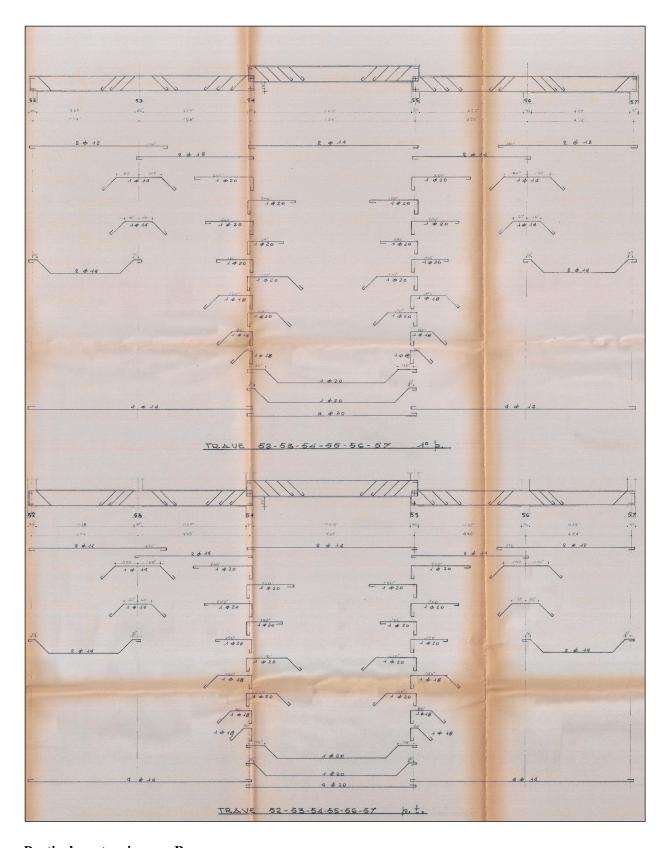
Particolare travi corpo A



Particolare travi corpo B



Particolare travi corpo B



Particolare travi corpo B