

Regione Piemonte



COMUNE di ROSIGNANO MONFERRATO

Provincia di Alessandria

Interventi edilizi di restauro  
e risanamento conservativo  
dell'edificio scolastico sede di  
scuola primaria di via Roma 1  
Rosignano Monferrato

(Codice identificativo 0061490001-PE-2)

Progetto Esecutivo



STUDIO DI INGEGNERIA

Ing. Guido Piasso

v. Cantarana 2

10080 Baldissero Can. (To)

Tel 0124 570405

Fax 0124 570267

Cell 347 7976979

info@piasso.it www.piasso.it

RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE

DATA

Aprile 2016

Cod.

16GP13

SCALA

ELABORATO

A.2



## INDICE

**pag.**

1. PREMESSA .....	1
2. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE ESISTENTI .....	2
2.1 DESCRIZIONE GENERALE .....	2
2.2 I SOLAI.....	5
2.2.1 Situazione originaria.....	6
2.2.2 Prove di carico .....	8
2.2.3 Primi interventi realizzati (estate 2010) .....	11
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI SULLE STRUTTURE .....	12
3.1 ALTRI INTRVENTI E POSSIBILI LAVORAZIONI DIFFERENTI .....	13
4. CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO.....	14
5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	15
6. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO.....	16
6.1 ANALISI DEI CARICHI.....	16
6.2 VERIFICHE IN FASE DI PROGETTAZIONE.....	16
6.3 VERIFICA DELLE IPOTESI PROGETTUALI .....	22
6.4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA .....	22
7. MATERIALI UTILIZZATI.....	24
8. MODALITÀ ESECUTIVE.....	26
8.1 CARATERIZZAZIONE DEI MATERIALI E NALISI STATO DI FATTO .....	26
8.2 PREPARAZIONE DEI SOLAI .....	28
8.3 POSA DEI RINFORZI IN FIBRA DI CARBONIO .....	29
8.4 VERIFICHE .....	29



## **1. PREMESSA**

---

La presente relazione costituisce parte del Progetto Esecutivo "Interventi edilizi di restauro e risanamento conservativo dell'edificio scolastico sede di scuola primaria di via Roma 1 - Rosignano Monferrato" e riguarda l'analisi delle strutture esistenti, la descrizione degli interventi su di esse previsti.

In sintesi, gli interventi previsti comprendono lavori di adeguamento diversi, messa in sicurezza, efficientamento energetico e risoluzione di criticità specifiche, ossia:

- interventi per l'adeguamento alla normativa sul superamento delle barriere architettoniche (Cat. C.1);
- interventi per l'adeguamento alla normativa antincendio (Cat. C.2);
- interventi per la messa in sicurezza e riqualificazione di elementi non strutturali (Cat. C.4);
- interventi per l'adeguamento alla normativa sul rendimento energetico (Cat. C.5);
- interventi per la bonifica di elementi in amianto (Cat. C.6);
- interventi per la risoluzione di specifiche gravi problematiche (Cat. E.1).

Delle 6 categorie di lavori sopra elencate, l'unica ad interagire con le strutture esistenti è l'ultima, (Cat. E.1) in quanto prevede il miglioramento delle caratteristiche statiche di porzioni di solai al piano primo ed al piano seminterrato mediante l'applicazione di rinforzi in fibra di carbonio.

Nella presente relazione vengono descritte le strutture esistenti, il loro stato di conservazione, le criticità riscontrate e gli interventi previsti per risolvere tali criticità.

Nella presente Relazione vengono anche ripresi e richiamati alcuni studi ed indagini commissionati negli anni passati da parte del Comune di Rosignano Monferrato ed in particolare le Relazioni redatte nell'anno 2010 dall'ing. Sandro Rota e le prove di carico eseguite dalla ditta IDES Diagnostica sempre nell'anno 2010.

## 2. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE ESISTENTI

### 2.1 DESCRIZIONE GENERALE

L'edificio oggetto della presente relazione è stato realizzato negli anni '50 del secolo scorso, ha uno sviluppo in pianta di circa 320 m<sup>2</sup> e si sviluppa su 3 piani: un piano seminterrato a quota -1,40 m rispetto al cortile esterno, un piano rialzato a quota +1,70 ed un primo piano a quota +5,70.

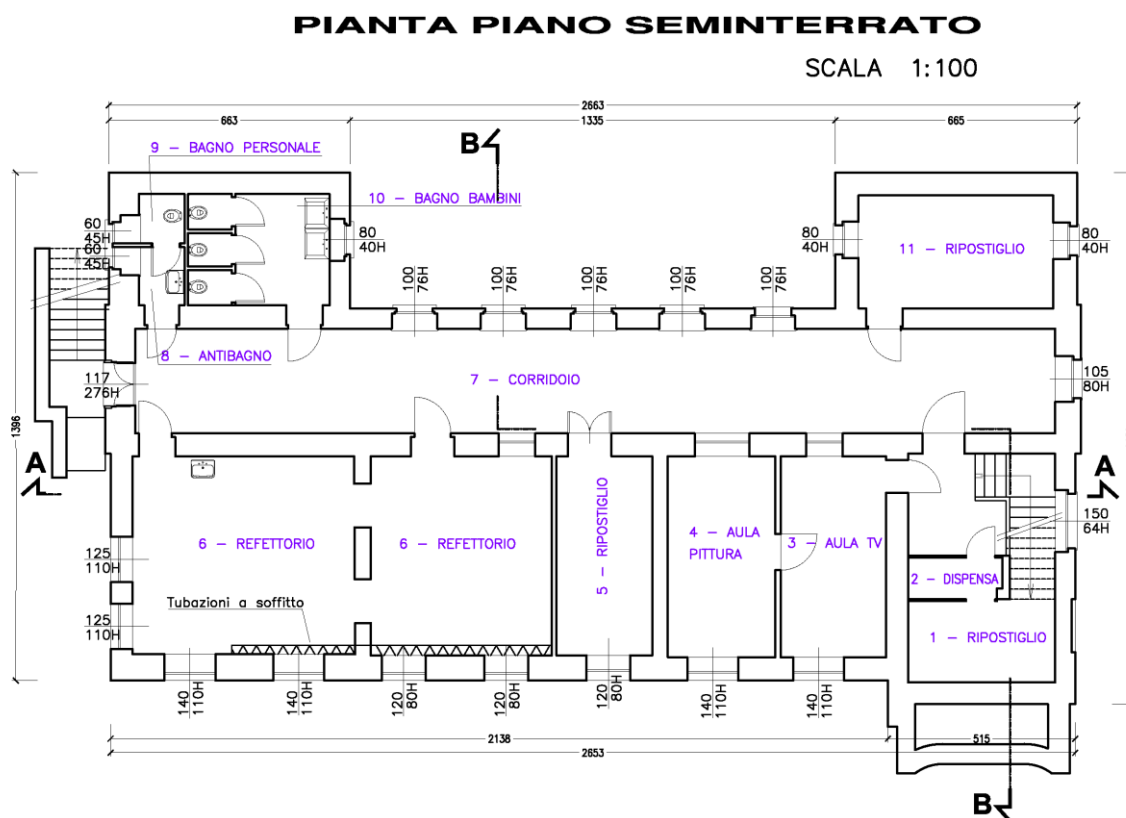
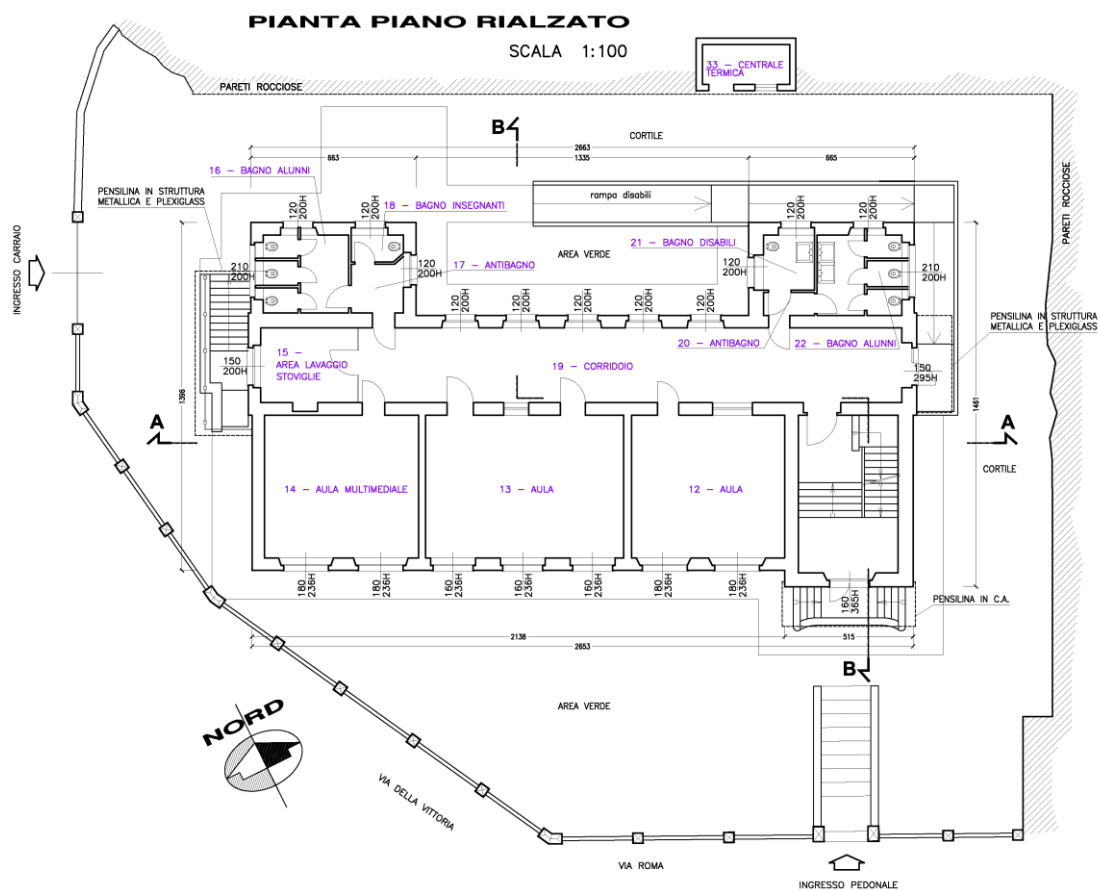
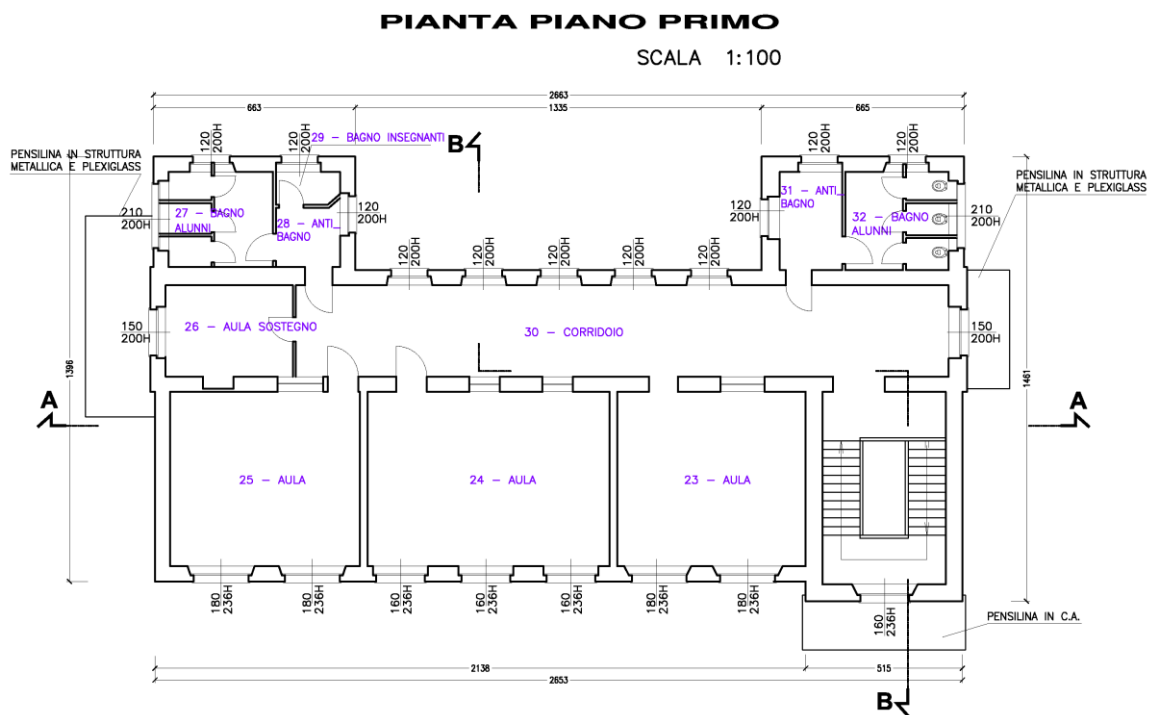


Figura 1 – Pianta piano seminterrato.



**Figura 2 – Pianta piano rialzato.**



**Figura 3 – Pianta piano primo.**

### SEZIONE A-A

SCALA 1:100

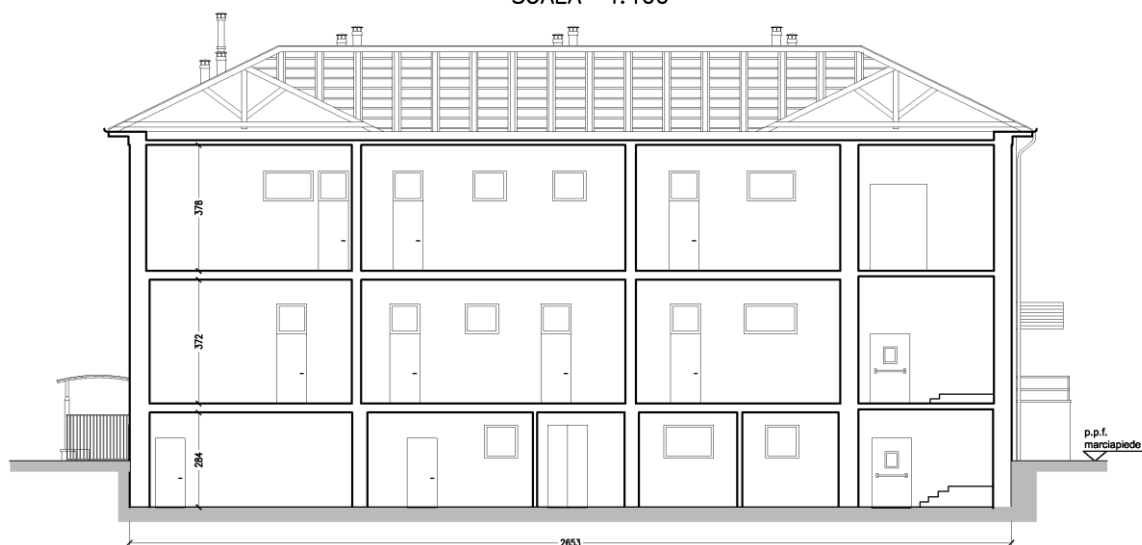


Figura 4 – Sezione AA.

### SEZIONE B-B

SCALA 1:100

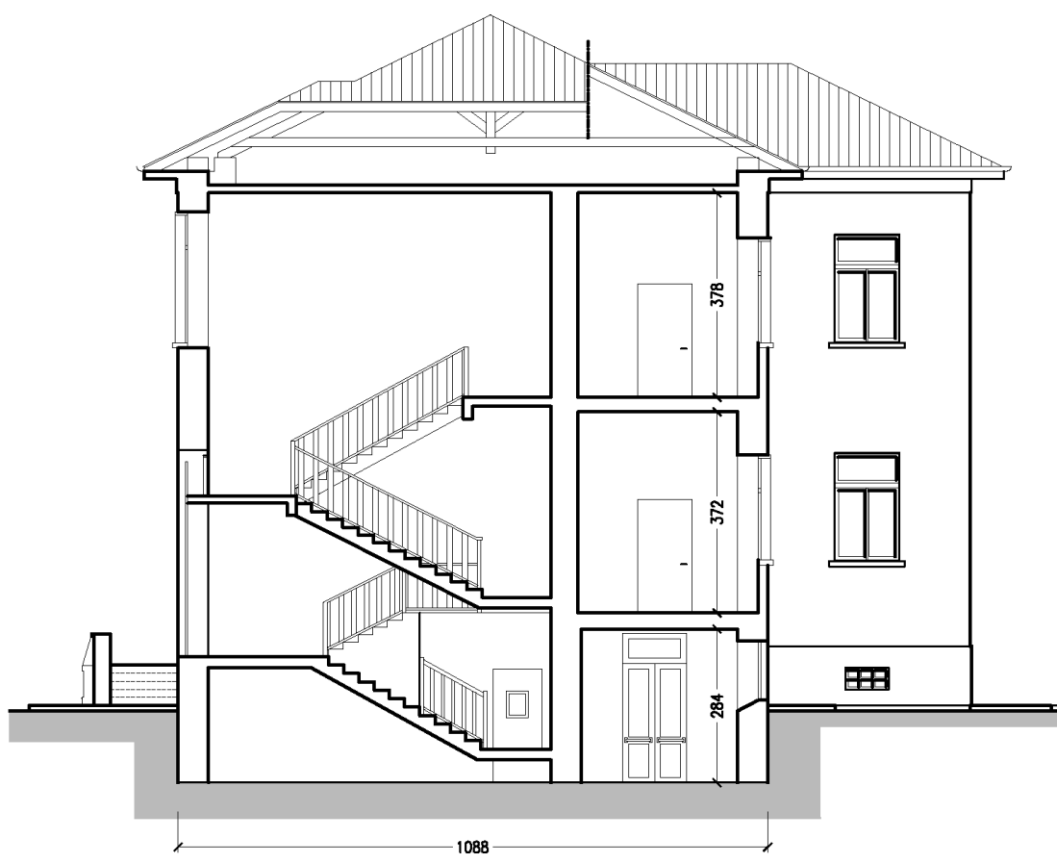


Figura 5 – Sezione BB.



La struttura portante è costituita dai seguenti elementi:

- fondazioni continue dirette per le murature portanti perimetrali e per quelle interne di spina e trasversali;
- murature portanti di elevazione al piano interrato in calcestruzzo semplice ed a piani rialzati in laterizio intonacato;
- copertura con struttura in legno e manto in tegole piane in laterizio.

La tipologia edilizia appartiene all'edilizia scolastica tipica del secondo dopoguerra, caratterizzata da sviluppo semplice in pianta, strutture portanti verticali sovradimensionate ed elementi orizzontali snelli.

L'analisi visiva degli elementi strutturali non ha rilevato la presenza di alcun tipo di lesioni, né da taglio o flessione, né per distacco relativo tra pareti.

## **2.2 I SOLAI**

Tutti i solai presenti sono in latero-cemento a nervature parallele, ma con tipologie costruttive e spessori diversi di seguito rappresentati. Gli spessori sono approssimati ad 1 o 2 cm almeno in quanto non è stato possibile asportare una porzione né anche modesta di pavimento e specialmente non è stato possibile accertare la presenza e lo spessore della cappa superiore in c.a.

Il valore presunto dello spessore del solaio indicato nella tabella seguente è da ritenersi approssimato a causa sia della modalità del rilievo a campione, sia della possibile variabilità dello spessore stesso dovuto alla disinvoltura con cui all'epoca si impiegava il materiale di volta in volta presente in cantiere.

Solaio	Vano sottostante	altezza pignatta [cm]	Altezza complessiva [cm]
Solaio 1	---	---	20
Solaio 2	corridoio	12	16
Solaio 2	aule	14	20
Solaio 3	corridoio	---	14
Solaio 3	aule	---	---

Tenuto conto delle luci delle campate e dello spessore presunto, si ottengono i probabili valori del rapporto spessore solaio / luce riportati nella tabella seguente.

Solaio	Luce netta [cm]	rapporto H/m
Solaio 1	280	1/15
Solaio 1	550	1/27
Solaio 2	290	1/18
Solaio 2	560	1/27
Solaio 3	290	1/21
Solaio 3	560	---

### 2.2.1 SITUAZIONE ORIGINARIA

Durante la campagna di indagini eseguita nel 2010 sono stati fatti una serie di piccole incisioni di modesta profondità e dimensione all'intradosso delle nervature del solaio, fino a rendere visibile l'armatura metallica.

Sono stati eseguite incisioni nella quasi totalità delle aule e del corridoio, sia al piano rialzato che al piano primo, quindi sul solaio 2 e 3 , oltre che nel corridoio e nella ex centrale termica al piano seminterrato, in modo da avere un campione statistico sufficientemente rappresentativo dello stato di conservazione del calcestruzzo armato

Tutte le incisioni eseguite ai travetti hanno dato risultato positivo, sia per la qualità del calcestruzzo, sia per lo stato di conservazione dei ferri d'armatura.

La tabella seguente riporta numero e diametro delle armature accertate. Si nota innanzi tutto la estrema variabilità delle armature rilevate anche all'interno di zone di solaio di pari luce e carico.

Una prima verifica statica di prima approssimazione, pur nei limiti della scarsa conoscenza della effettiva sezione resistente dei solai stessi, ha mostrato una situazione potenzialmente critica per il travetto indagato nel solaio 2, nella porzione con luce maggiore. Il solaio 2 è stato quindi oggetto di un primo intervento di rinforzo come le seguito descritto.

Il solaio 1 ha potuto essere indagato solo per la porzione ispezionabile nell'ambiente C2, ex centrale termica, dove è risultata presente un'armatura leggermente superiore. Al di là del riscontro puntuale delle armature rilevate nei singoli travetti ispezionati, la caratteristica comune ai solai dell'edificio che è emersa dall'indagine svolta nel 2010 è la grande eterogeneità sia delle caratteristiche geometriche che della quantità di armature, che lasciano supporre per lo meno una superficiale e scadente qualità dell'esecuzione originaria

Solaio	Vano sottostante	Armatura inf. in campata ragguagliata ad interasse di 50 cm
Solaio 1	Corridoio	$2d4 \times 2 = 0,26 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 1	Ripostiglio 5	$2x(2d6 + 1d5 + 1d8) = 2,52 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 2	Corridoio	$2d10 + 2d5 \text{ later.} = 1,96 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 2	Aula 14	$2d12 + 1d8 + 2d5 \text{ later.} = 3,16 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 2	Aula 13	$2d10 + 1d8 + 2d5 \text{ later.} = 2,07 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 2	Aula 12	$2d12 + 1d6 + 2d5 \text{ later.} = 2,93 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 3	Corridoio	$2 \times 205 = 0,8 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 3	Aula 25	$2x(2d5 + 1d8) = 2,6 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 3	Aula 24	$2x(2d5 + 1d8) = 2,6 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$
Solaio 3	Aula 23	$2 \times 2d5 = 0,8 \text{ cm}^2/50 \text{ cm}$

L'integrità ed il buon ancoraggio dell'intonaco all'intradosso dei soffitti, di grande importanza per la sicurezza degli utenti, è in genere non facilmente verificabile con un semplice esame a vista e può portare ad una rottura fragile, ossia all'improvviso distacco di porzioni di intonaco senza segni premonitori visibili.

Durante le indagini del 2010 è stato effettuato un controllo di prima fase sugli intonaci dei solai mediante la battitura leggera e capillare di tutta la superficie dei soffitti con asta rigida. La risposta acustica della percussione (più o meno "sorda") ha consentito di rilevare zone di distacco dell'intonaco dal supporto laterizio.

Per quanto riguarda il tetto, un'ispezione a campione eseguita alle membrature in prossimità della botola di accesso al solaio sottotetto, unita al controllo a vista esterno sulla planarità delle falde, ha consentito un giudizio positivo sulla idoneità statica e livello di conservazione della struttura lignea.

**CONCLUSIONI SULLE INDAGINI DI PRIMA FASE (2010)** Al termine delle verifiche sopra descritte fu possibile esprimere il primo giudizio sul livello complessivo di sicurezza statica dell'edificio:

1. non furono rilevati segni di dissesto generale pregiudizievoli per la capacità portante del terreno di fondazione o la stabilità generale di tutte le murature portanti verticali, ragione per cui l'edificio nel suo complesso era ed è in normali condizioni di sicurezza statica ed idoneo all'uso;
2. la struttura di copertura in legno e tegole laterizie non presentava deformazioni attribuibili a sottodimensionamento originario, né lesioni da carico accidentale eccessivo. Non fu fatta una verifica teorica delle sezioni resistenti delle membrature in legno, che peraltro non appariva e non appare indispensabile;

3. la parte debole era sicuramente rappresentata dai solai a tutti i piani, che costituiscono il pavimento del piano rialzato, del piano primo e del solaio sottotetto, e dai relativi intonaci all'intradosso.

In particolare, gli intonaci all'intradosso dei solai, erano e sono di qualità scadente fin dalla loro realizzazione, a causa di probabile eccessiva magrezza della malta o non idonea qualità del legante idraulico. Risultava in più punti distaccato dal supporto del solaio e fu subito asportato e riparato, ma era ed è prudente ritenere che, con l'uso, altre parti potessero ancora distaccarsi anche a causa della vistosa deformabilità dei solai stessi, creando così pericolo per l'incolumità degli occupanti l'aula. In attesa quindi della possibilità del totale rifacimento degli intonaci dei soffitti è consigliabile vivamente eseguire controlli periodici dell'integrità degli intonaci, ed asportare le parti sospette. Inoltre la struttura dei solai appare in normali condizioni di conservazione, ma sicuramente sottodimensionata fin dall'origine. Infatti il ridotto spessore del solaio, specialmente delle aule, rendeva facilmente avvertibile una oscillazione dello stesso al transito delle persone, oscillazione da considerarsi assolutamente anomala, mentre la capacità portante era probabilmente inferiore allo standard richiesto dalle norme tecniche, sia attuali che degli ultimi 2 o 3 decenni. La forma dubitativa è dovuta al fatto che, mentre la quantità di armature e la qualità del calcestruzzo delle nervature è facilmente accertabile, altrettanto non lo è la presenza e lo spessore della cappa in calcestruzzo superiore, quindi sotto al pavimento, cappa che è decisamente importante per la rigidità e portanza complessiva del solaio. Il fatto che l'esercizio del solaio stesso in tutti questi anni non avesse provocato lesioni apprezzabili poteva far ritenere che non sussistesse un pericolo di incipiente stato limite ultimo della struttura, ma suggeriva sia di non eccedere nel carico accidentale e permanente da introdurre ai piani, sia di intervenire a breve con lavori di rinforzo.

In conclusione l'edificio poteva essere considerato agibile, con la prescrizione di non superare il carico accidentale correntemente in uso e monitorare periodicamente lo stato degli intonaci dei soffitti. Si raccomandava infine di eseguire una prova di carico su almeno 2 stanze a campione per avere riscontro strumentale alle indagini a campione eseguite.

### **2.2.2 PROVE DI CARICO**

Nei giorni 26 e 27 agosto 2010 da parte della ditta IDES di Brescia incaricata dal Comune di Rosignano Monferrato, sono state eseguite le prove di carico sui solai al piano rialzato e piano primo dell'edificio scolastico del Capoluogo, già programmate a seguito del giudizio sulle condizioni degli stessi espresso in precedenza, ed allo scopo di accertarne l'idoneità statica. Le operazioni si sono svolte sotto il continuo controllo del tecnico incaricato ing. Sandro Rota e del Responsabile del Servizio Tecnico geom. Laura Barbano .

I risultati numerici , distinti in prova di carico PC1 relativa al solaio 1 a pavimento del piano rialzato e PCI relativa al solaio 2 a pavimento del piano primo, sono contenuti nella relazione fornita dalla ditta stessa, già in possesso del Servizio Tecnico del Comune. In aggiunta alle osservazioni già riportate a pagg. 29, 30 e 31 della relazione IDES e con riferimento al testo della medesima relazione, l'ing. Rota riportava le seguenti conclusioni generali sull'esito delle prove.

*Solaio 1 (PC 1 )*

- in premessa si è rilevato un comportamento anomalo del sensore n° 2 che ha dato valori numerici eccessivamente oscillanti intorno a valori medi di interpo-lazione però accettabili. Le osservazioni dello sperimentatore possono essere condivise, ed offrono un ulteriore elemento di criticità ed incertezza sullo stato di conservazione del solaio;*
- il solaio è stato sottoposto a carico, al netto delle collaborazioni laterali, di 300 kg/mq mediante passo intermedio a 121 kg/mq;*
- in corrispondenza al carico massimo di 306 kg/mq, applicato nell'intervallo di tempo da ore 13,05' a ore 16,20', la deformazione non si è mantenuta stazionaria ma è aumentata con gradiente costante, il che significa che in quelle condizioni di carico il solaio era entrato in un campo di comportamento plastico , quindi il carico unitario di 300 kg/mq era inaccettabile;*
- la successiva ripetizione della prova con carico ridotto a 256 kg/mq , dopo aver correttamente recuperato la quota parte di freccia elastica, ha invece mostrato il mantenimento stazionario della deformazione elastica nell'intervallo di tempo da ore 16,40' a ore 17,45'. Il carico di 245 kg/mq è quindi da considerarsi accettabile;*
- la deformazione residua significativa, rilevata ai sensori 1 e 3 alle ore 19,40' è inferiore a quella minima accettabile. La freccia residua registrata al mattino successivo è ancora migliorata.*

*Solaio 2 (PC 2 )*

- il solaio è stato sottoposto a carico, al netto delle collaborazioni laterali, di 220 kg/mq con passo intermedio a 121 e 200 kg/mq;*
- a causa del mancato mantenimento stazionario della deformazione sia a carico di 200 che a carico di 220 kg/mq la prova è stata prudenzialmente interrotta a questo valore;*
- la freccia residua del solaio nuovamente scarico supera abbondantemente il limite medio del 15%. Il solaio è probabilmente entrato in campo plastico per un buon lasso di tempo durante la prova*

*Le conclusioni sono in sintesi le seguenti:*

- *il solaio 1 (a pavimento del piano rialzato) può essere considerato idoneo, ma con una portata utile di 250 kg/mq invece dei 300 kg/mq richiesti dalla normativa in vigore;*
- *il solaio 2 (a pavimento del piano primo) ha potuto essere caricato solo con 220 kg/mq, ma già a partire dai 120 kg/mq ha manifestato un comportamento non completamente elastico e deve essere rinforzato.*

- **RINFORZO DEL SOLAIO 2**

- *Pur non essendo il solaio 2 in condizioni di incipiente pericolo, ho ritenuto assolutamente indispensabile, e l'Amministrazione si è immediatamente attivata in tal senso, eseguire un rinforzo prima dell'inizio dell'anno scolastico, mentre per il solaio 1 è stata ritenuta sufficiente, nell'immediato, la capacità portante rilevata.*
- *Il rinforzo del solaio 2 è stato eseguito mediante inserimento di putrelle metal-liche in mezzera di campata ed in tutte le 3 aule del piano rialzato, tra loro colle-gate con schema statico di trave continua a cerniere intermedie (schema Gerber) per migliorare la rigidità complessiva. In tal modo si può ritenere che la luce e-quivalente del solaio sia stata circa dimezzata con riduzione delle sollecitazioni di flessione ad 1/4 delle precedenti*
- *I lavori sono stati eseguiti correttamente, sono terminati il 15.09.2010 in tempo utile per l'inizio dell'anno scolastico 2010 - 2011 ed hanno consentito di ripristinare condizioni di sicurezza statica per il solaio in questione, atteso che quelle del solaio 1 erano già state considerate accettabili, ma con carico ridotto a 250 kg/mq*
- **7 — CONCLUSIONI FINALI**
  1. *L'edificio scolastico del Capoluogo è in buone condizioni di sicurezza statica per quanto riguarda le strutture di fondazione e le murature portanti di elevazione a tutti i piani.*
  2. *Gli intonaci interni all'intradosso dei solai di tutti i piani sono fin dall'origine stati realizzati con materiali scadenti; sono stati controllati completamente nel corso dei lavori del gennaio 2009, con asportazione delle porzioni in condizione di incipiente distacco e successivo rappezzo. In attesa del loro completo rifacimento, è necessario eseguire controlli sull'intera superficie almeno 2 volte l'anno per riparare eventuali nuovi distacchi*
  3. *La prova di carico sui solai ha dato risultato insufficiente per il solaio 2 e al limite della sicurezza per il solaio 1.*
  4. *L'intervento di rinforzo eseguito nel settembre 2010 al solaio 2 si può ritenere efficace avendo ridotto a circa 1/4 le sollecitazioni di*

*flessione, riportando il solaio ad un comportamento elastico ed in condizioni di sicurezza statica.*

- 5. Il solaio 1 può parimenti essere considerato in condizioni di sicurezza statica ma con carico accidentale ridotto a 250 kg/mq anziché 300 kg/mq previsto dalla normativa vigente. Si ritiene peraltro che tale carico ridotto rappresenti con buon margine di sicurezza le effettive condizioni di carico consolidate nell'uso della scuola elementare*
- 6. In considerazione però dell'accertata estrema disomogeneità delle armature metalliche presenti nei travetti fin dalla loro originaria costruzione e della con-seguente disuniformità di comportamento complessivo dello stesso, non potendosi escludere che altre porzioni non esaminate di solaio possano avere resistenze sensibilmente diverse, e dovendo comunque garantire la portata utile minima di tutti i solai prevista dalle norme tecniche vigenti, si ritiene indispensabile che analogo intervento di rinforzo sia eseguito sia al solaio 1 a pavimento del piano rialzato, sia al solaio sottotetto*
- 7. Al termine dei rinforzi, sarà necessaria una prova di carico sugli stessi campi di solaio provati in precedenza, per avere riscontro strumentale della raggiunta capacità portante dei solai.*

### **2.2.3 PRIMI INTERVENTI REALIZZATI (ESTATE 2010)**

Pur non essendo il solaio 2 in condizioni di incipiente pericolo, si è deciso un immediato intervento per garantire la sicurezza dell'esercizio della struttura, mettendo in opera un rinforzo prima dell'inizio dell'anno scolastico, mentre per il solaio 1 era stata ritenuta sufficiente, nell'immediato, la capacità portante rilevata.

Il rinforzo del solaio 2 è stato eseguito mediante inserimento di putrelle metalliche in mezzera di campata ed in tutte le 3 aule del piano rialzato, tra loro collegate con schema statico di trave continua a cerniere intermedie (schema Gerber) per migliorare la rigidità complessiva. In tal modo si può ritenere che la luce equivalente del solaio sia stata circa dimezzata con riduzione delle sollecitazioni di flessione ad 1/4 delle precedenti

I lavori sono stati eseguiti correttamente, sono terminati il 15.09.2010 in tempo utile per l'inizio dell'anno scolastico 2010 - 2011 ed hanno consentito di ripristinare condizioni di sicurezza statica per il solaio in questione, atteso che quelle del solaio 1 erano già state considerate accettabili, ma con carico ridotto a 250 kg/mq.

### **3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI SULLE STRUTTURE**

---

Come già descritto precedentemente, i solai a pavimento delle aule del piano rialzato, del piano primo e quelli a sotto-tetto sulle aule del piano primo sono in laterocemento e risalgono alla costruzione originaria. Con esclusione delle luci corte sui corridoi, quelli sulle aule hanno luce notevole in rapporto al loro spessore e hanno dimostrato nel recente passato una limitata capacità portante, dimostrata da prova di carico con rilievo strumentale (rif. le Relazioni redatte nell'anno 2010 dall'ing. Sandro Rota e le prove di carico eseguite dalla ditta IDES Diagnostica sempre nell'anno 2010).

Sulla base delle indagini e degli studi sopra richiamati, nel settembre 2010 si è reso necessario intervenire immediatamente inserendo un rinforzo con putrelle metalliche all'intradosso del solaio a pavimento del piano primo.

Nel presente progetto si è previsto di intervenire per migliorare le caratteristiche strutturali del solaio a pavimento del piano rialzato e del solaio sottotetto; infatti tali solai, pur non presentando le criticità riscontrate nel solaio del primo piano, non garantiscono completamente i requisiti di sicurezza per la loro attuale categoria d'uso.

Data la necessità già riscontrata di rimuovere e rifare intonaco presente all'intradosso dei solai in oggetto, si è optato per un intervento di rinforzo con fibre di carbonio.

Le modalità realizzative dell'intervento sono le seguenti:

- campagna di sondaggi e di prove di laboratorio per meglio caratterizzare gli elementi strutturali esistenti e, quindi, verificare le ipotesi assunte in fase di progettazione, anche in funzione delle caratteristiche del prodotto che la Ditta esecutrice intende porre in opera;
- preparazione del piano di posa mediante spicconatura delle parti lesionate, sabbiatura di pulizia, trattamento delle armature metalliche con inibitore di ruggine, applicazione di una mano di emulsione di aggancio a base di resine sintetiche e ripristino della superficie con malta pronta tixotropica strutturale antiritiro, additivata con resine acriliche, applicata anche a più riprese, fino ad uno spessore medio di cm 3;
- stesa del primer e dello stucco epossidico per incollaggi strutturali;
- applicazione e adesione del tessuto unidirezionale termosaldato in fibra di carbonio ad alta resistenza ed elevato modulo elastico (grammatura pari a 420 g/m, di resistenza non inferiore a 4.800 MPa e modulo elastico 240-250 GPa. Nastri di larghezza pari a 5 o 8 cm);



- esecuzione di una campagna di controllo di qualità dell'intervento composto da n. 6 prove termografiche e da n. 6 indagini ultrasoniche.

Completati gli interventi di rinforzo strutturale è prevista l'esecuzione di prove di carico con serbatoio d'acqua per la verifica del comportamento deformativo del solaio, sottoponendo l'elemento strutturale a carichi di prova di intensità tale da indurre, simulando le azioni variabili di esercizio, le massime sollecitazioni previste a progetto.

- calcolo del carico equivalente in considerazione della variazione di impronta, della luce parzialmente caricata e della collaborazione trasversale. Posa del serbatoio, misurazione degli ingombri relativi nel locale, installazione di n. 7 trasduttori di spostamento potenziometrici millesimali collegati a centralina di acquisizione e registrazione dati (data logger);
- riempimento graduale del serbatoio d'acqua fino al carico equivalente prestabilito; lettura e registrazione delle deformazioni ogni 5 minuti durante le fasi di carico, di mantenimento del carico (2/3 ore), di scarico e di rientro (1/2 ore) per l'osservazione della deformazione residua;
- Incremento di carico fino al raggiungimento di uno dei seguenti limiti:
  - carico di prova equivalente al carico di progetto
  - freccia dovuta al sovraccarico pari a 1/1000 della luce
  - non proporzionalità tra carichi e deformazioni (linearità < 85%)

L'onere per la realizzazione delle prove di carico, a carico del Ente Appaltante, viene inserito all'interno delle somme a disposizione.

### **3.1 ALTRI INTERVENTI E POSSIBILI LAVORAZIONI DIFFERENTI**

Prima dell'inizio degli interventi strutturali, compresa la campagna di sondaggi e di prove di laboratorio, è prevista la rimozione dell'intonaco esistente mediante spicconatura dei solai dell'intero edificio, compreso il solaio S2 già oggetto di un precedente intervento di rinforzo.

Dopo aver completamente rimossi gli intonaci sarà possibile verificare lo stato di conservazione degli elementi di laterizio (pignatte) sottostanti.

Ove venga riscontrata la presenza di elementi danneggiati si renderà necessario porre in essere interventi, da valutarsi nel corso dei lavori a seconda della gravità e dell'estensione della problematica riscontrata.

## **4. CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO**

---

E' previsto il rinforzo strutturale di porzioni di solai esistenti a soffitto del piano seminterrato e del piani primo della Scuola Elementare presente nel Capoluogo di Rosignano Monferrato in Via Roma 1.

L'intervento in oggetto riguarda una porzione limitata del fabbricato e si configura come una riparazione locale (rif. par. 8.4.3 del D.M. 14/01/2008).

L'opera in oggetto presenta le seguenti caratteristiche:

- l'intervento interessa una costruzione esistente;
- l'opera è ubicata in zona sismica 4 "a bassa sismicità" (rif. D.G.R. 11-13058 del 19.01.2010);
- l'edificio sede di scuola primaria rientra tra gli "edifici strategici", ossia la sua funzionalità deve essere garantita anche durante gli eventi sismici;
- l'opera è di tipo ordinario, tipo 2 (rif. par. 2.4.1 del D.M. 14/01/2008) e la sua vita nominale è  $V_N > 50$  anni;
- l'opera è di classe d'uso IV (rif. par. 2.4.2 del D.M. 14/01/2008);
- il periodo di riferimento per eventuali valutazioni sismiche è  $V_R = 100$  anni (rif. par. 2.4.3 del D.M. 14/01/2008).

## 5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

L'analisi della struttura in oggetto viene svolta utilizzando i metodi usuali della Scienza delle Costruzioni ed in conformità alle normative e leggi vigenti:

- **Legge 5 novembre 1971 n. 1086**  
"Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- **Legge 2 febbraio 1974 n. 64**  
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- **Istruzioni C.N.R. 10024/86 del 23 luglio 1986**  
"Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo".
- **D.M. 14 febbraio 1992**  
"Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche".
- **D.M. 09 gennaio 1996**  
"Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche".
- **D.M. 16 gennaio 1996**  
"Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi".
- **D.M. 16 gennaio 1996**  
"Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- **D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380**  
"Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- **D.M. 14/1/2008**  
"Norme tecniche per le costruzioni".
- **Istruzioni C.N.R.-DT 200 R1/2013 del 15 maggio 2014**  
"Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati".

## **6. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO**

---

### **6.1 ANALISI DEI CARICHI**

#### Solaio 1

- Peso proprio del solaio  $180 \text{ kg/m}^2$
- Carico permanente portato  $120 \text{ kg/m}^2$
- Carichi accidentali  $300 \text{ kg/m}^2$

#### Solaio 3

- Peso proprio del solaio  $160 \text{ kg/m}^2$
- Carico permanente portato  $50 \text{ kg/m}^2$
- Carichi accidentali  $50 \text{ kg/m}^2$

### **6.2 VERIFICHE IN FASE DI PROGETTAZIONE**

L'analisi della struttura in oggetto viene svolta utilizzando i metodi usuali della Scienza delle Costruzioni ed in conformità alle normative e leggi vigenti, utilizzando specifici fogli di calcolo, i cui risultati di output sono riportati nel seguito.

Combinazione di carico: Stato limite ultimo.

Schema strutturale: trave semplicemente appoggiata alle estremità.

Luce di calcolo solaio 1: 5,60 m

Luce di calcolo solaio 3: 5,80 m

Nota: I calcoli vengo svolti considerando una strisciata di un metro di larghezza, corrispondente a 4 travetti (interasse 25 cm).

I risultati riportati nel seguito sono ottenuti sulla scorta del livello di conoscenza disponibile, come descritto nel capitolo 2.

I principali risultati ottenuti sono i seguenti.

#### Solaio 1

Sollecitazione Agente  $M_{sd} = 3.387 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$

(Sollecitazione agente al netto dei fattori di sicurezza  $M = 2.350 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$ )

Sollecitazione Resistente (attuale)  $M_r = 2.600 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$

Sollecitazione Resistente (di progetto)  $M_{rd} = 3.420 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$

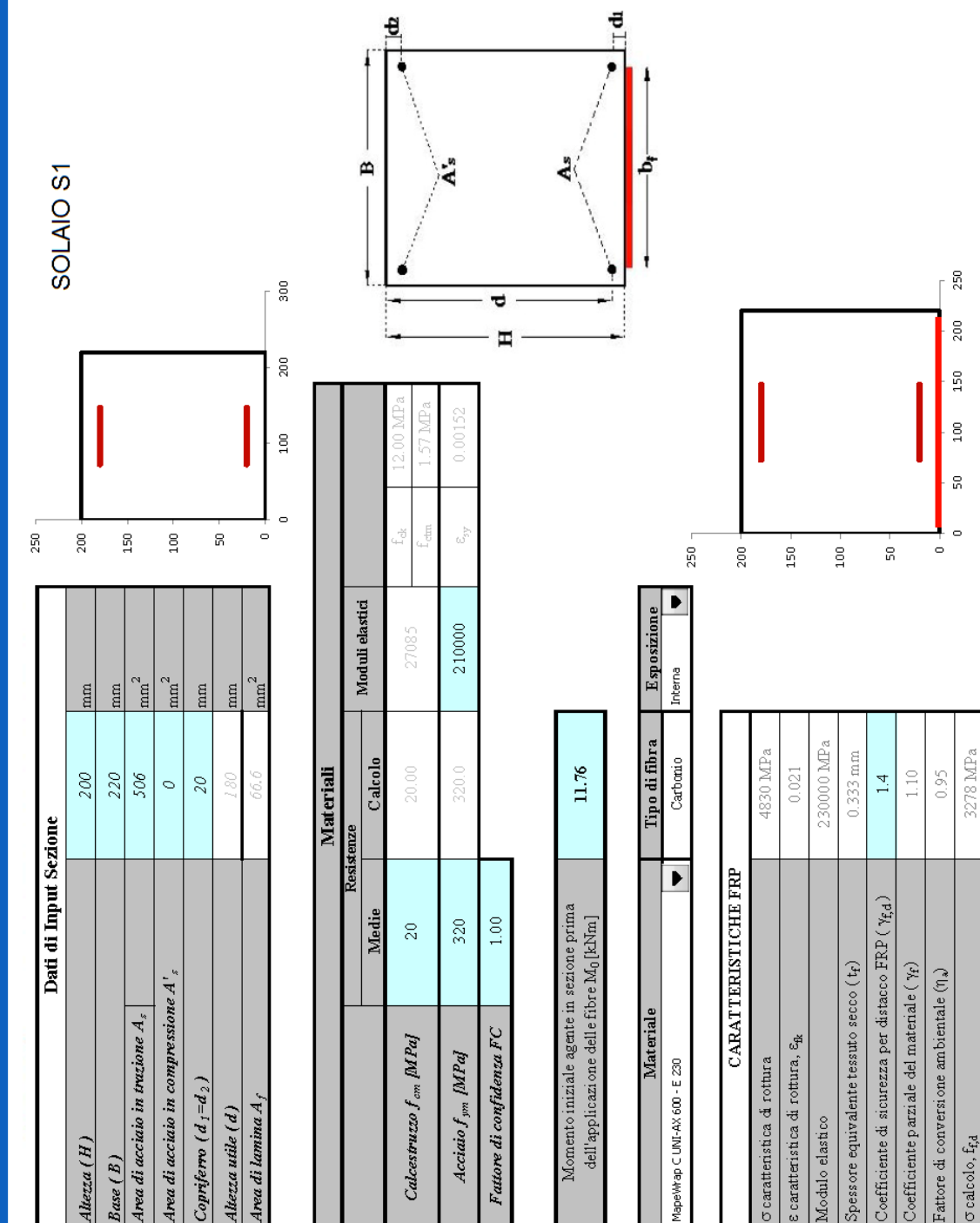
### Solaio 3

Sollecitazione Agente  $M_{sd} = 1.510 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$

(Sollecitazione agente al netto dei fattori di sicurezza  $M = 1.090 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$ )

Sollecitazione Resistente (attuale)  $M_r = 1.320 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$

Sollecitazione Resistente (di progetto)  $M_{rd} = 1.950 \text{ kg}\cdot\text{m/m}$



**Figura 6 – Risultati predimensionamento - Solaio 1 (parte 1 di 2)**

Larghezza rinforzo ( b <sub>f</sub> )	200 mm
N° strati rinforzo ( n )	1
Coefficiente per condizione di carico ( k <sub>q</sub> )	Carico distribuito

k <sub>b</sub>	1.00
k <sub>G</sub>	0.037
b <sub>f</sub> / b	0.91
f <sub>ad,2</sub> Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	786 MPa
ε <sub>4,ad</sub> Deformazione max di distacco FRP	0.00342
ε <sub>0</sub> lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0.00045
ε <sub>xy</sub> - ε <sub>0</sub>	0.00107
Γ <sub>ad</sub> Energia specifica di frattura	0.207 MPa
f <sub>ba</sub> Resist. di prog. adesione FRP-CLS	1.66 MPa
l <sub>ad</sub> Lunghezza ottimale di ancoraggio	135.0 mm
f <sub>ba</sub> Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	382 MPa
ε calcolato, ε <sub>ga</sub>	0.00342

$$\varepsilon_{fda} = \frac{f_{fda,2}}{E_f} \geq \varepsilon_{xy} - \varepsilon_0,$$

NO distacco intermedio

$$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{ba}}{\gamma_f}, \varepsilon_{fda} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo ( $y_c$ , $M_u$ )									
E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per $y_c$ e si verifica che corrisponda $N_u=0$ (rottura in flessione semplice)									
$y_c$	regione		$\psi$	$\lambda$	$\sigma'_s$	$\sigma_s$	$\sigma_f$	eq. Traslazione	
mm			ad.	ad.	MPa	MPa	MPa		
60.87	1		0.80	0.416	0.00	320.00	785.85	0.00	
Sezione non Rinforzata									
$y_c$	$\sigma'_s$	$\sigma_s$	$M_{Rd}$						
mm	MPa	MPa	kN m						
46.000	415.43	320.0	26.05						
			$\varepsilon_c$		0.00181				
			$\varepsilon'_s$		0.00124				
			$\varepsilon_s$		0.00330				
			$\varepsilon_{tpo}$		0.00342				

Figura 7 – Risultati predimensionamento - Solaio 1 (parte 2 di 2)

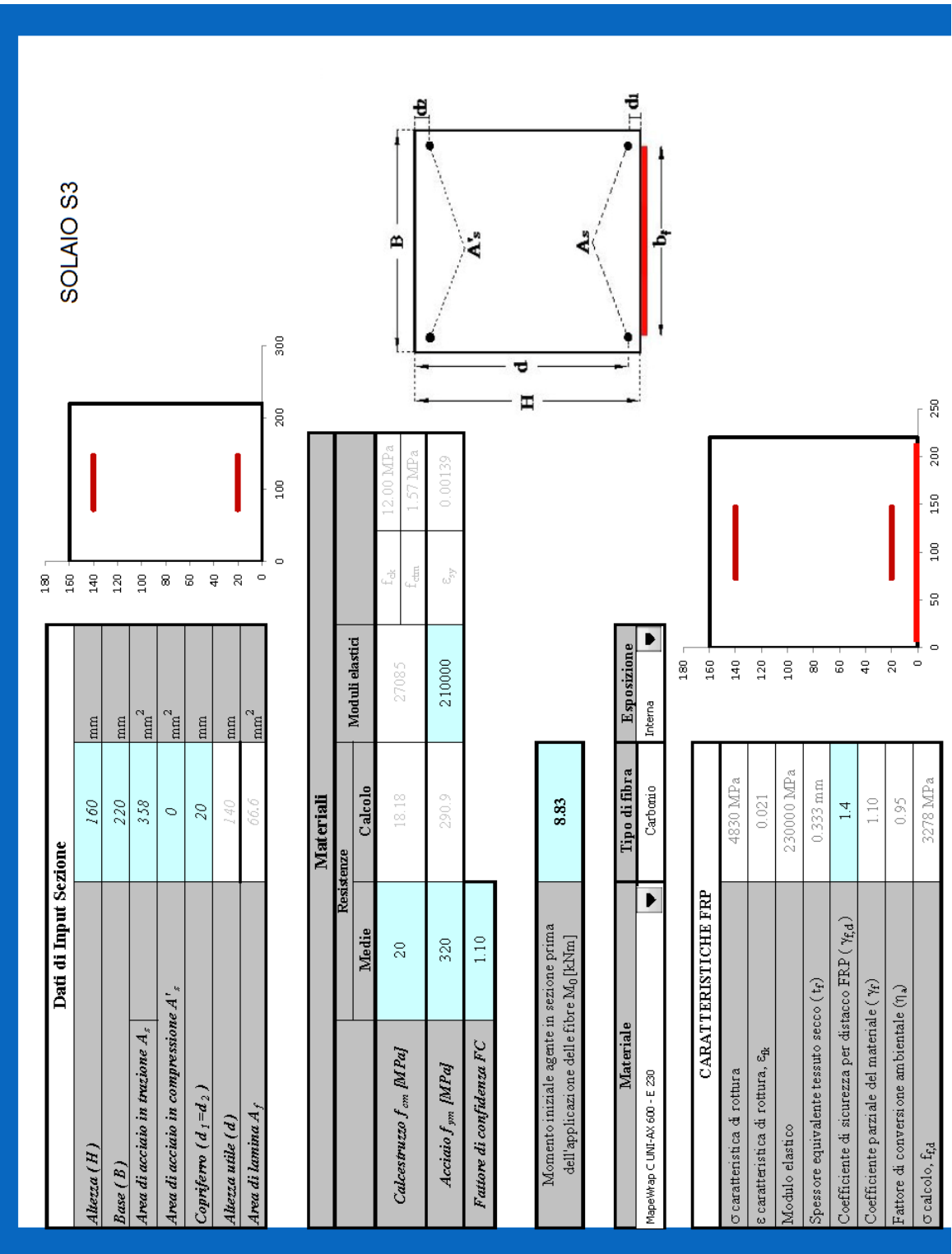


Figura 8 – Risultati predimensionamento - Solaio 3 (parte 1 di 2)



# SOLAIO S3

Larghezza rinforzo ( $b_f$ )	200 mm
N° strati rinforzo ( $n$ )	1
Coefficiente per condizione di carico ( $k_q$ )	Carico distribuito

$k_b$	1.00
$k_G$	0.037
$b_f/b$	0.91
$f_{ad,2}$ Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	749 MPa
$\epsilon_{t,ad}$ Deformazione max di distacco FRP	0.00326
$\epsilon_0$ lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0.00064
$\epsilon_{xy} - \epsilon_0$	0.00075
$\Gamma_{fr}$ Energia specifica di frattura	0.189 MPa
$f_{ad}$ Resist. di prog. adesione FRP-CLS	1.51 MPa
$l_{ad}$ Lunghezza ottimale di ancoraggio	141.6 mm
$f_{ad}$ Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	365 MPa
$\epsilon$ calcolo, $\epsilon_{ad}$	0.00326

$$\epsilon_{fid} = \frac{f_{fid,2}}{E_f} \geq \epsilon_{xy} - \epsilon_0$$

NO distacco intermedio

$$\epsilon_{fid} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\epsilon_{fr}}{\gamma_f}, \epsilon_{fid} \right\}$$

## Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo ( $y_c, M_u$ )

E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per  $y_c$  e si verifica che corrisponda  $Nu=0$  (rottura in flessione semplice)

$y_c$ mm	regione	$\psi$ ad.	$\lambda$ ad.	$\sigma'_s$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\sigma_f$ MPa	eq. Traslazione	$M_{Ra}$ kN m
48.14	1	0.80	0.416	0.00	290.91	749.28	0.00	19.48

Sezione non Rinforzata			
$y_c$ mm	$\sigma'_s$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$M_{Ra}$ kN m
32.545	283.32	290.9	13.17

$\epsilon_c$	0.00180
$\epsilon'_s$	0.00109
$\epsilon_s$	0.00318
$\epsilon_{fpo}$	0.00326

Figura 9 – Risultati predimensionamento - Solaio 3 (parte 2 di 2)

### 6.3 VERIFICA DELLE IPOTESI PROGETTUALI

Le assunzioni effettuate in fase di progettazione dovranno essere verificate in fase esecutiva, alla luce del miglior livello di conoscenza ottenuto a seguito della campagna di sondaggi e di prove di laboratorio per meglio caratterizzare gli elementi strutturali esistenti (fase realizzativa 1).

Sulla scorta dei risultati ottenuti nella fase 1, l'Appaltatore, in funzione delle caratteristiche tecniche del materiale composito fibrorinforzato in carbonio che intende porre in opera, procede alla VERIFICA DELLE IPOTESI PROGETTUALI attraverso l'esecuzione di calcolo di verifica, anche mediante specifici software di calcolo (sviluppati in collaborazione con Università italiane) con riferimento ai seguenti documenti tecnici: FIB Bulletin 14 "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures" (2001); CNR DT 200 R1 2013 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati (vers. 15/05/2014).

### 6.4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA

Ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni l'intervento in oggetto può essere classificato come **intervento locale** in quanto:

- non implica una modifica del comportamento globale dell'edificio;
- il rinforzo dei solai mira a ripristinare la resistenza nei confronti delle azioni agenti;
- i carichi trasmessi alla struttura di fondazione non subiscono variazioni;
- non si ha una modifica alla geometria degli elementi strutturali interessati;
- non si ha una variazione della destinazione d'uso, pertanto rimangono invariati i carichi di esercizio.

Completati gli interventi di rinforzo strutturale è prevista l'esecuzione di prove di carico con serbatoio d'acqua per la verifica del comportamento deformativo del solaio S1, sottoponendo l'elemento strutturale a carichi di prova di intensità tale da indurre, simulando le azioni variabili di esercizio, le massime sollecitazioni previste a progetto.

- calcolo del carico equivalente in considerazione della variazione di impronta, della luce parzialmente caricata e della collaborazione trasversale. Posa del serbatoio, misurazione degli ingombri relativi nel locale, installazione di n. 7 trasduttori di spostamento potenziometrici millesimali collegati a centralina di acquisizione e registrazione dati (data logger);
- riempimento graduale del serbatoio d'acqua fino al carico equivalente prestabilito; lettura e registrazione delle deformazioni ogni 5 minuti

durante le fasi di carico, di mantenimento del carico (2/3 ore), di scarico e di rientro (1/2 ore) per l'osservazione della deformazione residua;

- incremento di carico fino al raggiungimento di uno dei seguenti limiti:
  - carico di prova equivalente al carico di progetto
  - freccia dovuta al sovraccarico pari a 1/1000 della luce
  - non proporzionalità tra carichi e deformazioni (linearità < 85%)

## 7. MATERIALI UTILIZZATI

---

- **Tessuto UNI-direzionale termosaldato in fibra di carbonio:**
  - Tensione di rottura a trazione 4830 MPa
  - Modulo elastico 240 GPa
  - Allungamento a rottura 1,9 %
  - Densità 1,8 g/cm<sup>3</sup>
  - Peso fibra di carbonio nel nastro 400 g/m<sup>2</sup>
  - Peso termosaldatura in fibra di vetro 20 g/m<sup>2</sup>
  - Direzione delle fibre 0°
  - Sezione resistente 2,20 mm<sup>2</sup>/cm
  - Spessore equivalente a secco 0,220 mm
  - Larghezza del nastro 5 o 8 cm
- **Primer epossidico bicomponente esente da solvente per il consolidamento dei supporti porosi**
  - Consumo: 0,1-0,3 kg/m<sup>2</sup>
- **Stucco-adesivo epossidico bicomponente tixotropico, esente da solventi, per il livellamento del supporto e/o l'incollaggio strutturale**
  - Resistenza a compressione a 1 gg. > 50 MPa (ASTM D 695-02a)
  - Resistenza a compressione a 7 gg. > 56 MPa (ASTM D 695-02a)
  - Resistenza a flessione a 1 gg. > 16 MPa (ASTM D 790)
  - Resistenza all'aderenza > 18 MPa (UNI EN 1542)
  - Adesione al supporto > 3 MPa (rottura del supporto)
- **Resina epossidica bicomponente a media viscosità, esente da solventi, per la laminazione ad umido (wet-lay up) del primo strato, con contestuale impregnazione e adesione**
  - Resistenza a compressione a 7 gg. > 50 MPa (UNI EN196-1)
  - Resistenza a trazione > 30 MPa (ASTM D 638)
  - Adesione al supporto > 3 MPa (rottura del supporto)

- **Resina epossidica bicomponente fluida, esente da solventi, per la laminazione ad umido (wet-lay up) degli strati successivi, con contestuale impregnazione e adesione dei tessuti**
  - Resistenza a compressione a 7 gg. > 80 MPa (UNI EN 196-1)
  - Resistenza a flessione a 7 gg. > 70 MPa (UNI EN 196-1)
  - Resistenza a trazione > 30 MPa (ASTM D 638)
  - Adesione al supporto > 3 MPa (rottura del supporto)

## **8. MODALITÀ ESECUTIVE**

---

Le operazioni di rinforzo strutturale dei solai 1 e 3 comprendono le attività di seguito riportate.

### **8.1 CARATERIZZAZIONE DEI MATERIALI E NALISI STATO DI FATTO**

Campagna di sondaggi e di prove di laboratorio per meglio caratterizzare gli elementi strutturali esistenti e, quindi, verificare le ipotesi assunte in fase di progettazione, anche in funzione delle caratteristiche del prodotto che la Ditta esecutrice intende porre in opera.

Campagna diagnostica strumentale per il conseguimento del a LIVELLO DI CONOSCENZA "LC2"

Esecuzione di prove sperimentali dirette e non-distruttive per conseguire un "adeguato livello di conoscenza" dei materiali, con particolare riferimento alla loro geometria, ai dettagli costruttivi ed alla caratterizzazione meccanica, sia del calcestruzzo, sia dei ferri d'armatura, con conseguente definizione dei relativi fattori di confidenza (Livello c.d. "LC2").

La relazione conterrà la STIMA DEL VALORE MEDIO DELLA RESISTENZA a compressione del calcestruzzo IN OPERA. Per l'analisi si adotteranno i coefficienti correttivi delle formulazioni di carattere sperimentale presenti nelle norme internazionali e nella letteratura tecnica, tenendo conto del diametro e della snellezza del provino, della massima dimensione dell'inerte e della direzione di perforazione rispetto a quella del getto. Riferimenti: D.M. 14.1.2008 (NTC) - Circolare Min. n° 617/2009 - Linee Guida C.S.L.P. per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008) - BS EN 12504-1:2000 - UNI EN 12504-1:2002 - ACI 214,4R-03.

1.a ANALISI MAGNETOMETRICA (n. 8) per rilevare la presenza e la direzione dei ferri d'armatura, stimarne la profondità e il diametro, essendo lo spessore del getto di ricoprimento non superiore a 6-8 cm. Analisi mediante pachometro che sfrutta il principio operativo delle correnti parassite (Eddy Current), impiegando campi magnetici continuamente variabili a media frequenza. Riferimenti: DIN 1045 - BS 1881:204 - UNI 13860:2004 - UNI ENV 1992-1-1:2005 (EC 2) - D.M. 14.1.2008 (NTC) - Circolare Min. n° 617/2009 - Linee Guida C.S.L.P. per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008).

1.b PRELIEVO DI FERRO D'ARMATURA (n. 4) già in opera da analizzare in laboratorio. Taglio di una porzione di armatura mediante smerigliatrice con disco

diamantato. Sono compresi gli oneri per la campionatura, il trasporto in laboratorio e l'acquisizione fotografica. PREPARAZIONE DEL CAMPIONE IN ACCIAIO per l'ancoraggio alla macchina di prova dello spezzone di barra liscia o ad aderenza migliorata, previo rilievo del marchio di laminazione (se possibile), ovvero previo trattamento termico con successivo raffreddamento in aria calma a temperatura ambiente. Riferimenti: DM 16.01.1996 - DM 14.01.2008 (NTC) - UNI EN ISO 15630-1:2004. PROVA A TRAZIONE DI BARRA D'ARMATURA per la stima della tensione di rottura, della tensione di snervamento, ovvero del valore corrispondente allo 0,2% e dell'allungamento, secondo la norma UNI EN ISO 15630-1:2004. Sono compresi gli oneri per la graficizzazione della prova e lo smaltimento del campione in discarica. Riferimenti: DM 16.01.1996 - DM 14.01.2008. EMISSIONE DEL RAPPORTO DI PROVA da parte di Laboratorio Ufficiale accreditato dal Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture ai sensi della Legge 1086/71.

1.c RILIEVO DIRETTO DEI FERRI D'ARMATURA (n. 8) tramite calibro digitale. Restituzione mediante rilievo fotografico digitale e annotazione delle osservazioni visive, tra cui il tipo di superficie.

1.d ANALISI ULTRASONICA (n. 8) per stimare la resistenza del calcestruzzo indurito, in base alla velocità di propagazione degli ultrasuoni. Generazione di n. 3 impulsi ultrasonici per trasparenza a mezzo di trasduttori elettroacustici con dispositivo di sincronismo del segnale di partenza. Rilevazione dei tempi di propagazione degli impulsi di vibrazione ultrasonica mediante accelerometro. Calcolo della velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico analizzando, tramite oscilloscopio, l'arrivo del primo fronte d'onda. Restituzione in tabella con determinazione del valore medio. Riferimenti: D.M. 14.1.2008 (NTC) - Circolare Min. n° 617/2009 - Linee Guida C.S.L.P. per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008) - EN 12668:2000 - EN 13330-4 - EN 13554:2002 - Raccomandazione CNR-ICR NorMaL 42/93 - UNI 8555:1984 - UNI 9094:1987 - UNI EN 12223:2001 - UNI EN 12504-4:2005 - UNI EN 12668-2:2004 - UNI EN 1330-9:2002 - UNI EN 13477:2003 - UNI ENV 583-6:2001 - UNI 9524:1989 — UNI EN 583:2004 - ASTM C 597 - NF P 18-418 - prEN ISO 8047.

1.e PROVA DI ESTRAZIONE PULL-OUT (n. 8) per la stima della resistenza del calcestruzzo in situ, in base alla forza necessaria per l'estrazione di un tassello ad espansione posizionato nel calcestruzzo indurito. Esecuzione di foro troncoconico con sottosquadro a mezzo di trapano elettrico con punta svasatrice. Pulizia del foro e inserimento di ancorante in acciaio mediante percussore. Estrazione del tassello mediante martinetto oleodinamico collegato ad un circuito idraulico pressurizzato. Lettura al manometro della pressione di estrazione. Restituzione della prova con documentazione fotografica, localizzazione dell'indagine, riepilogo in forma grafica e tabellare e stima della resistenza a compressione del calcestruzzo. Riferimenti: UNI 10157:1992 - UNI EN 12504-3:2003.

1.f PROVA SCLEROMETRICA SU CALCESTRUZZO (n. 8) per valutarne l'uniformità, delineare le zone di degrado o di scarsa qualità e stimare la resistenza del calcestruzzo indurito in base alla durezza superficiale. Preparazione della superficie mediante rettifica con pietra abrasiva. Rilevazione con sclerometro tipo N del rimbalzo del corpo di battuta con energia di percussione pari a 2,207 Nm. Lettura dell'indice sclerometrico con registrazione di n. 12 valori. Determinazione del valore medio, escludendo il massimo e il minimo, e stima dello scarto quadratico medio e del coefficiente di variazione. Riferimenti: ASTM C 805 - BS 1881:202 - DIN 1048 - prEN 12398:1996 - UNI EN 12504-2:2001 - D.M. 14.1.2008 (NTC) - Circolare Min. n° 617/2009 - Linee Guida C.S.L.P. per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008).

1.g STIMA CON METODO SONREB (n. 8) del valore approssimato di resistenza del calcestruzzo in opera, definito anche come valore attuale. La stima viene eseguita mediante grafici sperimentali di correlazione, costituiti da famiglie di curve di iso-resistenza, noti il valore medio dell'impulso ultrasonico, la resistenza di estrazione ed il valore medio dell'indice di rimbalzo sclerometrico. Si prevede l'utilizzo delle principali formulazioni empiriche proposte in letteratura (es. Gasparik, Di Leo-Pascale e Giacchetti-Lacquaniti), ovvero la calibrazione mediante prove distruttive, in correlazione tramite analisi statistica multiregressiva. Riferimenti: D.M. 14.1.2008 (NTC) - Circolare Min. n° 617/2009 - Linee Guida C.S.L.P. per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008).

1.h VERIFICA DELLE IPOTESI PROGETTUALI (n. 8) relative all'intervento con materiale composito fibrorinforzato in carbonio CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Esecuzione di calcolo di verifica, anche mediante specifici software di calcolo (sviluppati in collaborazione con Università italiane) con riferimento ai seguenti documenti tecnici: FIB Bulletin 14 "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures" (2001); CNR DT 200 R1 2013 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati (vers. 15/05/2014).

## **8.2 PREPARAZIONE DEI SOLAI**

Preparazione del piano di posa mediante spicconatura delle parti lesionate, sabbiatura di pulizia, trattamento delle armature metalliche con inibitore di ruggine, applicazione di una mano di emulsione di aggancio a base di resine sintetiche e ripristino della superficie con malta pronta tixotropica strutturale antiritiro, additivata con resine acriliche, applicata anche a più riprese, fino ad uno spessore medio di cm 3.



### **8.3 POSA DEI RINFORZI IN FIBRA DI CARBONIO**

#### Fornitura e posa del sistema con tessuti fibro-rinforzati in carbonio

Fasi operative:

- a) Applicazione di primer bicomponente a base di resine epossidiche, per creare un opportuno strato filmogeno di supporto ed interfaccia.
- b) Eventuale livellamento mediante stucco-adesivo epossidico allo scopo di evitare la formazione di vuoti o bolle d'aria che potrebbero pregiudicare l'aderenza del rinforzo al supporto.
- c) Stesura del primo strato di resina epossidica bicomponente a media viscosità per l'incollaggio delle fibre di rinforzo (undercoating).
- d) Applicazione e adesione del tessuto unidirezionale termosaldato in fibra di carbonio ad alta resistenza ed elevato modulo elastico secondo le indicazioni progettuali, avendo cura di evitare la formazione di bolle d'aria ed assicurare la perfetta aderenza al supporto.
- e) Stesura del secondo strato di resina epossidica bicomponente fluida con contestuale impregnazione delle fibre (overcoating).
- f) Rullatura per eliminare eventuali bolle d'aria ed asportare la resina in eccesso.
- g) Eventuale ripetizione delle fasi d) - f) per tutti gli strati previsti progettualmente, sia in semplice sovrapposizione che in direzione ortogonale.

### **8.4 VERIFICHE**

CONTROLLO QUALITÀ DELL'INTERVENTO Esecuzione di prove non distruttive o semi-distruttive per la verifica della corretta applicazione dei materiali compositi CFRP, come prescritto da: Assemblea Generale Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 24/7/2009 - LINEE GUIDA per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di Strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP; CNR-DT 200 R1/2013 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati Materiali, strutture in c.a. e in c.a.p., strutture murarie; FIB Bulletin 14/2001 - Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures

4.a Prova termografica (n. 6) Rilevamento della diversa emissione di radiazioni elettromagnetiche proprie di ciascun materiale mediante acquisizione in situ di immagini termiche, condotta con strumentazione portatile tipo longwave sensibile all'infrarosso operante nella banda 8-12 micron. Riferimenti: UNI 9252:1988, 150 6781:1983 e UNI 9124-2:1987.

4.b Indagine ultrasonica (n. 6) Generazione dell'impulso ultrasonico a mezzo di trasduttori elettroacustici con dispositivo di sincronismo del segnale di partenza. Rilevazione del tempo di propagazione dell'impulso di vibrazione ultrasonica mediante

accelerometro. Calcolo della velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico analizzando, tramite oscilloscopio, l'arrivo del primo fronte d'onda. Riferimenti: - EN 12668:2000 - EN 13330-4 - EN 13554:2002 - CNR-ICR NorMaL 42/93 - UNI 8555:1984 - UNI 9094:1987 - UNI EN 12223:2001 -UNI EN 12504-4:2005 - UNI EN 12668-2:2004 - UNI EN 1330-9:2002 - UNI EN 13477:2003 - UNI ENV 583-6:2001 - UNI 9524:1989 — UNI EN 583:2004 - ASTM C 597 - NF P 18-418 - prEN ISO 8047.