



Scientific Report

Il controllo in opera dei solai mediante tecniche NDT

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

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

N.11 - I- 2022

ISBN: 979-12-80280-10-7

EDIZIONI SISMLAB

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

N.11 - January 2022
ISBN: 979-12-80280-10-7
(*Year III*)

*Available online at www.sismlab.com
info@sismlab.it - sismlab@pec.it*

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

IL CONTROLLO IN OPERA DEI SOLAI MEDIANTE TECNICHE NDT

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

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria

giacinto.porco@unical.it

**Sismlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria

info@sismlab.it

f.forestieri@sismlab.it

f.debartolo@sismlab.it

SOMMARIO

Le attività di screening condotte sugli edifici per civile abitazione negli ultimi anni, hanno avuto un approccio di carattere globale, innescati da stati di dissesto presenti sulle membrature portanti e finalizzate principalmente alla verifica di sicurezza sismica, trascurando di fatto la verifica sullo stato di consistenza e di affidabilità delle opere secondarie. In particolare la mancata programmazione di interventi manutentivi sui solai, ha favorito l'insorgere di fenomeni di dissesto casuali e non prevedibili tali da provocare restrizioni all'esercizio degli immobili principalmente in ambito pubblico.

Nel presente lavoro, in merito a tale problematica, si prende in considerazione una metodologia per la diagnosi dei solai latero-cementizi, che è stata precedentemente messa a punto e validata [13], e qui è proposta, all'interno di una procedura di approccio al problema che conduce ad una corretta perimetrazione delle aree danneggiate fornendone una classificazione di rischio. L'aspetto nuovo di tale tecnica di controllo consiste nell'utilizzare l'indagine acustica strumentale, unitamente ad altre tecniche non distruttive NDT, per individuare e perimetrare, agli intradossi dei solai, le aree interessate da fenomeni di dissesto, classificandone il livello di rischio associato. Tutte le attività da eseguire sono state poi inserite all'interno di un protocollo procedurale con articolazione cronologica delle fasi attuative.

L'obiettivo del presente articolo è quello di esporre tale protocollo procedurale in tutti i suoi passaggi, tenendo conto che, seppur proposto in forma unificata, valida per tutte le più comuni tipologie costruttive di solaio in latero-cemento presenti sul territorio nazionale, dovrà essere oggetto di ulteriori specifiche e personalizzazioni in merito alle tecniche di indagine iniziali, in funzione della tipologia costruttiva di solaio da esaminare.

1. INTRODUZIONE

I fenomeni di dissesto degli elementi non strutturali all'intradosso dei solai, quali sfondellamento delle pignatte, distacco di intonaco, umidità e fessurazione, rappresentano un pericolo per la sicurezza a cui bisogna porre attenzione così come avviene per lo stato di conservazione delle strutture portanti vere e proprie. La frequente situazione di dissesto, riscontrata agli intradossi dei solai in edifici sia privati che pubblici, è da attribuire raramente a problemi di origine strutturale, ma principalmente alla mancanza di manutenzione nel tempo e al deterioramento dei materiali costituenti. Non è infatti insolito trovarsi di fronte a strutture, apparentemente, in buono stato di conservazione sul piano

prettamente statico, e che però possono denotare in maniera improvvisa, ed imprevedibile, problemi di distacco di porzioni di intonaco, e/o di fondelli di pignatte.

A testimonianza di ciò, ricorrono gli episodi di caduta dall'alto di componenti non strutturali, che negli anni si sono ripetuti con maggiore o minore gravità e frequenza soprattutto negli edifici scolastici datati.

Ancora oggi si rileva una scarsa sensibilità a tali problematiche, da qui nasce l'esigenza di mettere in piedi una procedura di controllo che possa riconoscere zone danneggiate all'intradosso dei solai, classificandone anche il livello di pericolosità associato. I difetti presenti sui solai sono fenomeni in evoluzione non prevedibili, per cui non possono essere diagnosticati con approcci numerici in forma predittiva, allora l'unico approccio da seguire resta quello delle azioni di campo di tipo sperimentale. Tra i provvedimenti più attinenti al tema del rischio di caduta di elementi non strutturali risulta 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 [12].

Il documento ministeriale annovera tra le indagini ammissibili la prova di carico, senza fornire alcuna prescrizione su studi preliminari per la determinazione della reale portanza del solaio, delle resistenze dei materiali e dei particolari costruttivi. In seguito a tale misura sono stati eseguiti, su diversi immobili scolastici sul territorio nazionale, test di carico in maniera del tutto scriteriata senza tener conto dei possibili danni indotti sui solai a seguito di una prova non adeguatamente preparata.

Gli scriventi, come vedremo, hanno inteso produrre un protocollo avulso dalla prova di carico, o comunque con un uso fortemente limitato se non in condizioni estreme o se non in condizioni di post-consolidamento, che includono la fase di collaudo dove sarà a discrezione del tecnico responsabile prevedere o meno la prova.

In merito a tale problematica, è stata presa in esame una metodologia operativa per la diagnosi di solai in latero-cemento, precedentemente implementata la quale prevede l'utilizzo dell'indagine sonora strumentale unitamente ad altre tecniche non distruttive NDT.

Tale tecnica di indagine è stata validata, mediante attività numeriche e laboratoriali, e qui inserita all'interno di un protocollo procedurale nella sua forma essenziale, prevedendo attività base, comuni a tutti i casi costruttivi di solaio oggetto di trattazione [13].

Quindi, l'obiettivo del presente lavoro è quello di presentare tale protocollo procedurale in tutti i suoi passaggi, per cui di seguito, dopo una breve rassegna sulle tipologie costruttive di solaio in latero-cemento e una descrizione sui tipi di dissesto più frequenti, si tratteranno in maniera puntuale le fasi previste dalla procedura di diagnosi, quali la conoscenza geometrico-strutturale del solaio, il piano di indagine, l'interpretazione dei dati strumentali, la perimetrazione e classificazione delle aree danneggiate ed infine la perimetrazione e classificazione delle aree di rischio.

Il protocollo, unico nella forma generale per tutti le tipologie costruttive, costituirà un utile guida per la mappatura del danno e del rischio, ed offrirà ai tecnici la possibilità di valutazione in maniera diretta una previsione economica di intervento.

2. TIPOLOGIE COSTRUTTIVE DI SOLAI IN LATERO-CEMENTO PRESENTI SUL TERRITORIO NAZIONALE

Le tecniche costruttive di solaio, diffuse sul territorio nazionale, si differenziano in base a diversi fattori, quali epoca di costruzione, materiali utilizzati, cultura realizzativa della maestranza locale, e pertanto possono essere classificate per aree geografiche. Nella presente sezione si restituisce, in particolare, la disamina solo sulle più comuni tecniche costruttive di solai in latero-cemento. I solai latero-cementizi costituiscono la tipologia maggiormente in uso per i notevoli vantaggi rispetto alle altre categorie, quali: maggiore leggerezza dovuta alla sostituzione di parte di calcestruzzo con materiale dal peso specifico molto minore; maggiore coibentazione acustica e termica; risultano più economici e veloci da realizzare.

Solaio gettato in opera

I solai gettati in opera hanno rappresentato la tipologia di solaio più diffusa in Italia. Inizialmente prevedevano l'utilizzo di comuni laterizi forati intervallati con le nervature in calcestruzzo armato, destinate ad assorbire le sollecitazioni; il tutto completato da una soletta (o caldana) superiore in getto di calcestruzzo. Successivamente i mattoni forati vennero sostituiti con speciali blocchi di laterizio forati, chiamati pignatte e aventi spigoli superiori arrotondati e alette inferiori sporgenti.

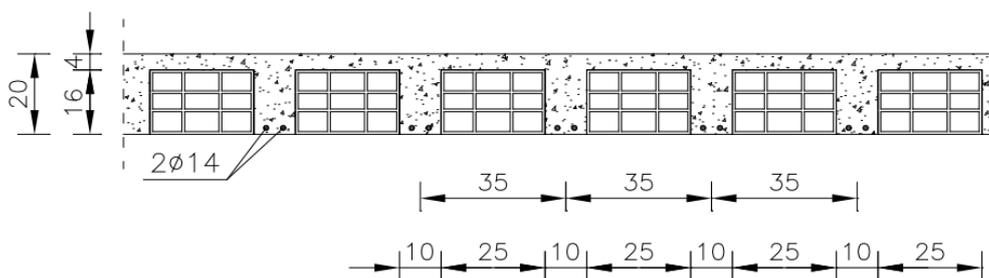


Figura 1- Solaio gettato in opera.

Solaio a travetti Precompressi

Il solaio latero-cementizio con travetti precompressi presenta notevoli vantaggi rispetto al solaio interamente gettato in opera, come: facilità di esecuzione, minor costo d'opera, minor peso e possibilità di eliminare eventuali difetti legati alla realizzazione delle nervature in c.a., che vengono interamente sostituite dai travetti prefabbricati in c.a.p. La fase realizzativa termina sempre con un getto di calcestruzzo a completamento che rendere solidale la soletta con i travetti in c.a.p, inserendo armature superiori di completamento.

I travetti con sezione a T rovescia prevedono un'anima e una coda non rettilinee per poter sfruttare a pieno l'aderenza con il calcestruzzo di completamento. L'acciaio usato per i travetti è acciaio di tipo armonico ad alta resistenza, in fili di piccolo diametro impiegati col sistema di precompressione a fili aderenti pretesi. Quando si ha la necessità di far fronte a carichi elevati, i travetti possono essere utilizzati anche affiancati senza l'impiego di elementi di alleggerimento a costituire un unico solettone completato da un getto in opera.

Secondo quanto previsto dalle *Norme Tecniche* nazionali, per ogni tipo di travetto in c.a.p. e larghezza di nervatura (monotrave, bitrave e solettone) la casa costruttrice deve fornire le sollecitazioni ultime

di momento e taglio al variare dell'altezza del solaio, dando indicazioni sulla armatura integrativa agli appoggi (monconi) da realizzarsi con acciaio B450C.

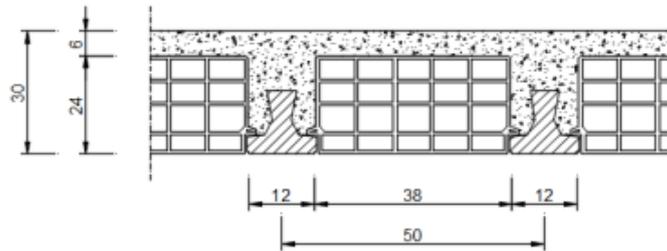


Figura 2 - Solaio a travetti precompressi e blocchi interposti.

Solaio con travetti a traliccio

Nel solaio latero-cementizio con travetti a traliccio la nervatura resistente è realizzata con travetti a tralicci metallici a struttura reticolare spaziale, di tipo celerpan o bausta. Questo tipo di solaio è caratterizzato da notevoli capacità autoportanti.

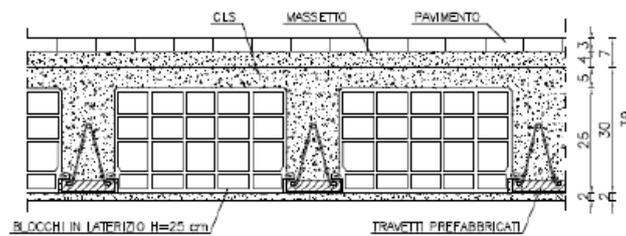


Figura 3 - Solaio a travetti tralicciati.

Solaio a cassa vuota SAPAL

Il solaio latero-cementizio a cassa vuota è una particolare tipologia di solaio a camera d'aria, costituita da travi in laterizio armato SAPAL, confezionate a piè d'opera. Le travi SAPAL vengono sistemate a modo di cassero, dove si alloggianno le nervature di calcestruzzo armato, e costituiscono, grazie alle alette inferiori presenti sui laterizi, l'appoggio per le tavelline di soffitto con spessore 2 cm. Superiormente sono, invece, collocate altre speciali tavelle con profilo a dente, così da ottenere a getto avvenuto una sottile soletta in cemento dentata. Anche per il solaio a cassa vuota si prevede in opera il getto di completamento per solidarizzare le nervature in c.a. con la soletta superiore in calcestruzzo così da ottenere la classica sezione a T.

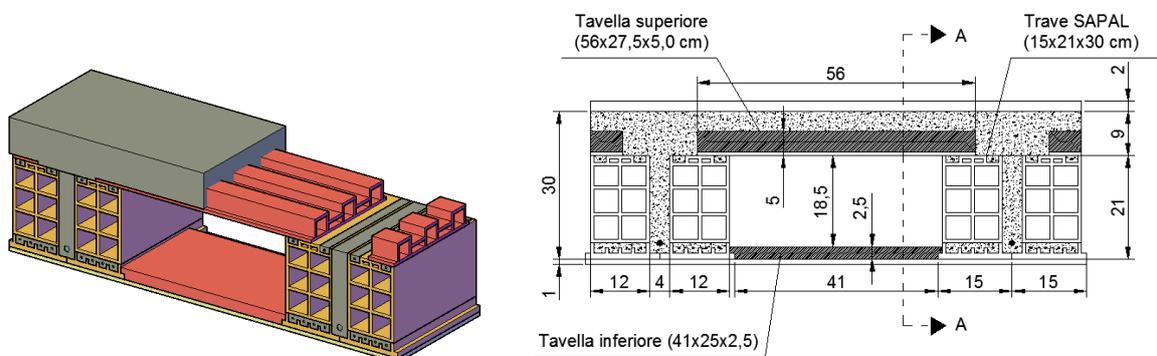


Figura 4 - Solai a cassa vuota SAPAL.

3. DANNEGGIAMENTO SUI SOLAI LATEROCEMENTIZI

Le strutture col passare del tempo, se non adeguatamente soggette a manutenzione, tendono a degradarsi. I fenomeni di degrado possono manifestarsi non solo sugli elementi strutturali, ma talvolta si evidenziano su elementi secondari, quali tamponature e solai.

Nel caso dei solai, lo stato di degrado può evolvere compromettendo in tal modo i requisiti di stabilità e sicurezza previsti in fase di progettazione. I fenomeni di degrado, rilevati, più frequentemente, sugli orizzontamenti sono: rottura degli elementi strutturali; degrado dei materiali; degrado dovuto a vizi costruttivi; sfondellamento; caduta di intonaco. I fenomeni di dissesto dei solai latero-cementizi, che destano maggior preoccupazione e che si vuole attenzionare nella presente sezione, sono il fenomeno dello sfondellamento, il distacco di intonaco e la perdita di copriferro.

Il fenomeno dello sfondellamento del solaio è un danneggiamento che consiste nella rottura del fondello della pignatta e di parte dei setti verticali del laterizio di alleggerimento. È tipico dei fabbricati costruiti tra l'immediato dopoguerra (anni 40') ed i primi anni 80' ed è dovuto principalmente alle caratteristiche costruttive di alcune tipologie di solai, nonché all'inevitabile degrado dei materiali nel tempo dovuto soprattutto alla mancanza di manutenzione. Il fenomeno risulta ancor più accentuato in presenza di infiltrazioni d'acqua e umidità, con conseguente ossidazione dei ferri di armatura, i quali, aumentando il proprio volume, causano l'espulsione del fondello inferiore del laterizio. Le parti interessate seguono molto spesso le direttrici dei travetti e difficilmente interessano aree circolari.

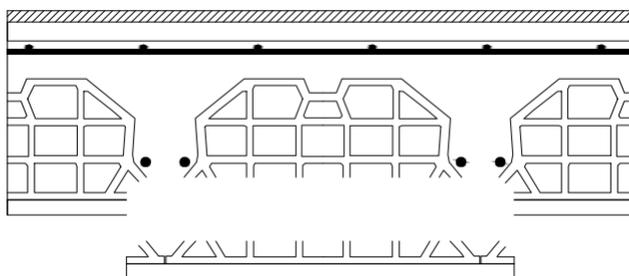


Figura 5 - Sfondellamento su un solaio.



Figura 6 - Sfondellamento su un solaio gettato in opera.

Una particolare condizione di danneggiamento, riconducibile allo sfondellamento, è il collasso della tavella inferiore nel solaio a cassa vuota SAPAL, per come riportato nella figura seguente.



Figura 7 - Danneggiamento tavella inferiore su un solaio SAPAL.

Il distacco di intonaco all'intradosso del solaio è un fenomeno di danneggiamento che consiste nella perdita di adesione fra lo strato di intonaco e l'elemento travetto e/o pignatta, riconducibile al problema di de-adesione trattato nella meccanica della frattura. Questo fenomeno di dissesto può avvenire in maniera dissociata dallo sfondellamento della pignatta e genera con alta probabilità superfici a sviluppo circolare.

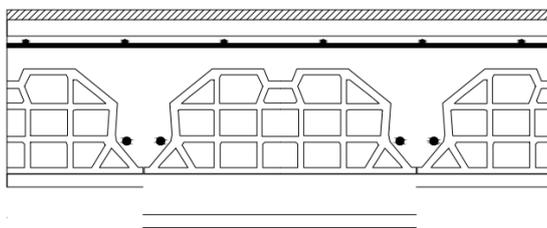


Figura 8 - Distacco di intonaco su un solaio.



Figura 9 - Distacco di intonaco su un solaio gettato in opera e su un solaio con travetti in c.a.p.

La perdita di copriferro consiste nell'espulsione del calcestruzzo che copre i ferri di armatura nei travetti in c.a.. Tale fenomeno può avvenire in presenza di umidità e stillicidi d'acqua, che causano un'espansione dei laterizi, nonché la corrosione dei ferri dei travetti con le conseguenti spinte, dovute agli aumenti di volume, sia sul calcestruzzo intorno all'armatura (copriferro) sia sui laterizi adiacenti.

Alla luce di quanto esposto, risulta necessario disporre di una procedura sperimentale per il controllo dello stato di degrado all'intradosso dei solai latero-cementizi, che possa preventivamente individuare e circoscrivere le aree interessate dai fenomeni di dissesto, valutandone anche il grado di rischio. Di seguito, si considera una procedura di controllo nota, già individuata dagli autori, e se ne presentano tutte le fasi e attività.

4. PROTOCOLLI PROCEDURALI SPECIALIZZATI PER TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

La procedura di diagnosi per solai latero-cementizi, oggetto di trattazione, prevede l'applicazione di un insieme di tecniche NDT, di cui se ne avvalora in particolare l'uso dell'indagine acustico strumentale.

Gli scriventi, dopo aver verificato e validato tale metodologia, individuandone i passaggi salienti, hanno inteso inserire il tutto in un protocollo procedurale, di cui se ne riporta schematicamente l'articolazione in fasi. Il protocollo organizza cronologicamente le attività da eseguire e fornisce un utile guida nella diagnostica dei difetti nei solai latero-cementizi. Si precisa che, le attività previste dalla procedura sono principalmente finalizzate ad individuare i potenziali fenomeni di distacco dell'intonaco, sfondellamento e caduta del copriferro, fornendone altresì un fattore di rischio associato.

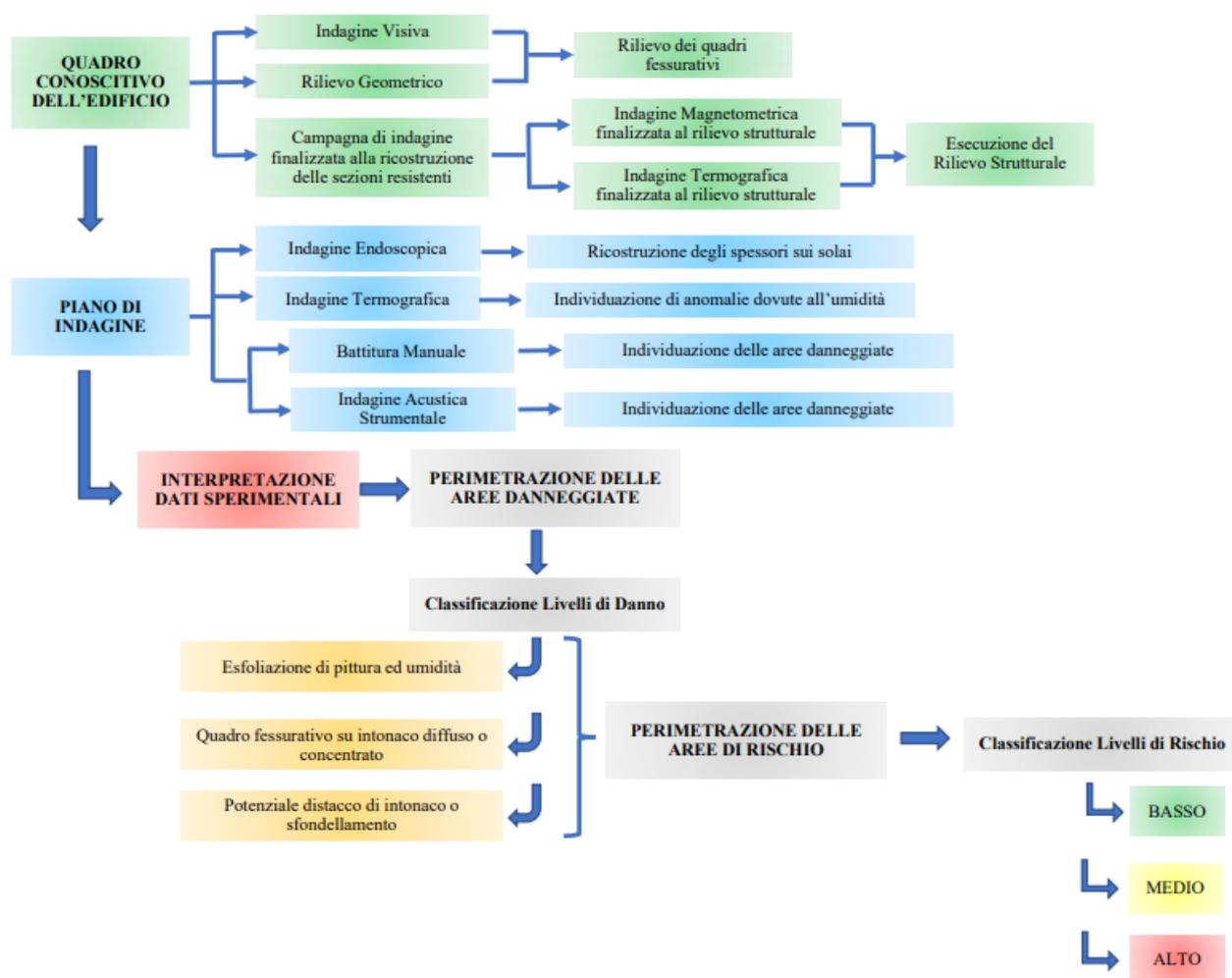


Figura 10 – Schema del Protocollo Procedurale.

Il protocollo procedurale proposto si articola in quattro fasi, come di seguito esposte, di cui la prima è finalizzata alla ricostruzione geometrica e strutturale dell'edificio in esame; la seconda è finalizzata alla diagnostica dei difetti sui solai, mediante l'applicazione di un insieme di tecniche non distruttive NDT sia di tipo manuale che strumentale; la terza prevede l'interpretazione dati sperimentali con la

perimetrazione e classificazione delle aree danneggiate; la quarta prevede la perimetrazione e classificazione delle aree a rischio.

4.1 QUADRO CONOSCITIVO DEL SOLAIO

La prima fase contiene tutte le attività di rilievo che forniscono nozioni per la ricostruzione geometrica e strutturale del solaio. Con l'indagine visiva si ha immediato riscontro sulla presenza di eventuali quadri fessurativi, sullo stato di conservazione, sulla tipologia dei materiali impiegati.

Si procede con l'insieme delle pratiche e dei metodi necessari ad eseguire il rilievo geometrico che fornisce gli elementi per poter rappresentare le dimensioni del solaio. In questa fase, oltre all'altezza del pacchetto solaio sono rilevate le dimensioni di travi a spessore, travi rompi tratta e fasce piene e semipiene in corrispondenza delle travi perimetrali di appoggio del solaio.

Data la disponibilità grafica delle geometrie, si predispongono una campagna di indagine finalizzata alla ricostruzione delle sezioni resistenti di travetti, eventuali travi a spessore, nonché travi rompi tratta, presenti per luci elevate. Si prevedono in particolare indagini magnetometriche che nel caso dei solai sono finalizzate a determinare la posizione delle armature nei travetti, la giusta orditura, evidenziando la presenza di eventuali travi a spessore o travetti rompitratta.

Anche l'indagine termografica, in presenza di gradienti di temperatura, è impiegata a supporto del rilievo strutturale per individuare la posizione e l'orditura dei solai.

4.2 PIANO DI INDAGINE

La seconda fase del protocollo procedurale prevede la predisposizione di un piano di indagine per ottenere il quadro complessivo sullo stato di consistenza del solaio oggetto di indagine, e per ricercare eventuali imperfezioni costruttive e/o progettuali che potrebbero innescare o hanno già innescato fenomeni di dissesto. Redigere il piano di indagine consiste nel, programmare il numero necessario di indagini da eseguire, scegliere la tipologia più adatta al caso reale di studio e individuare la posizione dei punti dove eseguire le indagini stesse. In particolare, la procedura di screening oggetto di studio prevede l'applicazione di un'indagine sonora strumentale in concerto ad altre tecniche NDT, di cui se ne riportano, di seguito, le principali finalità di utilizzo.

Per la ricostruzione degli spessori sul solaio, delle caratteristiche costruttive, delle tipologie di materiali impiegati e della presenza di mancanze o vuoti, viene utilizzata l'indagine endoscopica e visiva. Questa consiste nell'inserimento di una piccola sonda endoscopica in fori di almeno 20 mm di diametro, attraverso cui effettuare l'ispezione visiva diretta delle cavità o parti altrimenti inaccessibili all'interno dello spessore del solaio.

L'individuazione di anomalie dovute all'umidità e di eventuali difetti dovuti a distacco di intonaco, è affidata all'indagine termografica.

Per l'individuazione delle aree danneggiate la procedura propone l'utilizzo dell'indagine acustica, che si basa fondamentalmente sull'interpretazione di un segnale sonoro generato dall'impatto di un corpo, dalle caratteristiche note, sull'oggetto da investigare. Tale indagine può essere svolta in modo manuale o tramite apposita strumentazione.

L'indagine acustica manuale, o anche detta battitura manuale, è vista come una tecnica integrativa dell'indagine strumentale la quale restituisce dati oggettivi sulle potenziali aree danneggiate. Questa consiste nel rilievo, da parte di un operatore, del suono, generato mediante apposito strumento, per

individuare zone dove si possono riscontrare anomalie, contraddistinte dal classico: «suono a vuoto» da verificare poi mediante indagine acustica strumentale.

L'aspetto innovativo è l'applicazione dell'indagine acustica strumentale con strumento S.E.S. (*Sistema Ecometrico per il controllo dei Solai*), sistema di misura costituito da una centralina, un'asta telescopica, un carrello mobile e un'applicazione Android per la gestione dei file acustici con visualizzazione a video dell'andamento del segnale acustico acquisito nel dominio del tempo e delle frequenze.



Figura 11 – Strumentazione S.E.S.

La procedura per la misurazione della pressione acustica è costituita da semplici operazioni da effettuare in sequenza che sono:

- **Fase 1:** posizionamento del supporto mobile lontano da pareti o apparecchiature che potrebbero interferire a livello sonoro con la registrazione del segnale;
- **Fase 2:** inserimento della strumentazione S.E.S.;
- **Fase 3:** posizionamento della strumentazione S.E.S. sotto l'elemento di controllo;
- **Fase 4:** esecuzione della prova e acquisizione del segnale acustico;
- **Fase 5:** elaborazione del segnale e presentazione del risultato nel dominio del tempo e delle frequenze.

4.3 INTERPRETAZIONE DEI DATI STRUMENTALI CON PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE AREE DANNEGGIATE

Nell'interpretazione dei dati sperimentali si adotta un approccio di tipo comparativo tra i segnali sonoro strumentali e quelli standardizzati di riferimento per l'individuazione delle zone danneggiate. In particolare, si restituiscono i grafici del segnale acustico nel dominio del tempo e delle frequenze, per come riportato nella figura seguente a titolo di esempio, e si confrontano direttamente in opera con dei grafici guida dedicati, per poter riconoscere le risposte acustiche sui diversi materiali, le variazioni di spessore e i segnali riconducibili agli elementi costituenti i solai, quali travetto e pignatta. Gli andamenti sonori di confronto, riferiti a zone integre, possono essere ottenuti o direttamente in opera con un rilevamento sonoro eseguito ad-hoc, oppure possono essere di natura numerica, riferiti in modo standardizzato agli elementi integri che costituiscono il solaio.

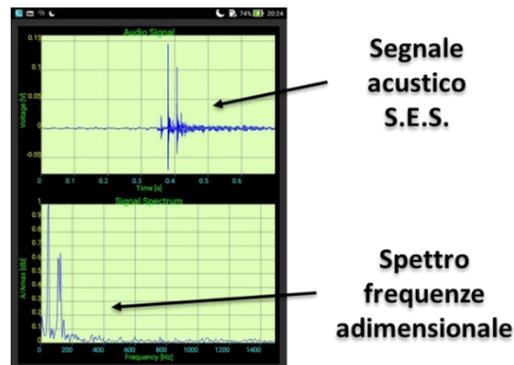


Figura 12 - Acquisizione segnale nel dominio del tempo e delle frequenze.

Con i dati di indagine, comprensivi di dati strumentali, dati visivi e di tutte le informazioni rilevate in opera, è possibile classificare i danneggiamenti in due macro-categorie: i danneggiamenti di carattere superficiale e quelli relativi ai quadri fessurativi. Nella prima categoria si possono riconoscere la possibilità di distacco di intonaco e la presenza di umidità. Nei quadri fessurativi, invece, si può riconoscere una perimetrazione di ulteriori aree soggette a potenziale caduta, oppure l'individuazione di aree soggette a una perdita di copriferro. Queste evidenze producono aree chiaramente individuabili sugli intradossi dei solai, per cui in funzione del tipo di danneggiamento e della sua estensione, sarà successivamente possibile effettuare una classificazione del danno secondo le due seguenti categorie.

1. Danneggiamenti di carattere superficiale:

- esfoliazione di pittura ed umidità di lieve/grande estensione;
- esfoliazione di pittura ed umidità con possibilità di distacco di intonaco di lieve/grande estensione.

2. Danneggiamenti relativi a quadri fessurativi:

- quadri fessurativi di natura fisiologica;
- quadro fessurativo concentrato o diffuso di lieve/grande estensione;
- quadro fessurativo con potenziale distacco di intonaco di lieve/grande estensione;
- quadro fessurativo con perdita di copriferro di lieve/grande estensione;
- quadri fessurativi importanti per estensione ed ampiezza delle fessure che preannunciano gravi cadute di copriferro e/o intonaco;
- quadro fessurativo con sfondellamento di lieve/grande estensione.

Si riporta di seguito, a titolo di esempio, un classico elaborato relativo ad una attività di screening su solaio con la perimetrazione delle aree di danno.

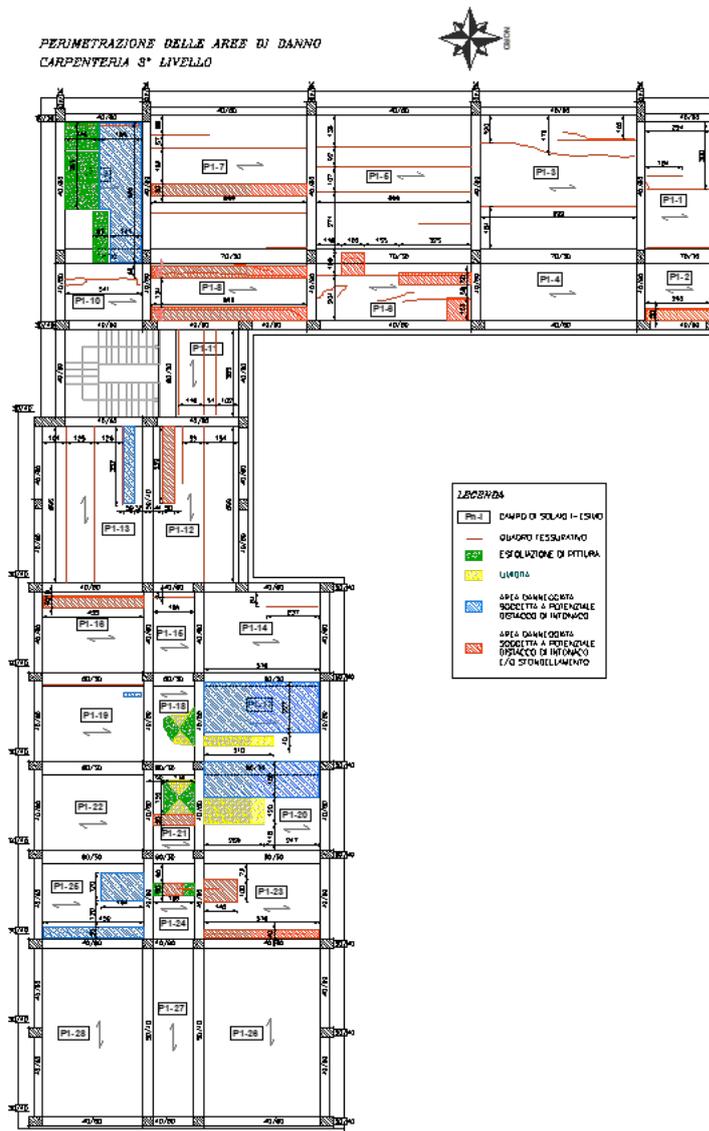


Figura 13 - Esempio di perimetrazione delle aree di danno.

Di seguito, vedremo come nota la mappatura delle superfici danneggiate, si dovrà associare a ciascuna di queste un livello di rischio, espresso in alto, medio e basso.

4.4 PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE AREE DI RISCHIO

Con la disponibilità della tipologia di danno rilevato e della sua estensione sarà possibile valutare quali superfici possono essere vicine alla condizione di collasso e quali invece siano ancora lontane da tale evento. Si prosegue con la mappatura del rischio, associando a ciascuna area di interesse un livello di pericolosità. In caso di rischio alto si deve procedere alla perimetrazione delle aree interessate dal dissesto e comunicare all'ente pubblico o privato la restrizione all'uso degli ambienti coinvolti.

Il livello di rischio alto sarà assunto in presenza di sfondellamento a prescindere dall'estensione del fenomeno e/o in presenza di distacco di intonaco con grandi superfici interessate. Gli effetti di tali eventi pur non producendo né una perdita di stabilità di un solaio, né una rilevante riduzione della sua capacità portante, possono, tuttavia, rivelarsi seri problemi per l'incolumità di coloro che sono

presenti negli ambienti sottostanti: nel caso del crollo dei fondelli in un solaio latero-cementizio, il peso della porzione caduta varia tra circa 5 e 25 Kg/mq, in relazione allo spessore dell'intonaco (1÷3 cm). Un fenomeno ad alto rischio sarà considerato anche quello di quadri fessurativi importanti per estensione ed ampiezza delle fessure che preannunciano gravi cadute di copriferro e/o intonaco. Si considera invece un livello di rischio medio in presenza di piccoli distacchi di intonaco. Mentre tutte le altre situazioni di danno superficiale dovuto ad umidità, infiltrazioni, esfoliazioni di pittura anche diffuse che non pregiudicano lo stato di coesione dell'intonaco, sono riconducibili a livello di rischio basso. Rientrano anche nella fascia di rischio basso anche i quadri fessurativi di natura fisiologica, come ad esempio le lesioni a confine tra travetto e pignatta.



Figura 14 - Livello di rischio Alto.



Figura 15 - Livello di rischio Alto.



Figura 16 - Livello di rischio medio.

Si ottiene così il quadro completo dello stato di dissesto agli intradossi indagati da riportare tutto all'interno di una relazione, comprensiva dei rilievi geometrici e strutturali e delle tavole esplicative sul piano di indagine. Tale relazione dovrà motivare, al suo interno, la scelta di ogni indagine eseguita e riportare i risultati ottenuti, indicando su planimetria le campiture di solaio indagate e i relativi punti da indagare. Questa valutazione potrà essere anch'essa restituita sotto forma di perimetrazione di aree a rischio a diverso livello di pericolosità, come riportato nella figura seguente da un esempio classico di perimetrazione.



Figura 17 - Esempio di perimetrazione e classificazione delle aree a rischio.

Dopo aver esposto le attività del protocollo e chiarito in senso generale le finalità da perseguire, si considera infine l'eventualità di specializzare la fase iniziale di indagine iniziale in alcuni passaggi, in base alla particolare tipologia costruttiva di solaio che si sta esaminando, andando a puntualizzare gli aspetti su cui l'operatore deve fare attenzione

A questo punto, affinché la procedura proposta possa avere una valenza applicativa, è necessario procedere ad una validazione di campo, pertanto gli scriventi si riservano di effettuare una estesa campagna di indagine che sarà successivamente presentata in una nuova nota scientifica.

5. CONCLUSIONI

È stato presentato un protocollo procedurale per il controllo valido per le più comuni tipologie di solaio in latero-cemento. Tale approccio, avvalorato dall'uso primario della tecnica sonora strumentale con l'utilizzo sinergico di altre indagini NDT, permetterà di giungere agevolmente ad individuare tipologie di danno e perimetrarne le aree interessate, classificandole secondo i diversi livelli di rischio. Il vantaggio di questo primo risultato sarà quello di individuare la tipologia di lavorazione più adatta a ripristinare lo stato dei luoghi e giungere così a priori ad una valutazione economica per l'intervento.

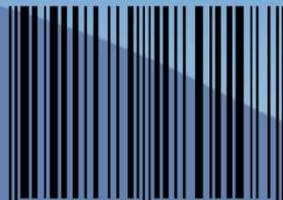
A questo punto, il protocollo, previa personalizzazione della fase iniziale di indagine in base al particolare caso costruttivo, è pronto per essere provato e validato sul campo, per cui gli autori si riservano di presentare un'ampia campagna sperimentale da effettuare sui solai di diversi edifici. La procedura adottata sul campo potrà realizzare una banca dati di rilevazioni acustiche per ogni tipologia di solaio come immediato riferimento durante lo svolgimento della prova sonora in situ.

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] 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.
- [11] Decreto del Ministro dell'istruzione, dell'Università e della Ricerca 8 agosto 2019, n. 734.
- [12] 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.
- [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.

N.11 - January 2022
ISBN: 979-12-80280-10-7

ISBN 979-12-80280-10-7



9 791280 280107

EDIZIONI SISMLAB
Available online at www.sismlab.com