



---

# *Scientific Report*

---

*Controllo NDT sui solai: Casi di studio*

Authors: G. Porco, F. Forestieri, F. De Bartolo

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.  
Spin-Off University of Calabria  
Rende (CS), Italy

N.14 - II- 2022

ISBN: 979-12-80280-13-8

## EDIZIONI SISMLAB

Scientific Publications by Sismlab s.r.l.  
Spin-Off University of Calabria  
Rende (CS), Italy

N.14 – February 2022  
ISBN: 979-12-80280-13-8  
( *Year III* )

*Available online at [www.sismlab.com](http://www.sismlab.com)  
[info@sismlab.it](mailto:info@sismlab.it) - [sismlab@pec.it](mailto:sismlab@pec.it)*

*Via Ponte Pietro Bucci - Università della Calabria - Rende (CS) P.Iva: 02730000789  
- Tel./Fax.: +390984-447093*

# CONTROLLO NDT SUI SOLAI: CASI DI STUDIO

G. Porco \* - F. Forestieri \*\* - F. De Bartolo \*\*

\*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria  
[giacinto.porco@unical.it](mailto:giacinto.porco@unical.it)

\*\*Sismlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria  
[info@sismlab.it](mailto:info@sismlab.it)  
[f.forestieri@sismlab.it](mailto:f.forestieri@sismlab.it)  
[f.debartolo@sismlab.it](mailto:f.debartolo@sismlab.it)

## SOMMARIO

Le attività del controllo strutturale, di recente, si stanno rivolgendo sempre di più alle verifiche sullo stato di salute delle opere secondarie, come solai, sbalzi e controsoffittature, queste ultime anche a valenza storico artistica. Le tipologie di dissesto emerse dalla verifica su tali elementi hanno riguardato fenomeni casuali e non prevedibili, quali distacchi di intonaco e sfondellamento sugli orizzontamenti. Gli autori hanno affrontato già la problematica della diagnosi di solai esistenti, individuando, in due precedenti note scientifiche, una metodologia operativa basata sull'utilizzo dell'indagine strumentale acustica, insieme ad altre tecniche NDT, opportunamente validata mediante approcci teorici e sperimentali. L'insieme delle attività, previste da tale approccio, sono state poi organizzate ed articolate sinteticamente all'interno di un protocollo procedurale unico, valido cioè per tutti i casi costruttivi di solaio in latero-cemento, e finalizzato alla perimetrazione delle aree danneggiate agli intradossi degli impalcati con classificazione dei livelli di danno e rischio associato.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di completare il percorso intrapreso ossia validare il protocollo procedurale mediante una robusta campagna sperimentale su casi reali di studio. In particolare, è stata prevista l'applicazione sui solai di edifici pubblici, mostrando che il protocollo proposto consente di perseguire l'obiettivo di perimetrare aree potenzialmente a rischio sugli intradossi dei solai e di valutarne il giusto livello di rischio. I risultati delle attività di screening ottenuti su un campione diversificato di edifici, con i quali si è pervenuti agli obiettivi prefissati, restituiscono un giudizio confortante, sull'impiego dalla procedura protocollare basata principalmente sulla tecnica NDT di battitura strumentale.

## 1. INTRODUZIONE

Il governo italiano, negli ultimi anni, con il verificarsi di importanti eventi sismici, si è principalmente preoccupato di apportare modifiche alle norme sulle costruzioni in riferimento solo al comportamento globale della struttura, trascurando di fatto i controlli sullo stato di consistenza delle opere secondarie come i solai. La mancanza di adeguati strumenti normativi, che disciplinassero il controllo e la manutenzione degli orizzontamenti ha portato al manifestarsi di diffusi fenomeni di dissesto come, nel caso dei solai latero-cementizi, lo sfondellamento, la caduta di intonaco e addirittura i crolli improvvisi di parti di solaio. Lo stato di dissesto dei solai ha interessato edifici pubblici e privati anche oggetto di recenti interventi sismici, mettendo in luce la necessità di inserire la diagnosi e la verifica statica dei solai all'interno dell'inquadramento tecnico normativo nazionale.

Sono stati emessi a tale proposito una serie di decreti e stanziati fondi in favore degli enti locali per l'avvio di indagini sperimentali e verifiche su solai e controsoffitti.

In particolare, il Ministero dell'Istruzione e della Ricerca ha redatto un Capitolato Tecnico per la verifica delle reali condizioni statiche dei solai, riportando in questo documento, a titolo esemplificativo, un possibile procedimento operativo sia per quanto riguarda la campagna di Indagini Sperimentali e sia per la Verifica Statica/Analitica del solaio.

Altro capitolato tecnico è stato redatto dal CONSIP, per l'esecuzione di attività diagnostiche sui solai di edifici della pubblica amministrazione. Tale documento a differenza di quello ministeriale non prevede la fase di verifica statica del solaio, ma da indicazioni operative solo in merito alle indagini non strutturali da eseguire e su come restituire i risultati ottenuti in termini di livelli di vulnerabilità.

Tuttavia note di negatività sono da attribuire ad entrambi i provvedimenti normativi, che nel suggerire le modalità operative hanno mancato di precisione e dettaglio, lasciando così gran margine interpretativo agli operatori che ne hanno fatto utilizzo. Aspetto particolarmente allarmante, nel Capitolato tecnico ministeriale, è stato quello di annoverare, le prove di carico tra le tecniche ammissibili, senza prevederne alcuna indicazione sulla corretta esecuzione. Il Capitolato, infatti, non ha previsto prima dell'esecuzione del test alcuna valutazione sull'effettiva portanza del solaio da poter giustificare i carichi applicati durante la prova; e non ha dato indicazioni neanche in merito all'esecuzione delle prove sui materiali per l'accertamento delle reali caratteristiche meccaniche. Aver trattato nel documento le prove di carico in maniera considerevole è stato fuorviante per i tecnici, i quali sono stati indotti a eseguire test di carico in maniera del tutto scriteriato, senza avere eseguito studi preliminari per la determinazione di carichi, resistenze dei materiali e particolari costruttivi.

L'uso sconsigliato della prova di carico è stato motivo, a parere di chi scrive, anche di danneggiamento sui solai: non si può escludere, infatti, il rischio di aver snervato gli acciai durante le prove e di averli rimessi in esercizio. Le prove di carico sono state eseguite per lo più su solai progettati alle tensioni ammissibili, rispondenti ad altre prerogative, per cui controllare durante la prova, che la crescita degli spostamenti sia tale da mantenere le deformazioni nel range elastico non esclude la possibilità di aver plasticizzato alcune parti dell'acciaio o di essere arrivati in prossimità della soglia plastica con conseguenti danni al calcestruzzo circostante.

Tenuto conto di tutto ciò risulta utile elaborare una procedura guida per la diagnosi e la verifica dei solai, che preveda tecniche di indagine non distruttive e un uso assolutamente limitato delle prove di carico, considerate, a parere degli scriventi, pratiche rischiose seppur eseguite con tutti gli accorgimenti del caso.

Gli autori, di conseguenza, hanno inteso riferirsi ad una metodologia, già disponibile, per la diagnosi di solai latero-cementizi, elaborata dagli stessi in una precedente nota scientifica [13], e successivamente articolata all'interno di un protocollo procedurale [14]. Tale approccio diagnostico prevede tecniche di indagine non distruttive NDT, affinate dall'indagine strumentale di tipo acustico, ed è finalizzato alla perimetrazione e classificazione del danno e del rischio associato sulle zone di interesse all'intradosso del solaio.

L'obiettivo del presente articolo, pertanto, è quello di validare tale protocollo, inclusivo anche della fase di verifica statico/analitica, mediante la sua applicazione in una robusta campagna sperimentale su situazioni reali di studio. L'attuazione in campo mostrerà come la procedura proposta sia in linea con quanto previsto dai capitolati tecnici, attualmente in vigore, e al contempo come ne migliori gli aspetti di criticità. In particolare, si vedrà come dal piano di indagine proposto siano escluse le prove

di carico sui solai o comunque ne sia limitato fortemente l'uso se non in condizioni estreme o se non in condizioni di post-consolidamento.

Si riporta di seguito, brevemente, prima quanto disciplinato dai Capitolati Tecnici per la diagnostica e la verifica statica dei solai esistenti; per poi passare alla rassegna dei casi studio, atti a dimostrare la validità della procedura proposta per le varie tecniche costruttive di solaio in latero-cemento, restituendone mappature sia sullo stato di danno che di rischio.

## **2. PROTOCOLLI PROCEDURALI PER IL CONTROLLO DEI SOLAI: STATO DELL'ARTE**

Nella presente sezione si riporta brevemente quanto disciplinato dalla normativa nazionale in riferimento alle metodologie operative per la diagnostica e la verifica statica dei solai esistenti. In particolare si presentano, il Capitolato Tecnico, redatto dal Ministero dell'Istruzione e della Ricerca con Nota 30628 del 16 Ottobre 2019, per la verifica statica di solai e controsoffitti [11], e il Capitolato Tecnico, redatto dal CONSIP [9], per l'erogazione di indagini non strutturali sui solai di edifici della pubblica amministrazione. In infine, si discute il protocollo procedurale, proposto dagli scriventi in una precedente nota scientifica [14], finalizzato a migliorare alcuni aspetti dei due esposti strumenti normativi.

### **2.1 CAPITOLATO TECNICO MINISTERIALE PER LA VERIFICA STATICA DI SOLAI E CONTROSOFFITTI**

Per la diagnostica e la verifica delle condizioni statiche di solai e controsoffitti è stato redatto dal Ministero dell'Istruzione e della Ricerca un Capitolato Tecnico, che ne disciplina l'approccio operativo. In particolare, il documento prevede per solai due attività fondamentali, ossia una campagna di Indagini Sperimentali e una Verifica Statica/Analitica. Per l'esecuzione delle indagini sperimentali è suggerita una possibile metodologia operativa che prevede il rilievo geometrico (dei campi di solaio oggetto di verifica), il rilievo strutturale (dei campi di solaio oggetto di verifica), il rilievo dell'eventuale quadro fessurativo e/o degli ammaloramenti, l'ispezione visiva degli appoggi degli elementi principali con particolare riguardo alla lunghezza di appoggio sulle strutture in muratura ed allo stato di conservazione degli stessi (ad es. eventuale ammaloramento/degrado dell'appoggio delle travi lignee), il rilievo fotografico finalizzato alla rappresentazione dello stato di fatto dei solai oggetto di verifica, la campagna di indagini sperimentali sugli elementi costitutivi dei solai, le prove di carico e l'esito delle prove.

Per quanto riguarda la redazione del piano di indagine si suggerisce un elenco indicativo e non esaustivo di alcune indagini diagnostiche ammissibili, tra cui le indagini sui materiali e le prove di carico, atte a determinare, in tempo reale e in tutte le fasi di carico/scarico, valori di deformazioni sperimentali e a controllare che queste si mantengano in campo elastico.

Tra le indagini sui materiali ammesse rientrano, le rilevazioni pacometriche, le prove pull-out, i carotaggi, le indagini ultrasoniche, le prove sclerometriche, la prova di carbonatazione, il rilievo del potenziale di corrosione, le indagini termografiche, il rilievo geometrico/ispezione visiva, le indagini

endoscopiche, l'estrazione di barre d'armatura, la misura della durezza degli acciai, le indagini sul legno.

L'indagine diagnostica dovrà concludersi con una relazione tecnica che riporti i risultati delle indagini eseguite, elaborati grafici planimetrici, che evidenzino i punti soggetti a sfondellamento, l'evoluzione del fenomeno, il grado di pericolosità e la valutazione del degrado, ed infine un'ipotesi di intervento con valutazione di massima sia dell'importo economico che della tempistica.

Il procedimento indicato, sempre a titolo di esempio, per effettuare la verifica statica/analitica prevede: la determinazione del carico limite sopportabile in condizioni di sicurezza; la correlazione tra carico limite e carichi di normativa mediante la quantificazione del 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. Tale valutazione andrà riferita sia a sollecitazioni di flessione che di taglio; la determinazione delle deformate teoriche degli elementi costruttivi più significativi; il confronto tra le deformate teoriche e quelle sperimentali; la valutazione del grado di sicurezza sia allo SLU che allo SLE; fornire eventuali consigli riguardanti le strutture e la sicurezza statica.

## **2.2 CAPITOLATO TECNICO CONSIP PER LA DIAGNOSTICA DEI SOLAI IN EDIFICI DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**

Una utile guida per indagare ed esprimere un giudizio sullo stato di conservazione degli elementi esaminati può essere quella costituita dal Capitolato Tecnico redatto dal CONSIP nel 2016. In questo documento sono disciplinati gli aspetti tecnici e normativi per l'esecuzione di indagini diagnostiche non strutturali all'intradosso dei solai negli edifici della Pubblica Amministrazione. I servizi di diagnostica previsti sono finalizzati al rilievo di potenziali dissesti locali in grado di produrre il cedimento dell'intonaco, dei blocchi di laterizio tra i travetti, il cosiddetto "sfondellamento" in caso di solai latero-cementizi, o delle eventuali controsoffittature.

In particolare, il documento propone una metodologia operativa per l'esecuzione delle indagini sui soffitti (intradossi di solai), secondo una sequenza logica di esecuzione delle attività:

- Un primo approccio di ispezione visiva e con impiego di termocamera al fine di individuare la tipologia di solaio (lo scheletro strutturale"), circoscrivere le aree in cui approfondire le indagini o evidenziare quelle con le problematiche più evidenti o di immediato intervento;
- Un approfondimento costituito dall'esecuzione della "battitura manuale" delle superfici circoscritte dalle precedenti indagini;
- Un ulteriore affinamento tramite l'impiego di un'indagine strumentale (acustica, impulsiva, dinamica) che consenta di giungere ad un giudizio sul possibile rischio secondo criteri comparativi.

Assieme a tali aspetti viene raccomandata l'esecuzione di saggi esplorativi (almeno: 1 ogni 250 m<sup>2</sup>, o per ogni tipologia costruttiva di solaio) finalizzati alla individuazione di eventuali difetti locali o estendibili a superfici più vaste (se ad esempio legati alle modalità realizzative dei componenti il solaio).

I risultati delle indagini diagnostiche dovranno essere elaborati e restituiti all'interno di una relazione, che dovrà contenere anche le planimetrie con indicazione grafica delle aree danneggiate e del livello di rischio, secondo la seguente classifica:

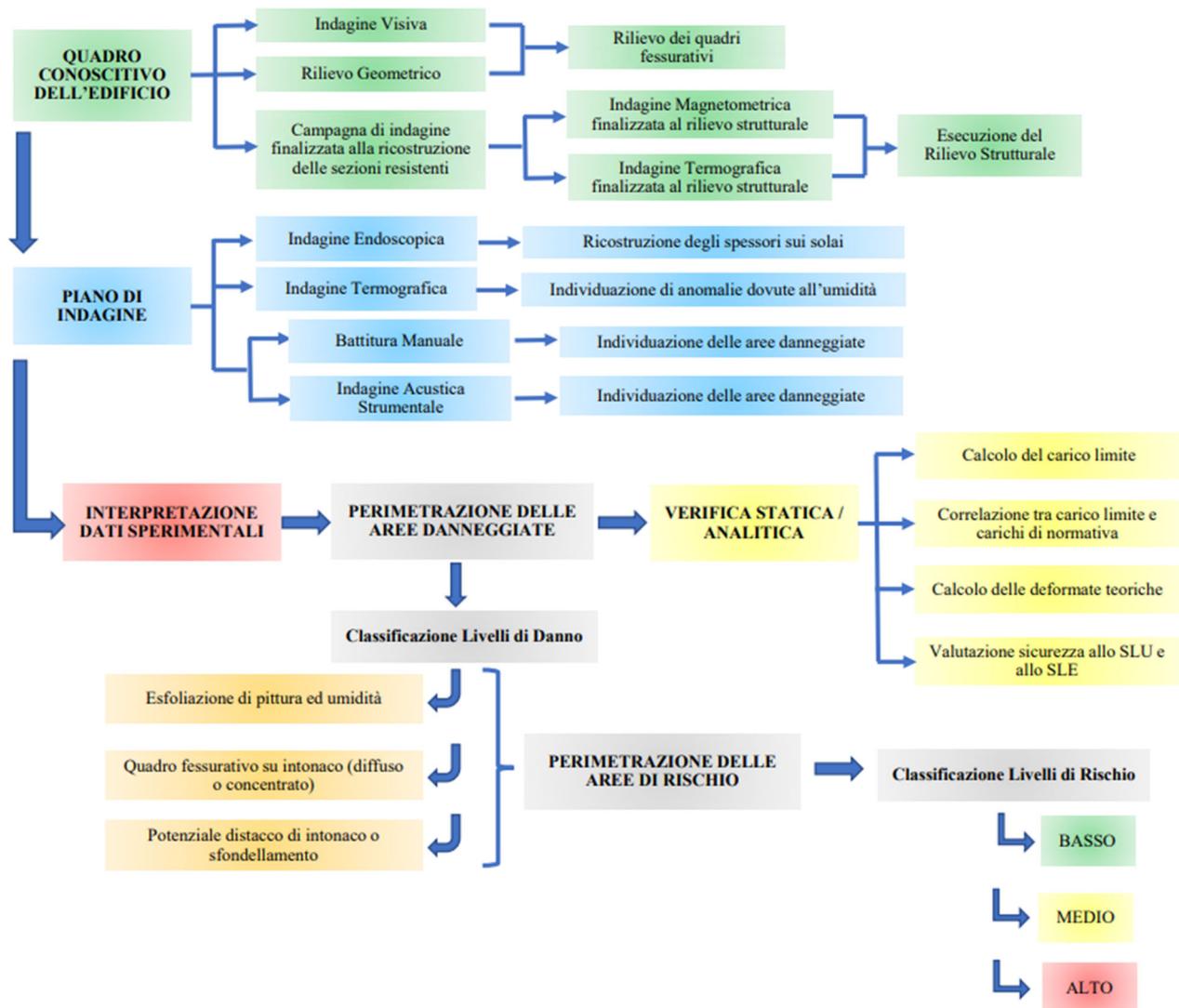
- **Dissesto in atto** (ad esempio presenza del fenomeno di sfondellamento; distacco evidente dell'intradosso con rigonfiamento dell'intonaco; fessure e crepe si allargano e/o si muovono vistosamente durante la battitura nelle zone limitrofe al danno rilevato e si verifica caduta di materiale durante le indagini);
- **Rischio alto** (ad esempio distacco evidente dell'intradosso con rigonfiamento dell'intonaco; fessure e crepe si allargano e/o si muovono durante la battitura nelle zone limitrofe al danno rilevato; sussiste un rischio concreto di caduta di materiale);
- **Rischio medio** (ad esempio fessure e cavillature superficiali sull'intonaco senza particolari segni di deperimento e senza movimenti sullo strato di intradosso; presenza di infiltrazioni, anche diffuse, che non pregiudicano la coesione l'impasto e l'aderenza al supporto);
- **Rischio basso** (ad esempio difetti visivi o micro fessurazioni superficiali limitate al solo strato dell'intonaco; infiltrazioni non recenti e/o localizzate);
- **Rischio non significativo.**

### 2.3 PROTOCOLLO PROCEDURALE PROPOSTO CON VERIFICA STATICA/ANALITICA

Nel presente lavoro il protocollo procedurale esposto nella nota [14] è stato esteso fino alla fase di verifica statico/analitica del solaio, come mostrato schematicamente nella figura seguente. Dal grafico si evince chiaramente come le attività salienti del protocollo siano perfettamente in linea con le metodologie operative suggerite nei Capitolati tecnici, di cui ai paragrafi precedenti.

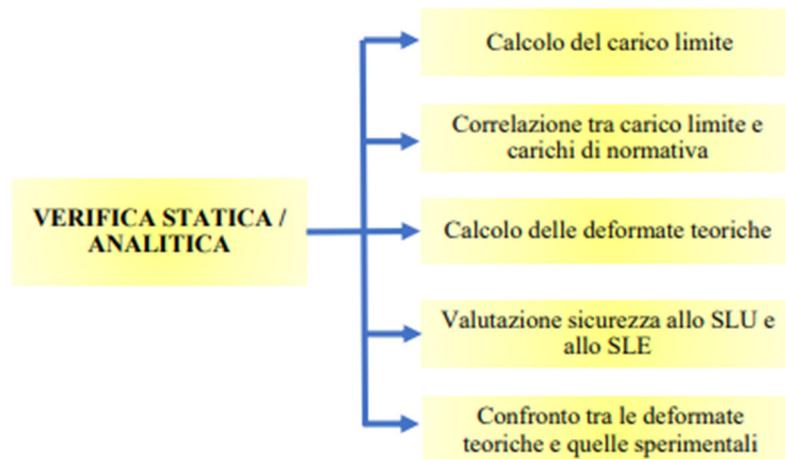
In particolare, si prevedono il rilievo geometrico dei campi di solaio oggetto di verifica, il rilievo strutturale, il rilievo dell'eventuale quadro fessurativo e/o degli ammaloramenti, il piano di indagini non distruttive NDT sugli elementi costitutivi del solaio, l'interpretazione dei risultati strumentali, la perimetrazione delle aree soggette ad anomalie con classificazione del livello di danno e di rischio ed infine la verifica statica/analitica del solaio.

Quest'ultimo aspetto potrà essere affrontato assumendo un livello di conoscenza sui materiali in termini di parametri meccanici che parte dal livello minimo ottenuto imponendo parametri meccanici dell'epoca di realizzazione dell'opera sino ad impiegare parametri propri delle sezioni resistenti dell'impalcato di piano, ottenuti con campagne di prelievi di acciai e calcestruzzi escludendo di fatto prelievi sui pilastri che presentano ovviamente materiali diversi per epoca di getto.



La procedura proposta, in linea a quanto previsto dal CONSIP, è avvalorata dall'utilizzo dell'indagine acustica strumentale, che consente, secondo criteri comparativi, il riconoscimento delle aree danneggiate all'intradosso.

Le prove di carico sul solaio, trattate in maniera rilevante nel Capitolato Ministeriale, non vengono considerate invece nel protocollo proposto, se non in condizioni estreme o in condizioni di post-consolidamento. In tal caso il tecnico responsabile delle indagini, potrà valutare se eseguirla o meno, previa disponibilità delle geometrie dei volumi resistenti e dei parametri meccanici dei materiali. Allora nel caso in cui ci siano le condizioni favorevoli per l'esecuzione di una prova di carico, nella parte di verifica statica/analitica sarà addizionato un confronto tra le deformate teoriche e quelle sperimentali che rappresentano l'ultimo punto.



Si precisa che, la prova di carico resta comunque, a parere di chi scrive, una pratica da sconsigliare, che seppur affrontata con tutti i dovuti accorgimenti, porta con se punti oscuri dati dall'incertezza di esecuzione dei collegamenti e dei particolari costruttivi nelle membrature resistenti.

Nel documento del CONSIP viene annoverata la possibilità di impiegare anche l'indagine strumentale dinamica come tecnica per verificare la consistenza dei solai. All'interno del protocollo proposto, questa tipologia di attività sperimentale non è contemplata, perché, nonostante sia considerata dagli scriventi un'indagine molto affidabile, è ritenuta in questo contesto una prova di alta portata rispetto agli obiettivi da perseguire, il cui utilizzo farebbe lievitare enormemente i costi.

Si tratta, infatti, di un'indagine altamente specialistica il cui impiego dovrà essere confinato esclusivamente ad un'attività comparativa. Valutare prioritariamente sul continuo bidimensionale i parametri dinamici rappresentativi teorici (frequenze e modi propri di vibrare) attraverso un approccio numerico e successivamente, mediante l'applicazione in opera di accelerometri, acquisire, trattare e interpretare per svolgere un'attività di tipo comparativo, non è argomento banale. L'impegno di strumenti ad alto costo e di competenze specialistiche comportano una esposizione di costi con incidenze percentuali non compatibili con il valore della porzione di opera

Per quanto attiene alla classificazione del rischio proposta, manca rispetto a quella del CONSIP del livello "Dissesto in atto", in quanto a tale condizione di evidenza è inutile associare un rischio presunto, questa parte è implicitamente contenuta nella fase di perimetrazione delle aree. È stato escluso anche il livello di "Rischio non significativo", perché così classificato potrebbe essere inteso come un rischio senza tempo. Gli scriventi volutamente hanno escluso questa voce per mettere in conto che la condizione di "non significatività" possa mutare in rischio conclamato. I livelli di rischio proposti sono classificati semplicemente come alto, medio e basso, così da fare intendere già con la terminologia che è presente un rischio e che la zona interessata deve essere monitorata periodicamente.

Ovviamente con i risultati offerti dall'applicazione del protocollo sarà immediato effettuare una proposta di intervento con la valutazione di massima sia dell'importo economico che della tempistica necessaria per il ripristino delle aree danneggiate.

### 3. CONTROLLO IN OPERA DEI SOLAI MEDIANTE TECNICHE NDT: CASI REALI DI STUDIO

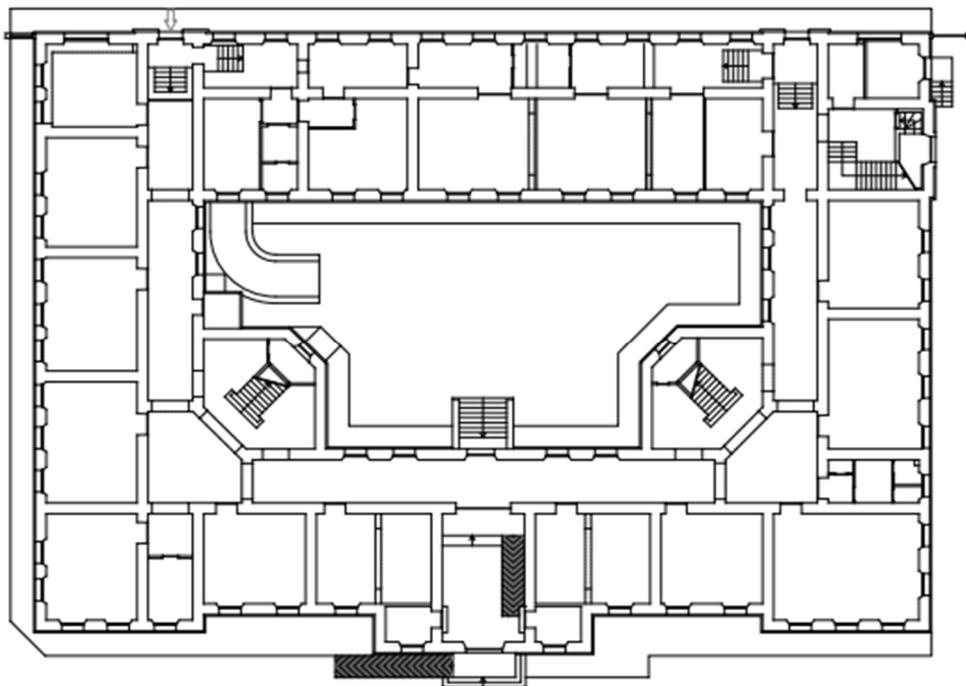
Gli scriventi con la disponibilità del protocollo procedurale, ampiamente discusso in tutti gli aspetti tecnici e operativi, hanno avviato una intensa attività sul campo a casi reali di studio per controllare le effettive condizioni statiche dei solai attraverso una campagna di indagini sperimentali e una verifica statica/analitica, perimetrandone le aree soggette a danno e a potenziale rischio. Lo scopo ultimo sarà quello di dimostrarne la validità del protocollo proposto anche in riferimento ai diversi casi costruttivi di solaio in latero-cemento, ossia: tipo gettato in opera, tipo con travetti precompressi o tralicciati e tipo a cassa vuota.

Nelle sezioni seguenti pertanto, dopo aver effettuato una breve descrizione degli immobili oggetto della sperimentazione, per ogni caso verrà descritto il piano di indagine, saranno riportati i risultati sperimentali più importanti per la definizione delle sezioni resistenti dei solai e per l'individuazione delle zone interessate da anomalie. Per brevità di esposizione non si entrerà in merito all'esecuzione della verifica statica/analitica, ma si arresterà la trattazione con la restituzione di alcuni esempi di mappatura che riportano graficamente la classificazione del danno e del rischio per ogni ambiente.

#### 3.1 CONTROLLO DEI SOLAI SU LICEO CLASSICO "PITAGORA"

L'immobile scolastico oggetto di studio è ubicato nel Comune di Crotona, precisamente in piazza Umberto I. L'edificio è costituito da un corpo di fabbrica con estensione totale in pianta di circa 1570 mq, si sviluppa su due livelli fuori terra con un seminterrato per un'altezza massima della gronda rispetto al piano campagna di circa 11,80 m.

Le attività di rilievo geometrico hanno restituito elaborati grafici di piante, sezioni e prospetti dell'edificio, di cui se ne riportano i più rappresentativi, a titolo di esempio, nelle seguenti figure.

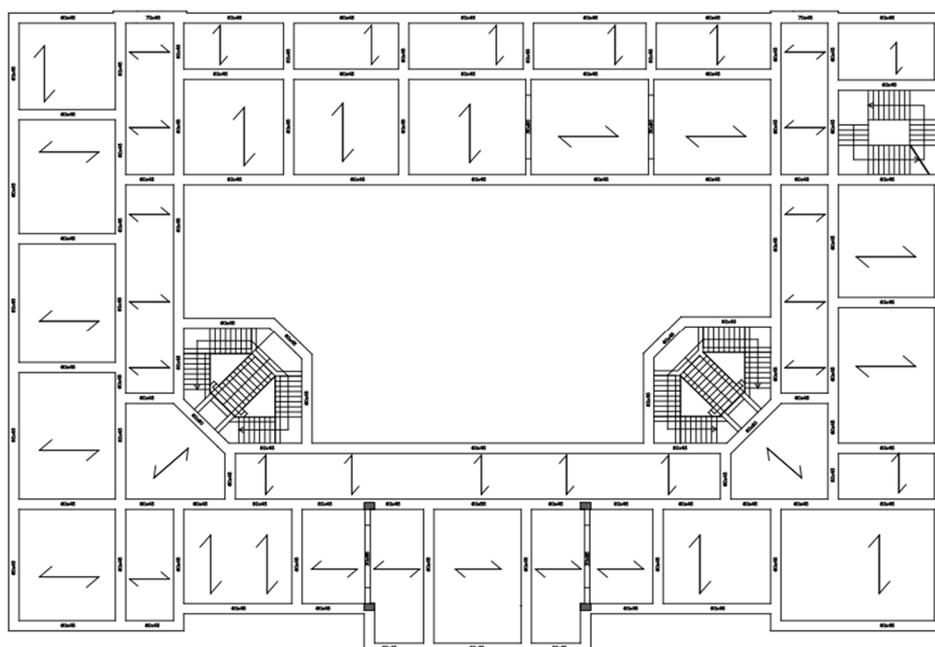


*Fig. 1 - Pianta tipo dell'edificio.*



*Fig. 2 - Prospetto principale dell'edificio.*

Con le attività di rilievo strutturale è stato possibile individuare le orditure dei solai, ricostruire gli orizzontamenti, identificando le singole specchiature di solaio da sottoporre a diagnosi e verifica statica.



*Fig. 3 - Carpenteria tipo: 2° impalcato.*

Con riferimento al protocollo procedurale adottato è stato redatto un piano di indagine per la diagnosi degli intradossi dei solai, che ha previsto l'esecuzione in ordine cronologico delle seguenti indagini:

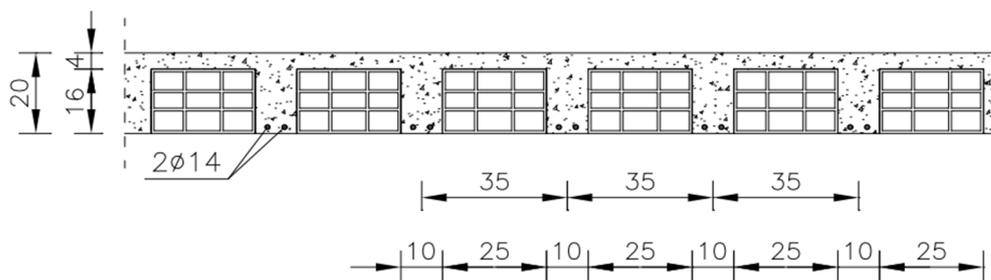
- Indagini visive: finalizzate alla identificazione dei quadri fessurativi e del degrado presente sugli intradossi dei solai;
- Indagini termografiche, pacometriche, endoscopiche e saggi esplorativi: finalizzate alla ricostruzione delle sezioni resistenti;
- Indagini di battitura manuale e strumentale: finalizzate alla individuazione di aree con anomalie.

Non è stato possibile estendere il piano di indagine alla caratterizzazione meccanica dei materiali, trattandosi di un edificio monumentale sottoposto a tutela, per cui per eseguire la verifica sono stati adottati valori guida delle caratteristiche meccaniche relativi all'epoca di costruzione dell'immobile.

Con l'indagine endoscopica e i saggi esplorativi è stato possibile ricostruire la sezione resistente del solaio e quindi la tipologia costruttiva di solaio in latero-cemento gettato in opera. In particolare, sono stati determinati spessori e geometrie, quali dimensioni dei travetti e degli elementi di alleggerimento, per come riportato nelle seguenti immagini.

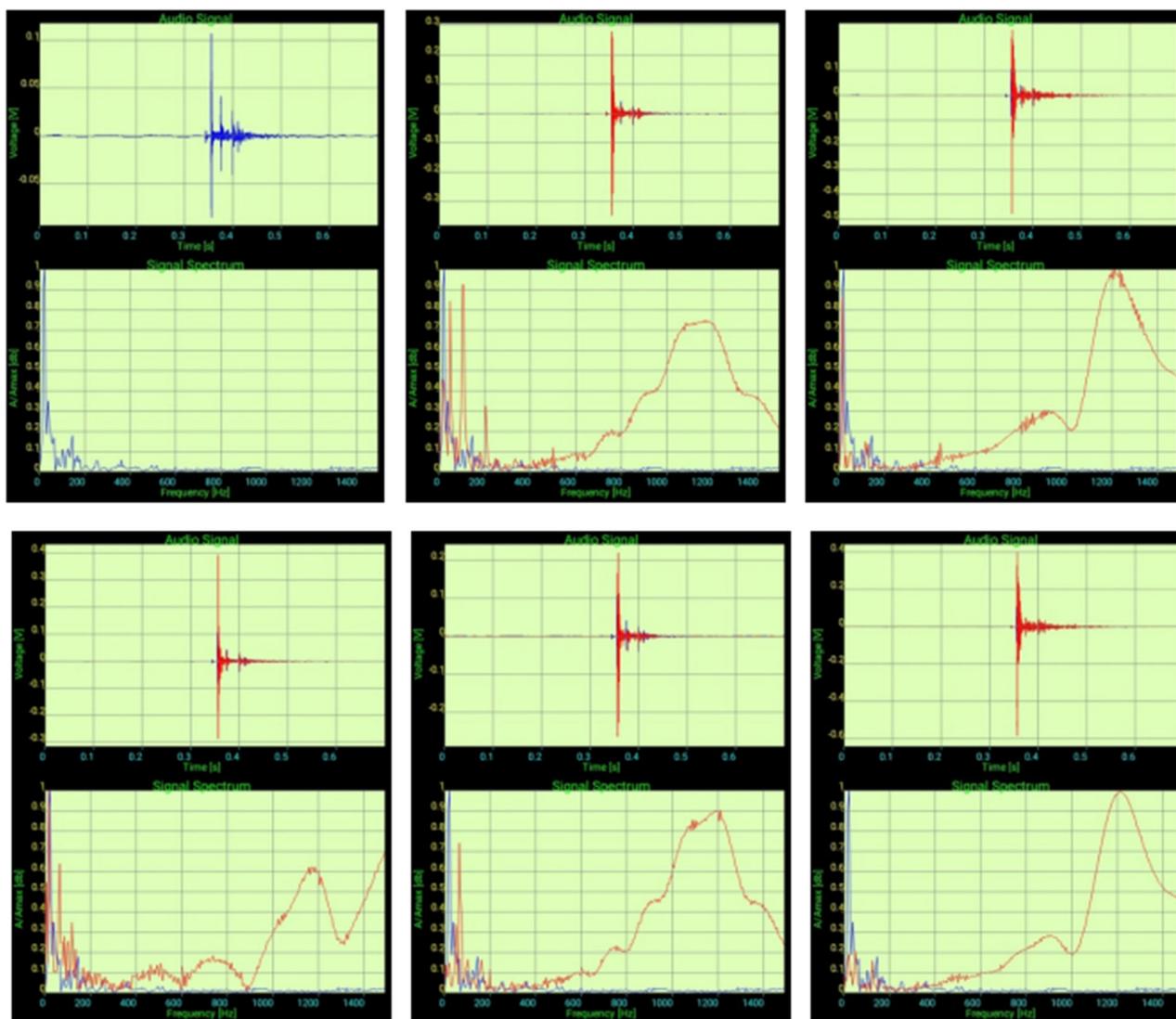


*Fig. 4 - Alcune immagini dei saggi esplorativi sui solai.*



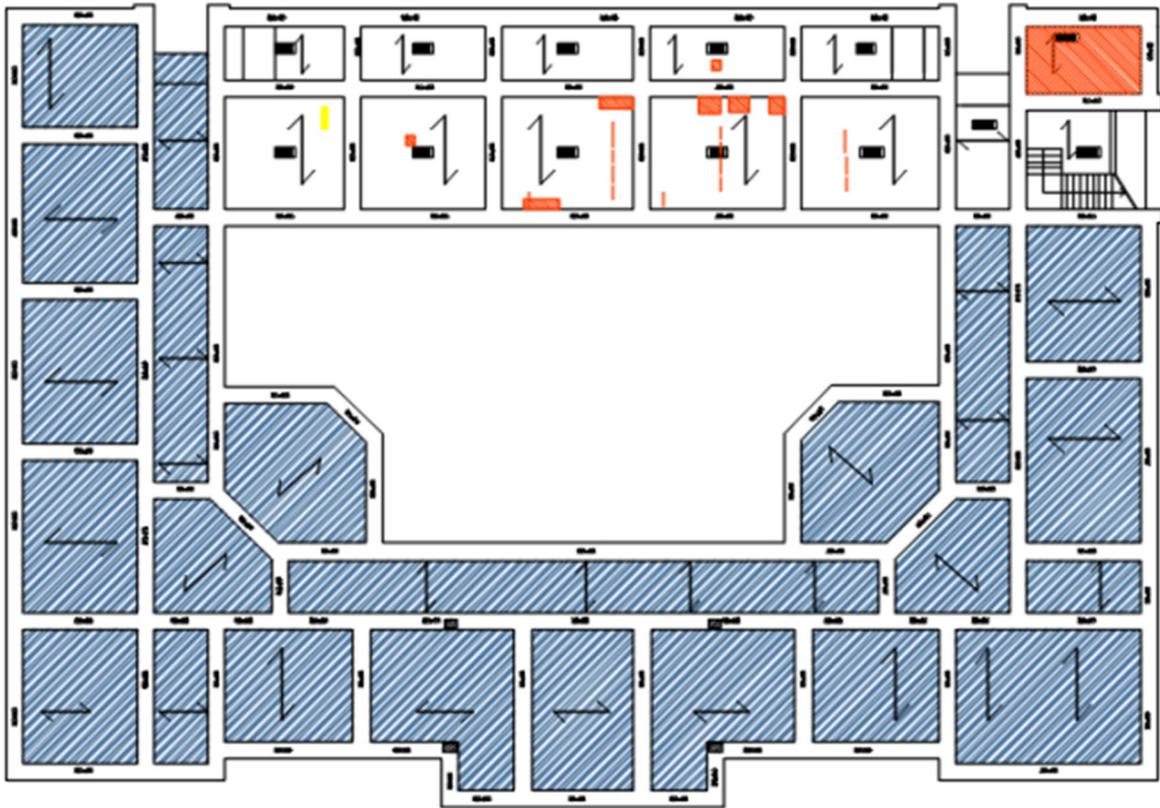
*Fig. 5 – Particolare sezione resistente tipo del solaio gettato in opera.*

Le indagini di battitura manuale e strumentale hanno rilevato complessivamente la presenza di potenziale distacco di intonaco, copriferro e/o sfondellamento sugli intradossi. L'indagine di battitura strumentale ha avuto lo scopo di affinare e analizzare puntualmente le informazioni su eventuali fenomeni distacco di intonaco e/o sfondellamento rilevati nella fase di battitura manuale. In questa fase di indagine sono stati acquisiti i segnali di riferimento sui punti, rilevati come potenzialmente integri nella precedente battitura manuale. Si riportano di seguito alcune sovrapposizioni tra il segnale guida riferito a zone integre e i segnali acquisiti sui componenti del solaio.



*Fig. 6 – Segnale di riferimento e segnali acquisiti su aree con anomalia.*

Le diverse condizioni di danneggiamento segnalate con le singole attività di indagine, sono state perimetrare e rappresentate in un unico elaborato grafico, per come mostrano a titolo di esempio le seguenti mappature delle aree di danno e delle aree di rischio.



**LEGENDA**

- QUADRO FESSURATIVO
- ESPOLIAZIONE DI PITTURA
- UMIDITÀ
- POTENZIALE DISTACCO DI INTONACO
- POTENZIALE DISTACCO DI INTONACO E STUCCO
- POTENZIALE DISTACCO DI INTONACO, COPRIFERRO E/O SFONDELLAMENTO
- POTENZIALE DISTACCO LATERALE PANNELLO
- POTENZIALE DISTACCO PANNELLO
- UMIDITÀ SULLA CONTROSOFFITTATURA

**LEGENDA**

- AREE NON ACCESSIBILI

Fig. 7 - Perimetrazione aree di danno – Carpenteria 1° Impalcato.

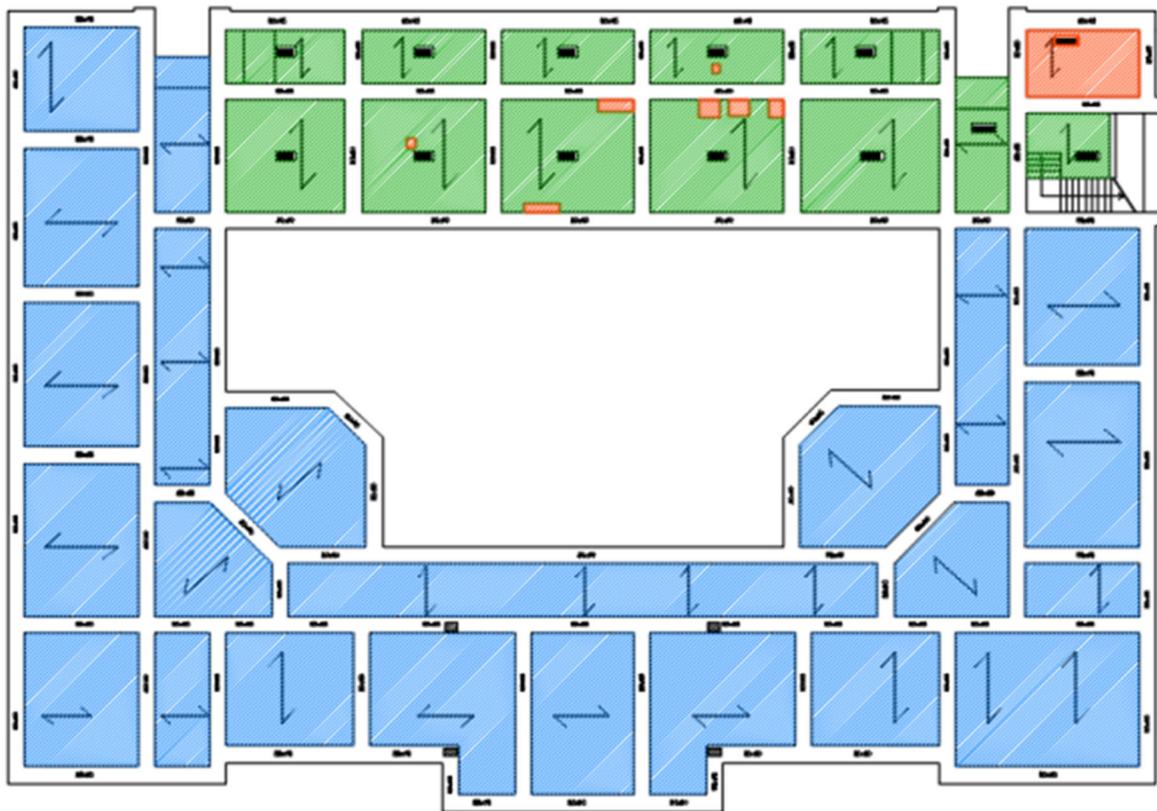


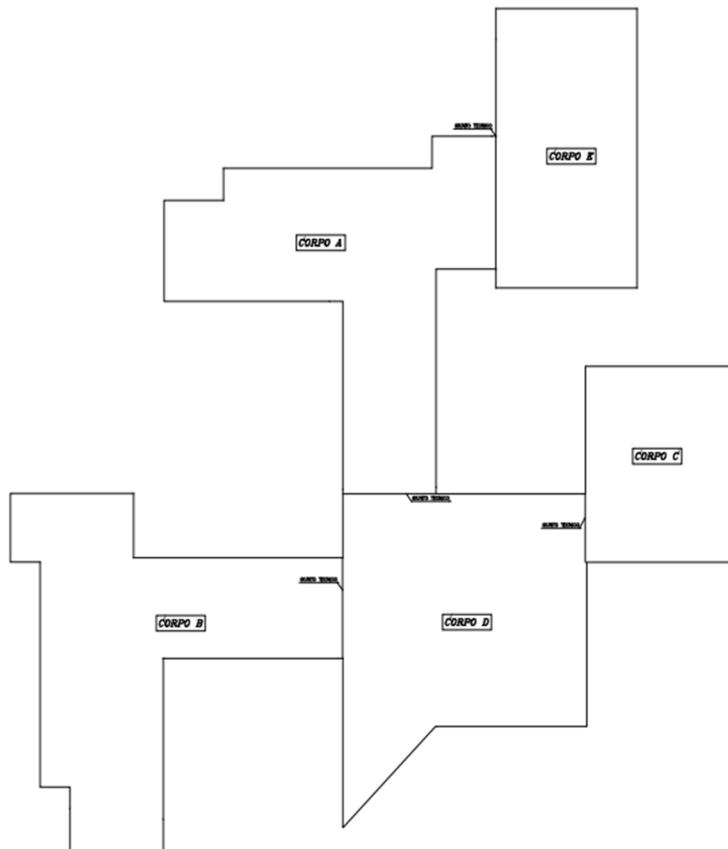
TABELLA DI RIEPILOGO CARPENTERIA I IMPALCATO (PIANO SEMINTERRATO)		LEGENDA LIVELLO DI RISCHIO ASSOCIATO AL DISTACCO DI INTONACO E AL POTENZIALE SPONDELLAMENTO			
SUPERFICI AD ALTO LIVELLO DI RISCHIO	mq 21 PARI AL 2%	<span style="color: green;">■</span> RISCHIO BASSO	<span style="color: orange;">■</span> RISCHIO ALTO	<span style="color: blue;">■</span> RISCHIO NON CLASSIFICABILE	
SUPERFICI A MEDIO LIVELLO DI RISCHIO	mq 0 PARI ALLO 0%	<span style="color: yellow;">■</span> RISCHIO MEDIO			
SUPERFICI A BASSO LIVELLO DI RISCHIO	mq 262 PARI AL 24%				
SUPERFICI CON RISCHIO NON CLASSIFICABILE	mq 794 PARI AL 74%				

Fig. 8 - Perimetrazione aree di rischio – Carpenteria 1° Impalcato.

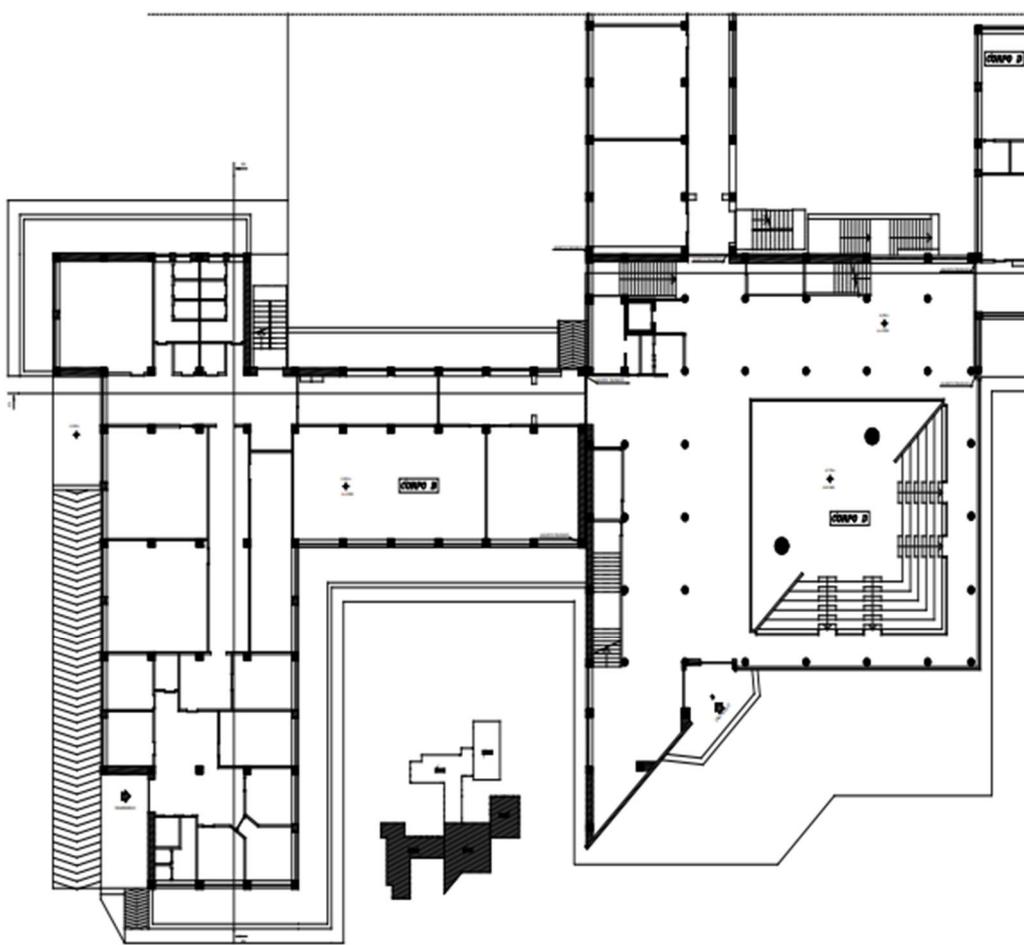
### 3.2 CONTROLLO DEI SOLAI SU ISTITUTO TECNICO PER GEOMETRI "PERTINI-SANTONI"

L'immobile scolastico oggetto di studio è ubicato nel Comune di Crotone, in Via G. Da Fiore. L'edificio scolastico è costituito da cinque corpi di fabbrica, giuntati tra loro. L'immobile presenta un'estensione totale in pianta di circa 3425 mq e si sviluppa in altezza su tre livelli fuori terra, oltre un piano seminterrato il quale interessa solo due corpi di fabbrica.

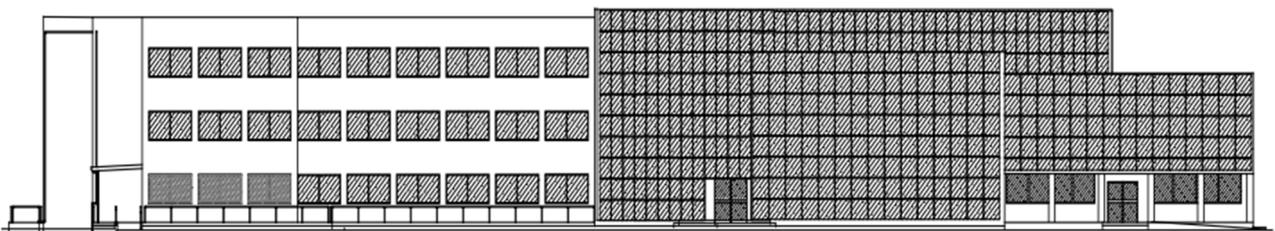
Le attività di rilievo geometrico hanno restituito elaborati grafici di piante, sezioni e prospetti dell'edificio, di cui se ne riportano i più rappresentativi, a titolo di esempio, nelle seguenti figure.



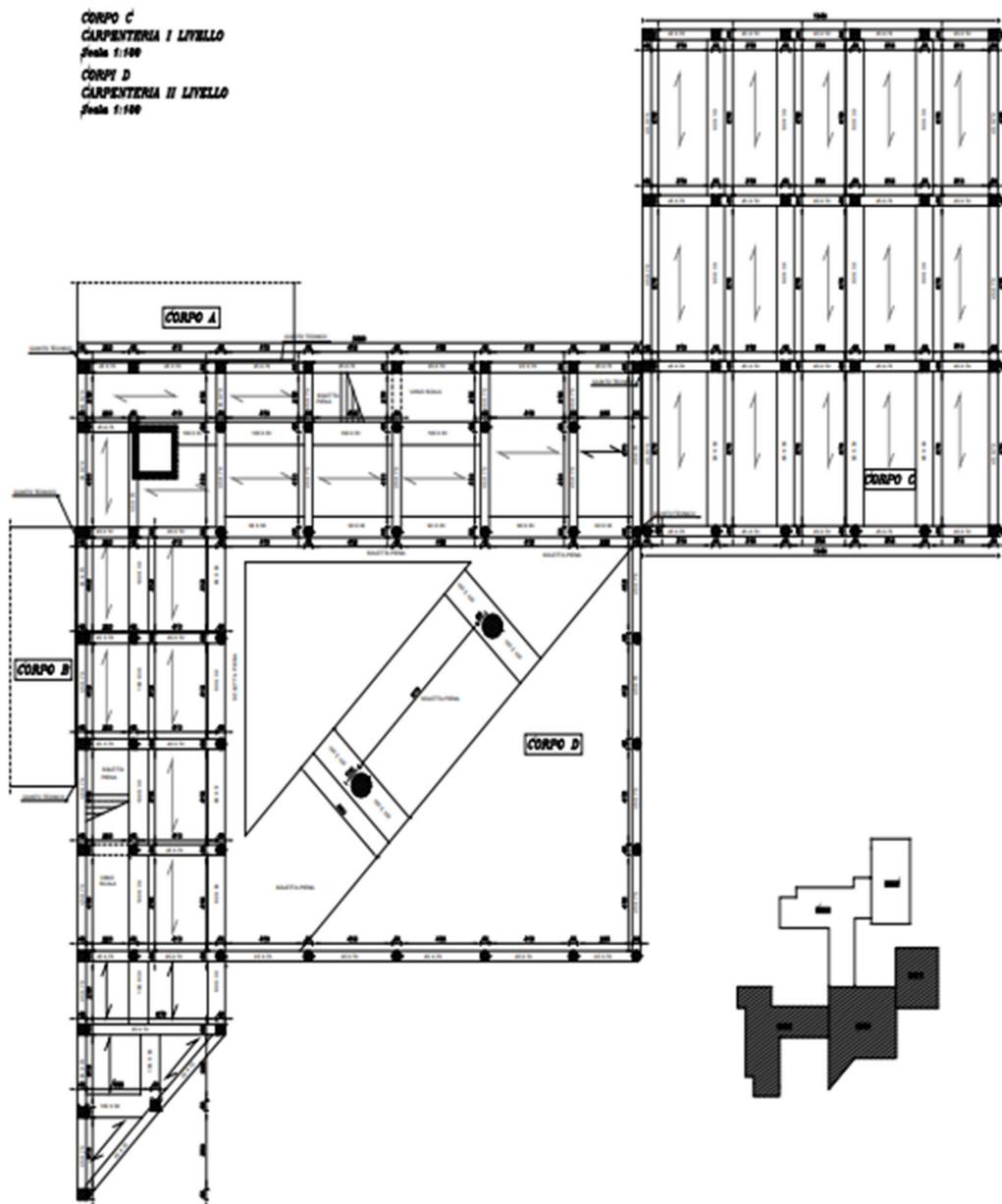
*Fig. 9 – Ingombro in Pianta dell'edificio scolastico e corpi di fabbrica.*



*Fig. 10 – Pianta Piano Terra Corpi B e D.*



*Fig. 11 – Prospetto Ovest.*



*Fig. 12 – Carpenteria 1° livello Corpo C e Secondo Livello Corpo D.*

Con riferimento al protocollo procedurale adottato è stato redatto un piano di indagine per la diagnosi degli intradossi dei solai, che ha previsto l'esecuzione in ordine cronologico delle seguenti indagini:

- Indagini visive: finalizzate alla identificazione dei quadri fessurativi e del degrado presente sugli intradossi dei solai;
- Indagini termografiche, pacometriche, endoscopiche e saggi esplorativi: finalizzate alla ricostruzione delle sezioni resistenti;
- Indagini di battitura manuale e strumentale: finalizzate alla individuazione di aree con anomalie.

Il piano di indagine ha incluso anche le prove di caratterizzazione dei materiali, di cui se ne riportano, nella seguente tabella, i parametri meccanici ottenuti sia sui calcestruzzi che sugli acciai.

Parametri Meccanici Medi Calcestruzzi e Acciai Geometra Via G. da Fiore		
Corpo di Fabbrica	Calcestruzzo ( $N/mm^2$ )	Acciaio ( $N/mm^2$ )
Corpo A	14,36	468,30
Corpo B	12,10	504,00
Corpo C	18,60	501,00
Corpo D	14,74	473,35

L'indagine visiva ha permesso di identificare e rilevare i quadri fessurativi e i diversi fenomeni di degrado presenti sugli intradossi dei solai investigati.



Foto 13 – Presenza di Quadri Fessurativi, umidità e distacco di Intonaco.

Con l'indagine endoscopica, i saggi esplorativi e le indagini pacometriche è stato possibile ricostruire la sezione resistente del solaio e quindi la tipologia costruttiva di solaio in latero-cemento con travetti in c.a.p.

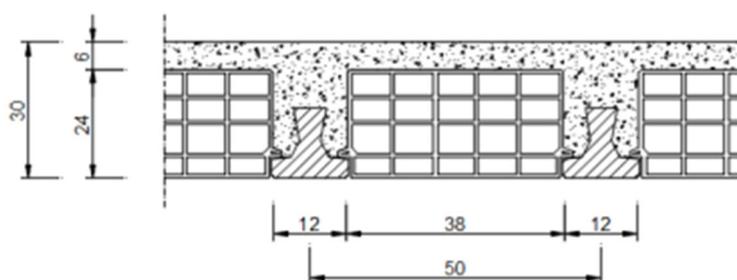


Fig. 14 – Particolare sezione resistente tipo del solaio in latero – cemento a travetti precompressi.

Le indagini di battitura manuale e strumentale hanno rilevato complessivamente la presenza di potenziale distacco di intonaco, o e/o sfondellamento di pignatte. Durante l'indagine di battitura strumentale sono stati acquisiti i segnali guida riferiti ai punti potenzialmente integri, per come rilevato nella precedente battitura manuale, e successivamente sovrapposti ai segnali acquisiti sulle porzioni di solaio potenzialmente danneggiate.

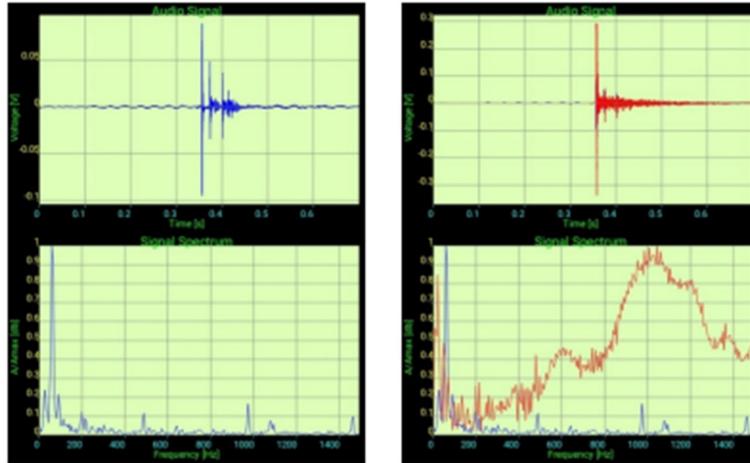


Fig. 15 – Esecuzione indagine battitura strumentale.

Si riporta di seguito, a titolo di esempio, le mappature delle aree di danno e delle aree di rischio nel primo livello.

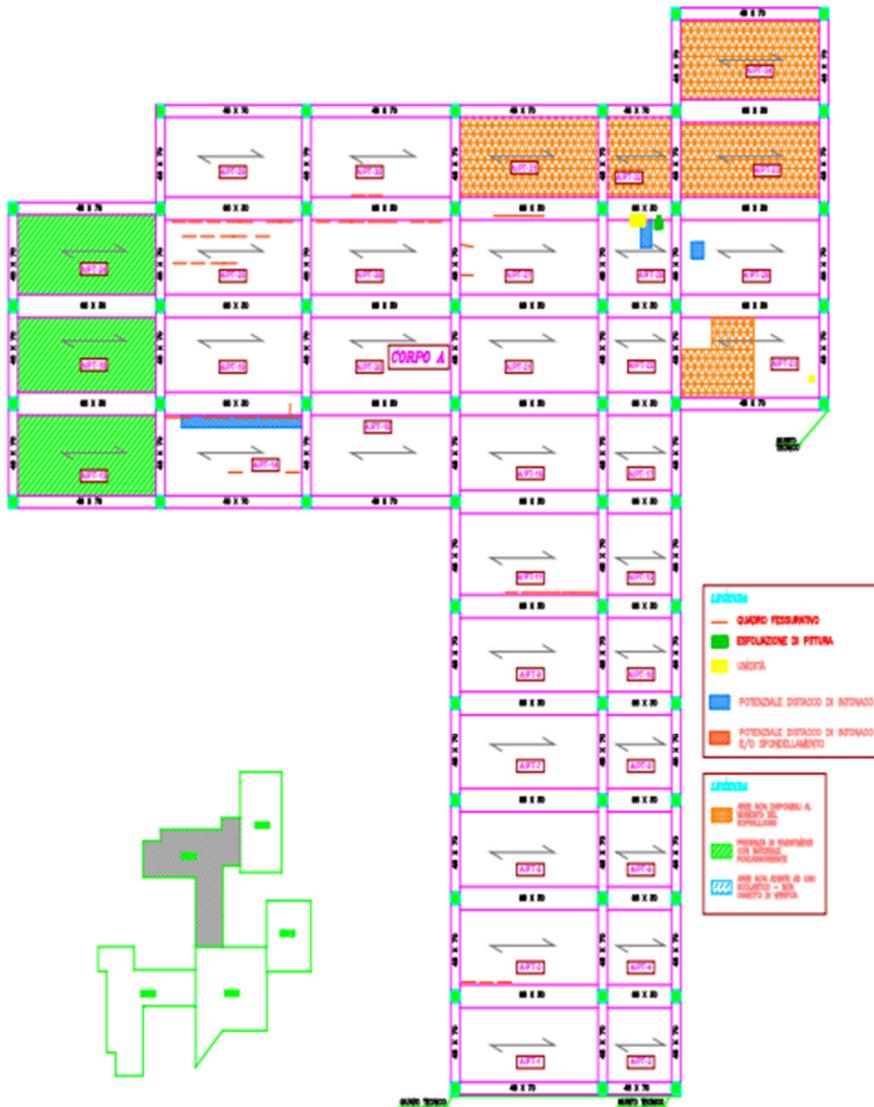


Fig. 16 - Perimetrazione aree di danno Corpo A – Carpenteria I Livello.

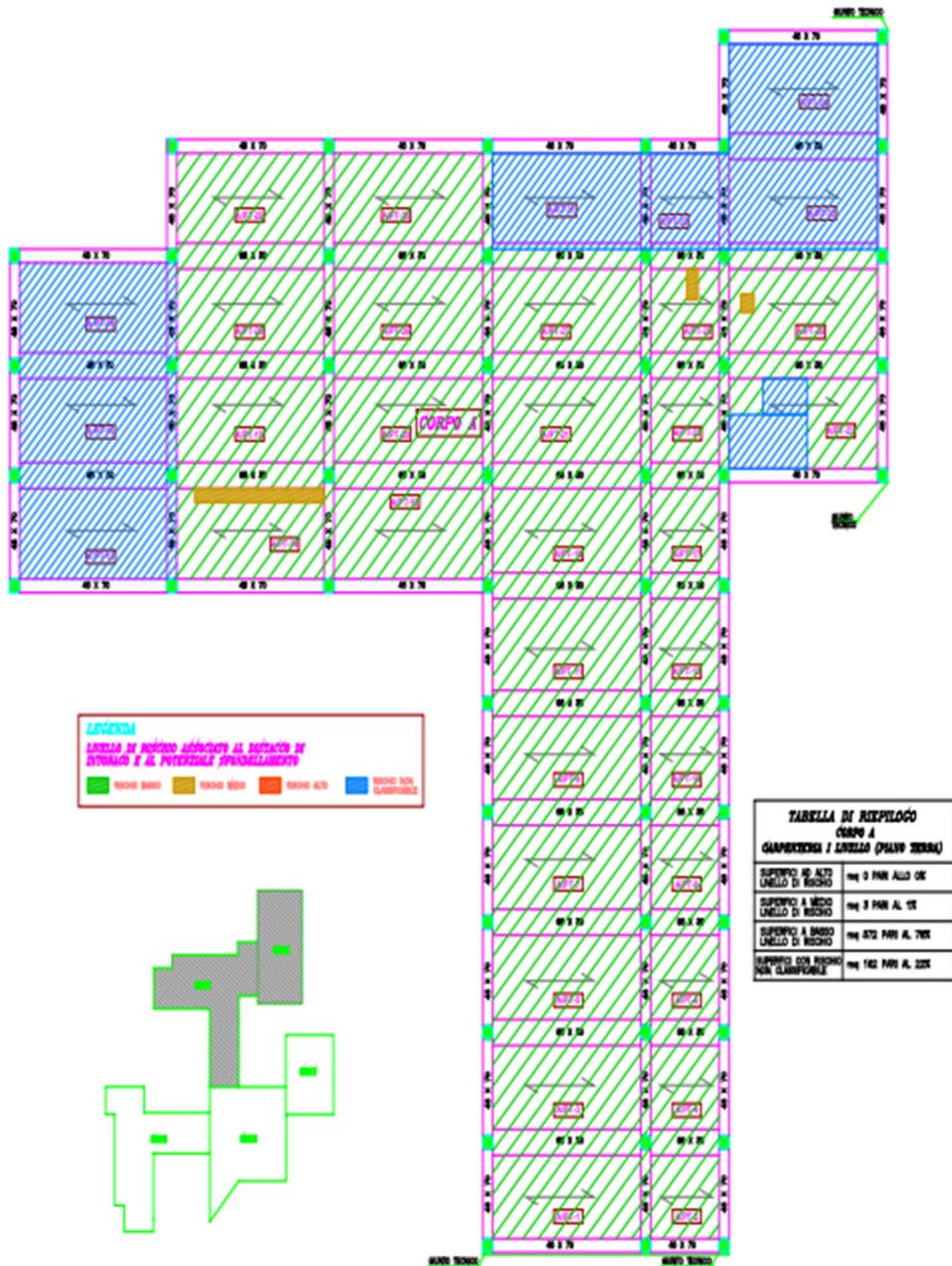
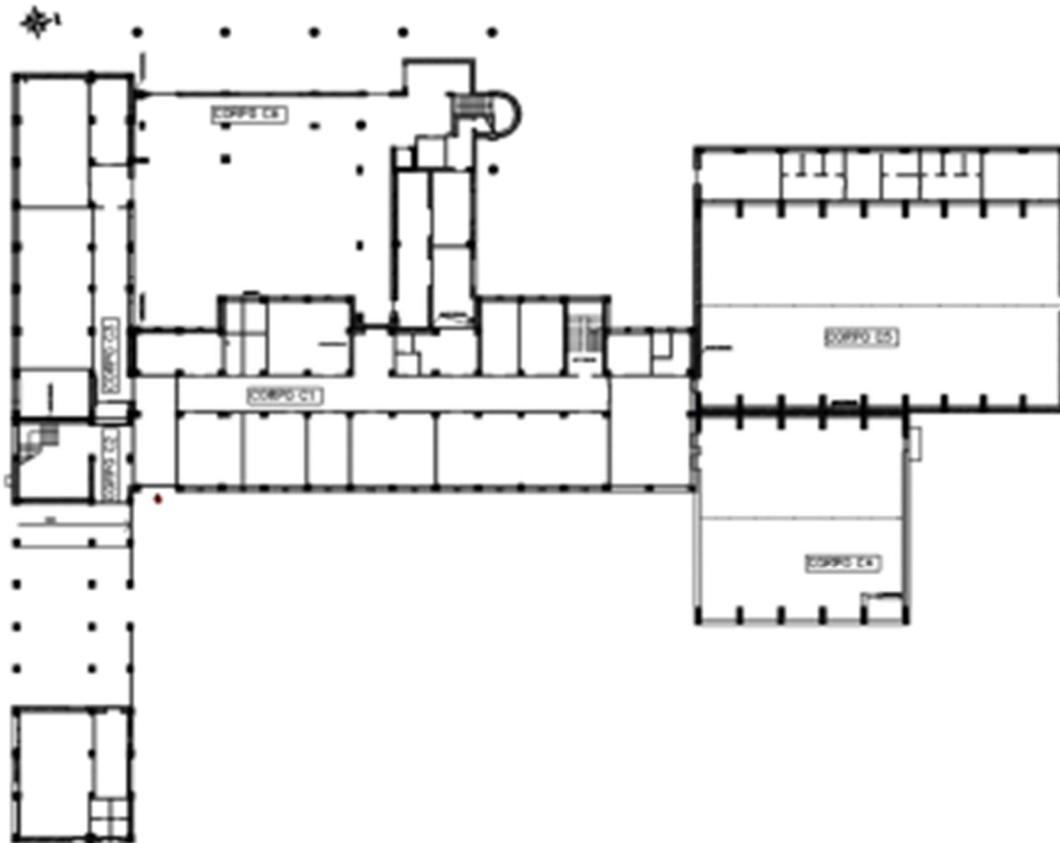


Fig. 17 - Perimetrazione aree di rischio Corpo A – Carpenteria I Livello.

### 3.3 CONTROLLO DEI SOLAI SU ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE “A. LUCIFERO”

L'immobile scolastico oggetto di studio è ubicato nel Comune di Crotona in via G. Carducci. L'edificio è costituito da sei corpi di fabbrica, con un'estensione in pianta di circa 3150 mq e si sviluppa su quattro livelli fuori terra, per un'altezza massima della gronda rispetto al piano campagna di circa 16,00 m.

Le attività di rilievo geometrico hanno restituito elaborati grafici di piante, sezioni e prospetti dell'edificio, di cui se ne riportano i più rappresentativi, a titolo di esempio, nelle seguenti figure.



*Fig. 18 – Pianta Piano Terra.*



*Fig. 19 – Prospetto Sud.*

Analogamente ai precedenti casi studio anche per questo istituto sono state previste indagini visive, termografiche, pacometriche, endoscopiche, saggi esplorativi, indagini di battitura manuale e strumentale.

Il piano di indagine ha incluso anche le prove di caratterizzazione sui materiali, di cui se ne riportano i parametri meccanici ottenuti sia sui calcestruzzi che sugli acciai nella seguente tabella.

PARAMETRI MECCANICI DA IMPIEGARE NELLA VERIFICA STATICA-ANALITICA DEI SOLAI		
CORPO 1		
PIANO TERRA	CALCESTRUZZO:41,6 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO PRIMO	CALCESTRUZZO:31,2 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO SECONDO	CALCESTRUZZO:30,1 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
CORPO 2		
PIANO TERRA	CALCESTRUZZO:38,8 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO PRIMO	CALCESTRUZZO:31,3 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO SECONDO	CALCESTRUZZO: 47,0N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO TERZO	CALCESTRUZZO: 44,8N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
CORPO 3		
PIANO TERRA	CALCESTRUZZO:48,7 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO PRIMO	CALCESTRUZZO: 31,3 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO SECONDO	CALCESTRUZZO: 29,6 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO TERZO	CALCESTRUZZO: 19,1 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
CORPO 6		
PIANO TERRA	CALCESTRUZZO: 39,2 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO PRIMO	CALCESTRUZZO:30,8 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>
PIANO SECONDO	CALCESTRUZZO: 27,5 N/mm <sup>2</sup>	ACCIAIO: 408,9 N/mm <sup>2</sup>

L'indagine visiva ha permesso di identificare e rilevare i quadri fessurativi, distacco di intonaco, umidità ed esfoliazione di pittura.

Con l'indagine endoscopica, i saggi esplorativi e le indagini pacometriche è stato possibile ricostruire la sezione resistente dei solai, da cui sono emerse due tipologie costruttive di solaio in latero-cemento, ossia quella con travetti tralicciati e quella con travetti precompressi.



*Fig. 20 – Alcune immagini delle indagini endoscopiche e saggi esplorativi eseguiti.*

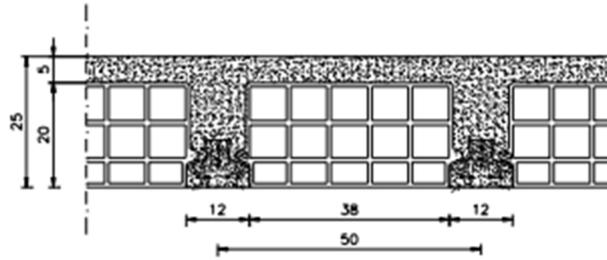


Fig. 21 - Sezione resistente solai-Tipologia 1.

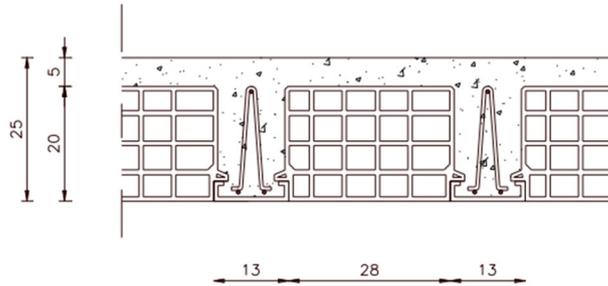


Fig. 22 - Sezione resistente solai-Tipologia 2.

Le indagini di battitura manuale e strumentale sono state eseguite con la stessa metodologia operativa dei casi precedenti. Si riportano di seguito le immagini di esecuzione della prova acustico strumentale i risultati ottenuti in termini di grafici.

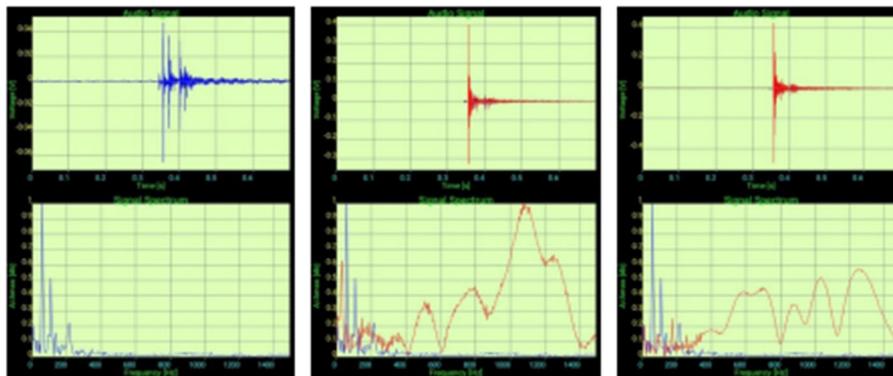


Fig. 23 — Segnale di riferimento e segnali area con anomalia.

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, alcune mappature delle aree di danno e delle aree di rischio.

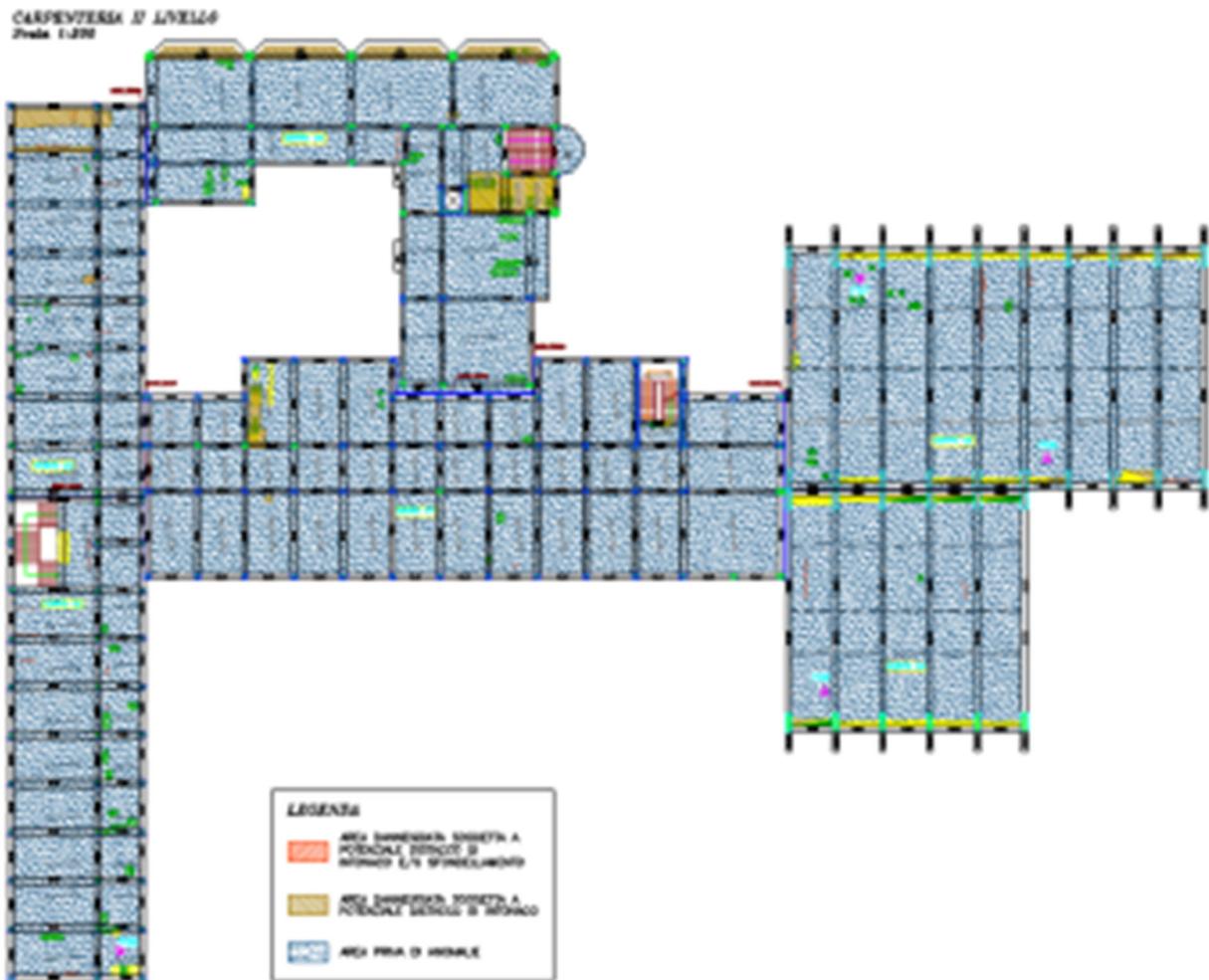


Fig. 24 -Perimetrazione aree di danno – Carpenteria 2° Livello.

CARPENTERIA II LIVELLO  
Scala 1:200

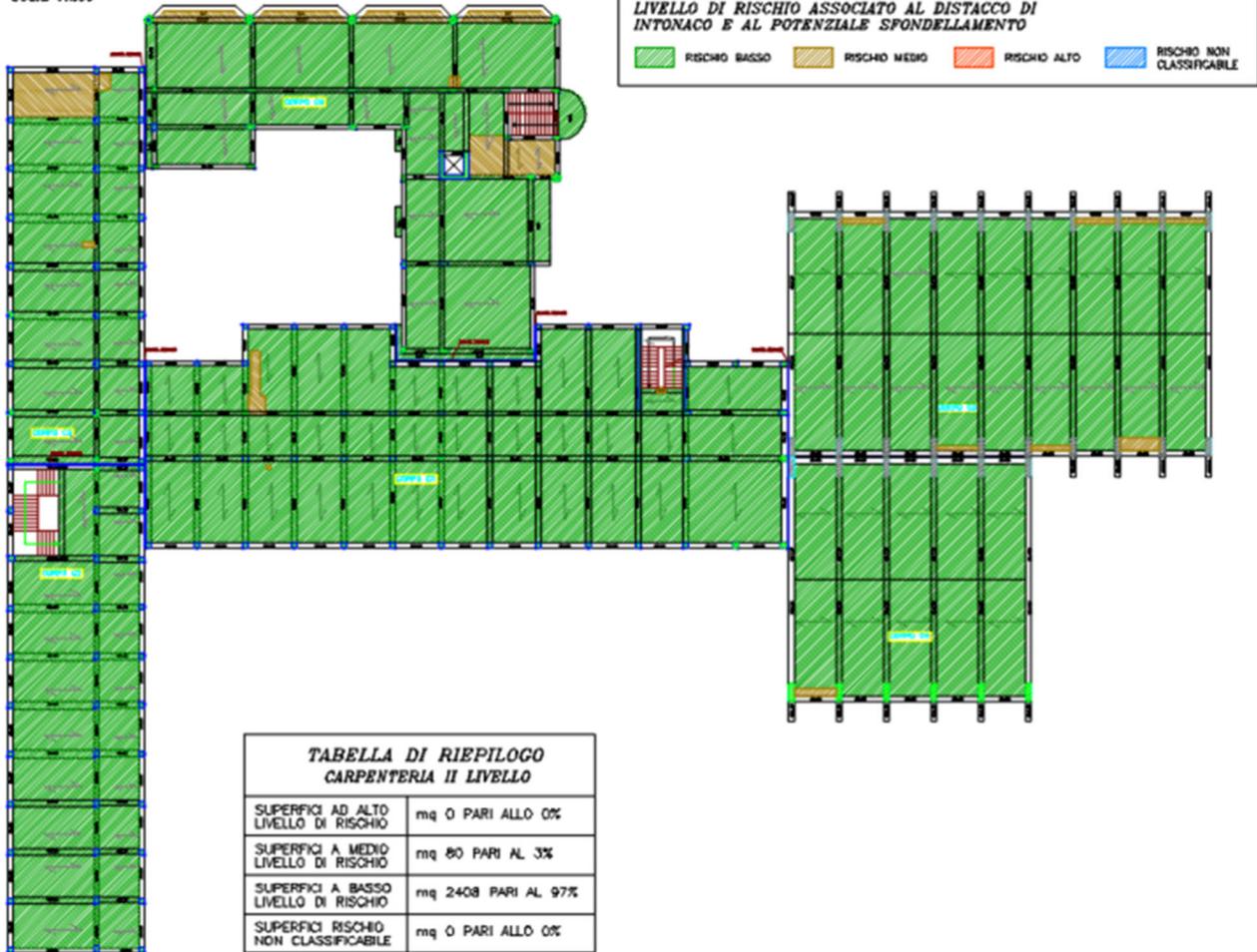


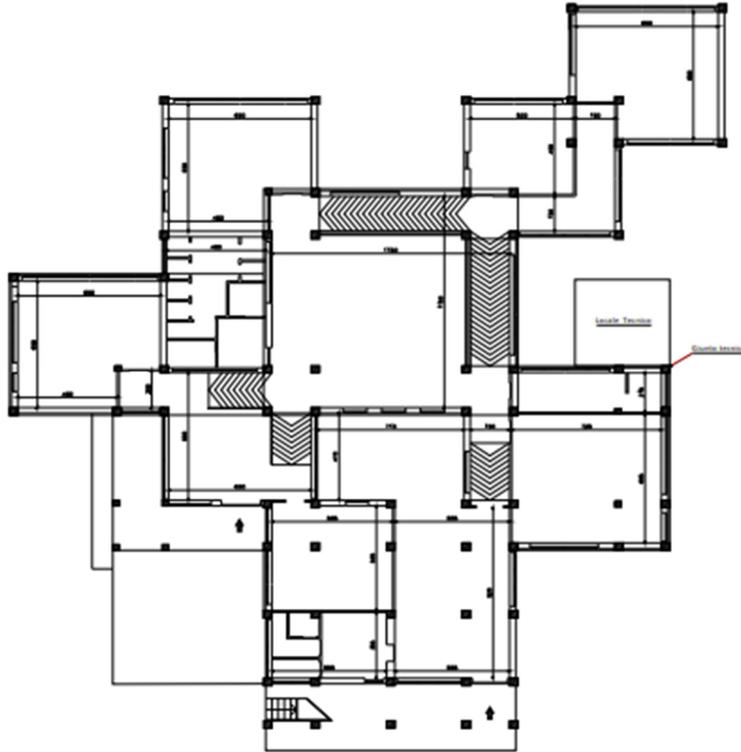
Fig. 25 -Perimetrazione aree di rischio – Carpenteria 2° Livello.

### 3.4 CONTROLLO DEI SOLAI SU SCUOLA DELL'INFANZIA VIA NAZIONALE

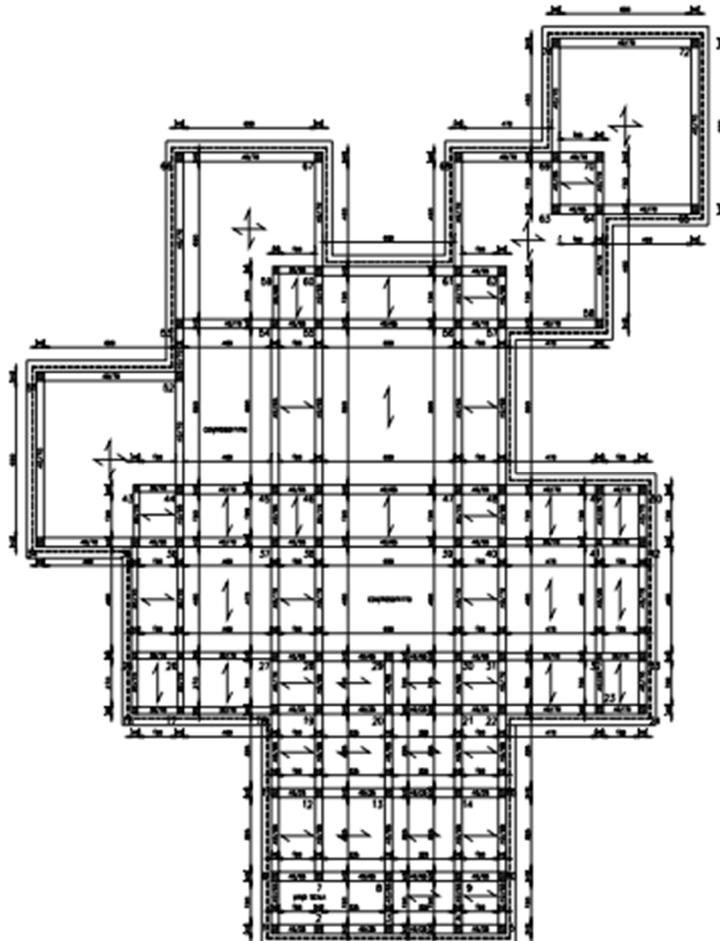
L'immobile scolastico oggetto di studio è ubicato nel Comune di Pizzo, in Via Nazionale.

L'edificio è costituito da un unico corpo di fabbrica, si sviluppa su due livelli fuori terra ed un livello seminterrato, per un'altezza massima della gronda rispetto al piano campagna di circa 6,60 m. Complessivamente presenta un'estensione in pianta di circa 870 m<sup>2</sup>.

Le attività di rilievo geometrico hanno restituito elaborati grafici di piante, sezioni e prospetti dell'edificio, di cui se ne riportano i più rappresentativi, a titolo di esempio, nelle seguenti figure.



*Fig. 26 – Pianta Piano Terra.*



*Fig. 27 – Carpenteria 2° livello.*

Il piano di indagine predisposto per il controllo degli intradossi dei solai ha previsto una serie di accertamenti da eseguire in ordine cronologico i quali consistono in: indagini visive, termografiche, pacometriche, endoscopiche, battitura manuale e strumentale.

Il piano di indagine ha incluso anche le prove di caratterizzazione sui materiali, di cui se ne riportano i parametri meccanici ottenuti sia sui calcestruzzi che sugli acciai.

<i>SPECIFICHE TECNICHE-ESECUTIVE</i>	
PARAMETRI MECCANICI DA IMPIEGARE NELLA VERIFICA STATICA-ANALITICA DEI SOLAI	
CALCESTRUZZI	
PRIMO LIVELLO	$R_c = 19,8 \text{ N/mm}^2$
SECONDO LIVELLO	$R_c = 15,7 \text{ N/mm}^2$

<i>SPECIFICHE TECNICHE-ESECUTIVE</i>
PARAMETRI MECCANICI DA IMPIEGARE NELLA VERIFICA STATICA-ANALITICA DEI SOLAI
ACCIAI
$F_y = 331 \text{ N/mm}^2$

Con l'indagine endoscopica, i saggi esplorativi e le indagini pacometriche è stato possibile ricostruire la sezione resistente della tipologia di solaio in latero-cemento a cassa vuota.

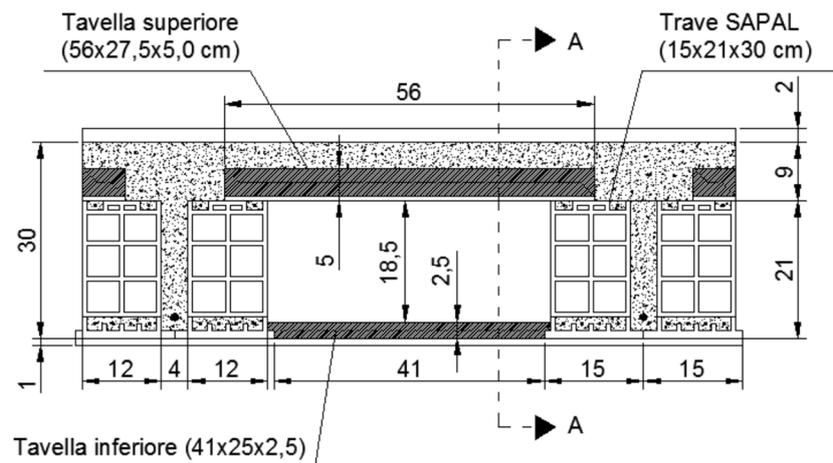


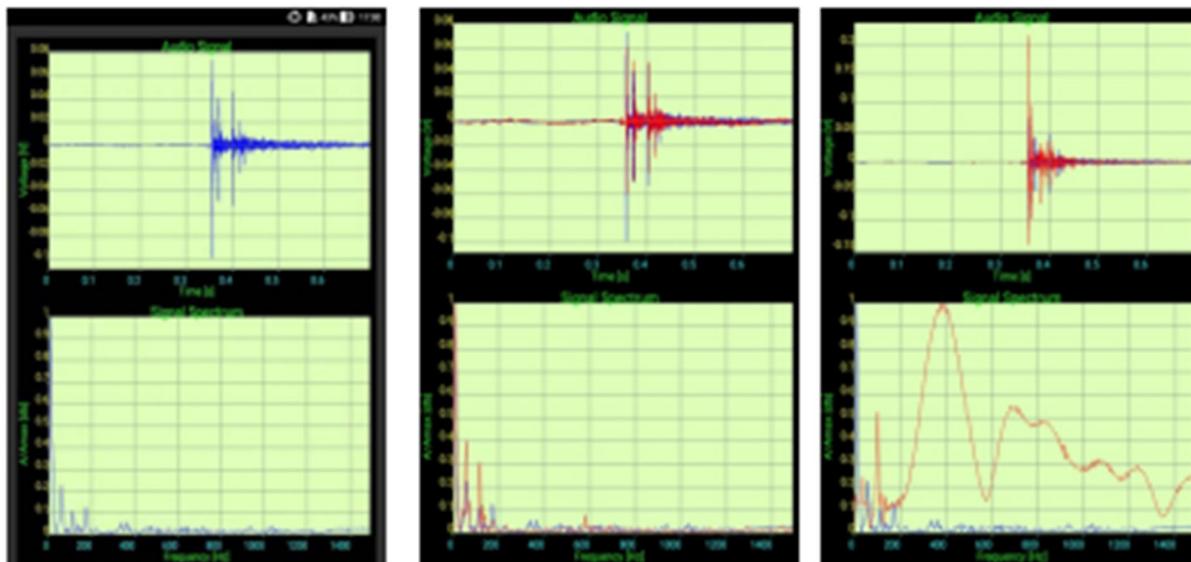
Fig. 28 – Tipologia solaio in latero-cemento a cassa vuota.

Le indagini di battitura manuale e strumentale hanno rilevato complessivamente la presenza di potenziale distacco di intonaco, o e/o sfondellamento di pignatte.



*Fig. 29 – Esecuzione indagine battitura strumentale.*

Durante l'indagine di battitura strumentale sono stati acquisiti i segnali guida riferiti ai punti potenzialmente integri, per come rilevato nella precedente battitura manuale, e successivamente sovrapposti ai segnali acquisiti sulle porzioni di solaio potenzialmente danneggiate.



*Fig.30 – Piano Terra: Segnale di riferimento, area integra e area con anomalia.*

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, alcune mappature delle aree di danno e di quelle di rischio.

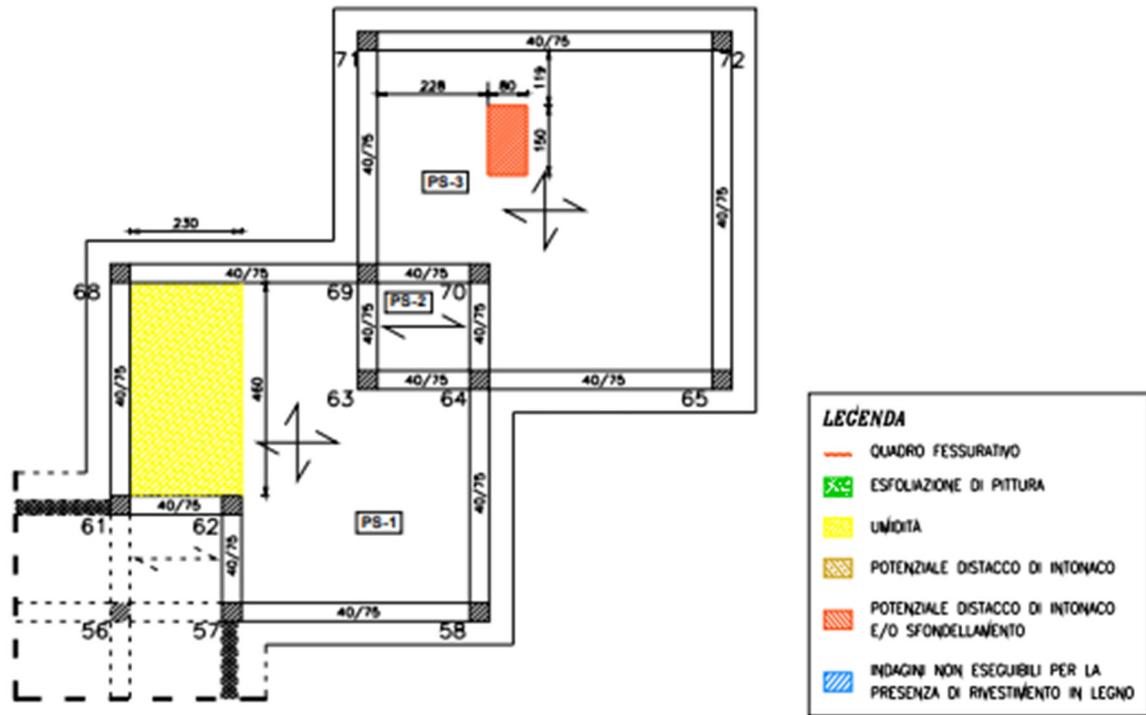


Fig. 31 – Perimetrazione aree di danno solai primo livello.

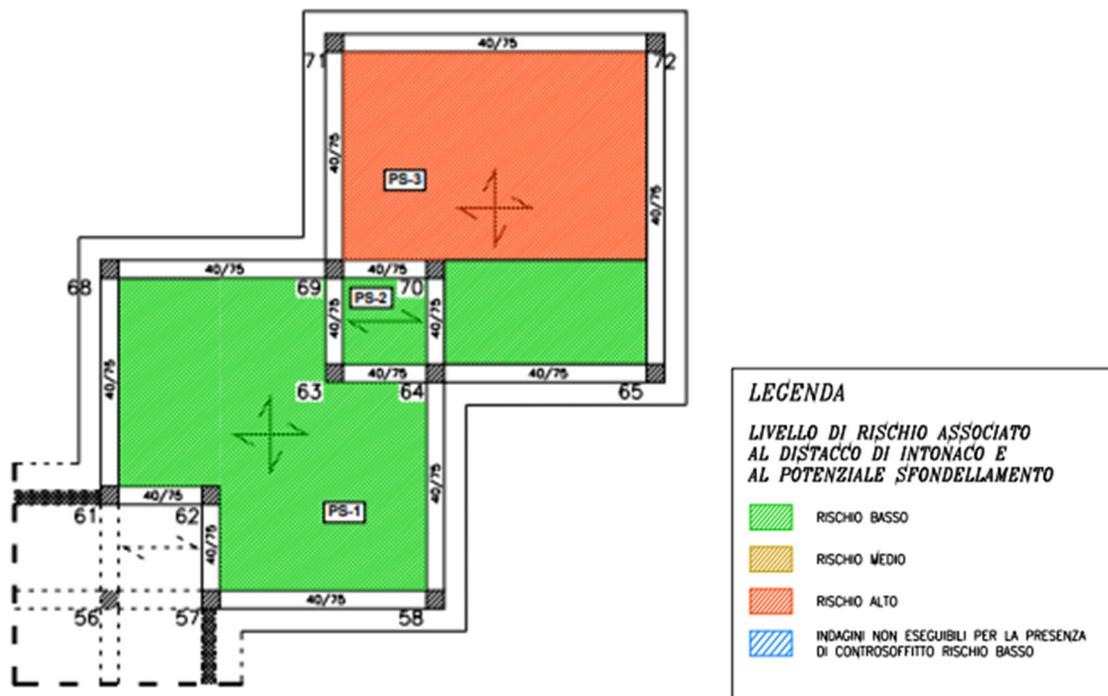


Fig. 32 – Perimetrazione aree di rischio solai primo livello.

#### **4. CONCLUSIONI**

Il protocollo procedurale preso in esame è stato ampiamente illustrato in tutti i suoi aspetti e messo a confronto con quanto previsto dai Capitolati Tecnici attualmente in vigore. Per mostrarne l'efficienza è stato poi applicato su diversi casi reali di studio, specializzandone la prima fase diagnostica in base alle esigenze della tipologia costruttiva di solaio.

A valle della sperimentazione effettuata per tutti gli immobili richiamati nella nota, si è raggiunto l'obiettivo di individuare le tipologie di danneggiamento, di perimetrare le aree effettivamente a rischio e di individuare altresì le superfici reali che dovevano essere oggetto di interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria. E' bene evidenziare che, le risultanze mostrate nella presente nota scientifica, sono state per brevità, confinate ad una ristretta campionatura di immobili su cui effettivamente il protocollo proposto è stato applicato. Infatti il campione prescelto per la validazione è costituito da oltre 80 edifici scolastici distribuiti in tutta Italia. Pertanto, i risultati ottenuti attraverso l'estesa campagna di indagine condotta, vista la unitarietà di risposta della metodologia di approccio, consentono di concludere che, il protocollo procedurale proposto possa ritenersi validato e verificato e che lo stesso possa costituire un ottimo strumento guida per gli operatori del settore chiamati ad eseguire i controlli sulle opere secondarie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Sansalone, Mary, and Nicholas J. Carino. 1988, Concrete International "*Impact-echo method.*" 10.4: 38-46.
- [2] Thermography, historic structures–quantitative IR., 2010 "*Non-destructive examination of stone masonry historic structures–quantitative IR thermography and ultrasonic testing*". Diss. middle east technical university.
- [3] Popov, V., (2010)., "*Contact mechanics and friction: physical principles and applications*", Springer Science & Business Media.
- [4] Cannas, b., et al., 2012 "*Modeling of active infrared thermography for defect detection in concrete structures.*" Proceedings of the 2012 COMSOL conference.
- [5] Shin, S. W., Popovics, J. S., and Oh, T., 2012," *Cost effective air-coupled impact-echo sensing for rapid detection of delamination damage in concrete structures*", Advances in Structural Engineering, 15(6), 887-895.
- [6] Oh, T., Popovics, J. S., Ham, S., and Shin, S. W., 2012, "*Improved interpretation of vibration responses from concrete delamination defects using air-coupled impact resonance tests*". Journal of Engineering Mechanics, 139(3), 315-324.
- [7] Yuan, Maodan, et al., 2014 "*Prediction of the effect of defect parameters on the thermal contrast evolution during flash thermography by finite element method.*" journal of the korean society for nondestructive testing 34.1, 10-17.
- [8] Caleca, L. "*Architettura tecnica 4 2 2 L. Caleca.*" Architettura tecnica 4.2.
- [9] CONSIP, Dicembre 2016, Allegato 1a al bando "*Servizi professionali*" per l'abilitazione di fornitori e servizi per la partecipazione al mercato elettronico per la fornitura di servizi di indagini non strutturali, versione 3.0, classificazione del documento: CONSIP PUBLIC.
- [10] Decreto del Ministro dell'istruzione, dell'Università e della Ricerca 8 agosto 2019, n. 734.
- [11] Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca "*Avviso pubblico per il finanziamento in favore di enti locali di indagini e verifiche dei solai e controsoffitti degli edifici scolastici pubblici - Capitolato Tecnico*". Nota 30628 del 16 Ottobre 2019.
- [12] Scattarreggia M., 2017 – Tesi di Laurea "*Tecniche non distruttive per il controllo di opere secondarie e per la perimetrazione di aree danneggiate*" – Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria – Relatore: Prof. Ing. G. Porco.
- [13] G. Porco, F. Forestieri, M. Scattarreggia, 2021 "*Trattamento numerico e interpretazione del dato ndt per la verifica dei solai - elaborazioni numeriche -*". Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria. Marzo 2021.
- [14] G. Porco, F. Forestieri, F. De Bartolo, 2021 "*Il controllo in opera dei solai mediante tecniche NDT*". Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria. Gennaio 2022.



N.14 – February 2022  
ISBN: 979-12-80280-13-8

ISBN 979-12-80280-13-8



9 791280 280138

*EDIZIONI SISMLAB*  
*Available online at [www.sismlab.com](http://www.sismlab.com)*