

# *CONFORMITÀ STATICA DELLE STRUTTURE ORIZZONTALI*

*Scuola Materna di San Pietro  
Via Pradelli - Berbenno di Valtellina (SO)*



*Committente:  
Comune di Berbenno di Valtellina  
Piazza Municipio, 1  
23010 Berbenno di Valtellina (SO)*



TECNOINDAGINI S.r.l.  
Tel 02 36527601 fax 02 66304937 – [www.tecnoindagini.it](http://www.tecnoindagini.it)  
con il supporto tecnico di: Ing. Roberto Doddi

## INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORME DI RIFERIMENTO	4
3. ASPETTI TEORICI	5
3.1. VALUTAZIONE CAPACITA' PORTANTE DEI SOLAI	5
3.2. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	8
4. INQUADRAMENTO DEI RILIEVI	10
5. METODOLOGIA DI INDAGINE	12
5.1. ANALISI TERMOGRAFICA	12
5.1.1. Caratteristiche del metodo	12
5.1.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature	13
5.2. ANALISI COSTRUTTIVA	14
5.3. ANALISI ENDOSCOPICA	15
5.3.1. Caratteristiche del metodo	15
5.3.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature	15
5.4. ANALISI PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE	16
5.5. VERIFICA ANALITICA	19
5.6. ANALISI DUREZZA DELLE ARMATURE	20
5.6.1. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature	20
6. RISULTATI DEI RILIEVI	21
7. RISULTATI DELLE ANALISI	23
8. CONCLUSIONI	24

## 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto ad eseguire analisi diagnostiche e valutazioni tese alla verifica della conformità statica dei solai dell'edificio che ospita la Scuola Materna di San Pietro sito in Via Pradelli a Berbenno di Valtellina (SO).

In relazione alle indicazioni fornite dalla Committenza, il monitoraggio è stato condotto unicamente al piano terra dell'edificio.

L'attività di verifica della conformità statica dei solai segue un protocollo di indagine basato su una serie di prove non distruttive e completato con valutazioni analitiche. La consultazione di documentazione tecnica eventualmente fornita dalla Committenza permette di reperire informazioni circa le tipologie costruttive e le specifiche dei materiali impiegati per la realizzazione degli impalcati. La stessa documentazione è di ausilio per l'analisi storica del fabbricato, in particolar modo nel caso di edifici che hanno subito interventi di modifica quali ad esempio ampliamenti, sopraelevazioni, sostituzione o rinforzo dei solai.

Le operazioni da condurre in situ prevedono in prima istanza il rilievo degli elementi orizzontali oggetto delle verifiche, eventualmente coadiuvato dalla documentazione in possesso: individuare la tecnologia costruttiva impiegata e l'ampiezza dei campi in relazione allo schema statico adottato, risalire alle caratteristiche dimensionali degli elementi portanti e definire la stratigrafia del pacchetto di finitura. Il rilievo è basato su una campagna di indagini che consente eventualmente di confermare le proprietà meccaniche dei materiali impiegati, desunte dalla consultazione della documentazione fornita.

La verifica della conformità statica dei solai prevede la valutazione della loro capacità portante: questa può avvenire mediante esecuzione di prove dirette, prove di carico statiche, o tramite verifica analitica. Le prime permettono di determinare la risposta dei solai sottoponendoli all'azione diretta di un sovraccarico definito a partire dal carico di esercizio stabilito da normativa. La verifica analitica consente invece la determinazione di un coefficiente di sicurezza oltre al valore del carico di esercizio massimo applicabile.

## 2. NORME DI RIFERIMENTO

Il metodo di analisi proposto è basato sulle indicazioni tecniche e normative vigenti, in particolare modo alle NTC2018 § 8, che definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

I riferimenti inseriti nel testo fanno capo ai seguenti documenti:

**NTC 2018:** Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: *“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”*, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ordinario n. 8.

**CSLP 7:** Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7 del 21 gennaio 2019: *“Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”* di cui al DM 17 gennaio 2018, pubblicata in Gazzetta Ufficiale n. 35 dell'11 febbraio 2019 - Suppl. Ordinario n. 5.

**DM 18-12-1975:** Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975: *“Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica”*, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 29 del 02 febbraio 1976.

### 3. ASPETTI TEORICI

#### 3.1. VALUTAZIONE CAPACITA' PORTANTE DEI SOLAI

Per poter determinare la capacità portante di un solaio e valutare contestualmente la sua idoneità in riferimento alle condizioni di carico previste, possono essere eseguite prove dirette, prove di carico statiche, o si può procedere con prove indirette basate su un approccio analitico.

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m²]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale</b>			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	<b>Uffici</b>			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b>			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale</b>			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	<b>Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale</b>			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	<b>Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)</b>			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di 5,00 2 x 50,00 1,00**		
H-I-K	<b>Coperture</b>			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

\*\* per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Tabella 1 – Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Nel caso delle prove di carico statiche, il solaio viene sottoposto all'azione esercitata direttamente da un sovraccarico, il cui valore è definito a partire da quello previsto dalle NTC2018 § 3.1.4. a seconda della categoria d'uso che assolve il contesto in cui è inserito (Tabella 1), secondo una combinazione di carico rara.

Con la verifica analitica viene invece stimato un coefficiente di sicurezza, definito come rapporto tra il momento resistente  $M_{Rd}$  e l'azione flettente sollecitante  $M_{Ed}$  allo SLU, valutati in corrispondenza della mezzeria del solaio. L'analisi è completata dalle valutazioni allo SLE, che constano di un confronto tra la deformabilità dell'elemento ed i valori limite da normativa NTC2018 § 4.2.4.2.2. (Tabella 2), e dalla determinazione del carico di esercizio massimo applicabile.

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento (Fig. 4.2.3) è definito come  

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2 \quad [4.2.60]$$

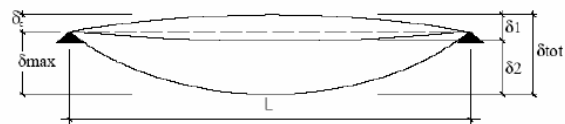


Fig. 4.2.3 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

$\delta_c$  la monta iniziale della trave,

$\delta_1$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,

$\delta_2$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,

$\delta_{max}$  lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale =  $\delta_{tot} - \delta_c$ .

Figura 1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

Tabella 2 – Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Alla base della verifica vi è la necessità di condurre il rilievo della sezione dell'elemento orizzontale, sia per quanto concerne la parte strutturale sia relativamente agli strati di finitura che staticamente costituiscono un carico portato.

Lo stesso rilievo è impostato su una campagna di indagini diagnostiche che prevede l'esecuzione di prove non distruttive, e che consente eventualmente di confermare le proprietà meccaniche dei materiali impiegati desunte dalla consultazione della documentazione fornita. Per la definizione del momento sollecitante  $M_{Ed}$ , nota l'incidenza del solaio, deve essere scelta una condizione di vincolo agli appoggi che aderisca il più possibile alla realtà.

### 3.2. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Al fine di poter valutare analiticamente la capacità portante e determinare la freccia teorica dei solai negli edifici esistenti, è necessario produrre una stima delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati per la definizione delle sezioni resistenti degli stessi elementi orizzontali. L'attività pratica si basa sulle indicazioni riportate nelle NTC2018 §8.5., che riportano:

*“Per conseguire un’adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di costruzioni sottoposte a tutela, ai sensi del D.Lgs. 42/2004, di beni di interesse storico-artistico o storico-documentale o inseriti in aggregati storici e nel recupero di centri storici o di insediamenti storici, dovrà esserne considerato l’impatto in termini di conservazione. I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell’entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.*

*Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i livelli di conoscenza dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare nelle verifiche di sicurezza”.*

In relazione alle tecnologie costruttive rilevabili a livello degli impalcati e per le quali si potrà procedere con la verifica analitica, si ritiene aderente alla normativa vigente considerare i livelli di conoscenza definiti per manufatti in calcestruzzo armato o acciaio, e riportati nella CSLP 7§8.5.4.2 (Tabella 3).

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(\*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

Tabella 3 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o acciaio.



L'eventuale accesso a documentazione che permetta di risalire alla datazione dell'intervento di costruzione del fabbricato o che fornisca informazioni relative alla conformazione degli elementi orizzontali ed ai materiali impiegati per la loro realizzazione, così come la possibilità di risalire ad eventuali interventi condotti sugli stessi elementi in un'epoca successiva a quella di edificazione (quali ad esempio il rinforzo o la sostituzione dei solai), permettono di accrescere il livello di conoscenza.

Le indagini in situ, che constano di rilievi al vero delle sezioni resistenti oltre alla valutazione qualitativa della stratigrafia del pacchetto di finitura, sono completate con prove sperimentali che permettono di confermare le caratteristiche meccaniche eventualmente desunte dalla consultazione di documentazione tecnica. Qualora questa non fosse reperibile o comunque non riportasse le informazioni necessarie, ci si baserà sulle informazioni desunte dalla consultazione dall'archivio digitale STIL, a partire dall'anno a cui risale il manufatto o comunque il solaio oggetto di valutazione. Il software fornisce un contributo alla conoscenza delle caratteristiche degli acciai da cemento armato impiegati in Italia nell'intervallo temporale 1950-2000. Esso si basa su un database di 19.140 prove di trazione su barre di acciaio effettuate e registrate presso il Laboratorio Sperimentale del Dipartimento di Ingegneria Strutturale della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Per le tipologie costruttive che realizzano gli impalcati oggetto delle verifiche, le indagini in situ e le valutazioni operate in fase di analisi, permettono di ottenere una limitata conoscenza sia a livello del rilievo di geometria e dettagli strutturali, sia in riferimento alla caratterizzazione meccanica dei materiali. È pertanto possibile considerare il raggiungimento di un livello di conoscenza LCI che determina la possibilità di condurre le verifiche di sicurezza adottando un fattore di confidenza FC pari a 1,35; quest'ultimo ha lo scopo di diminuire le resistenze dei materiali considerate nella verifica.

## 4. INQUADRAMENTO DEI RILIEVI

L'edificio oggetto delle verifiche ospita gli spazi dedicati alle attività didattiche della Scuola Materna di San Pietro, in relazione agli impieghi a cui destinati i vari ambienti, è possibile distinguere le categorie riassunte in Tabella 4, a cui è associato un corrispondente sovraccarico d'uso.

Nel caso dei solai di copertura, laddove in quest'ultimo non siano ubicati spazi e locali la cui destinazione d'uso contempli la fruizione da parte dell'utenza, verranno eseguite unicamente analisi visive tese alla ricerca di degradi e/o dissesti in quanto gli stessi elementi orizzontali sono sottoposti ad un carico di esercizio diverso da quello riferibile alle attività svolte nell'edificio.

Categoria	Descrizione	Sovraccarico d'uso
		$q_k$
		[kN/m <sup>2</sup> ]
H	Coperture accessibili per sola manutenzione	0,50

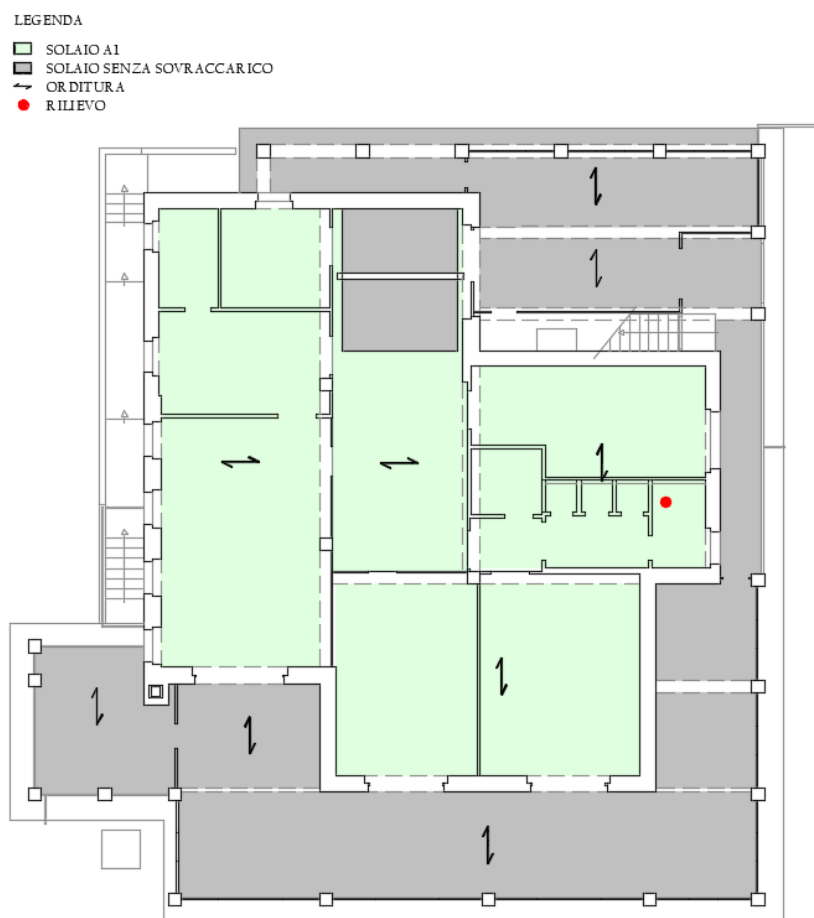
Tabella 4 – Categorie d'uso dei solai individuate nell'edificio

Negli schemi planimetrici riportati a seguire sono distinte con colorazioni differenti le diverse tipologie costruttive individuate durante il corso delle indagini, riassunte in Tabella 5, anche in relazione al sovraccarico d'uso. I solai contraddistinti da una colorazione grigia assolvono funzione di copertura e non sono pertanto sottoposti a verifiche analitiche.

Nome elemento	Descrizione	Categoria	Sovraccarico d'uso	Analisi eseguita
			$q_k$	
			[kN/m <sup>2</sup> ]	
<b>SOLAIO A</b>	Solaio in laterocemento con travetti ad armatura lenta	H	0,50	Verifica analitica

Tabella 5 – Tipologie di solaio individuate nell'edificio

Negli stessi schemi vengono indicati i punti in cui condotta l'analisi costruttiva, le posizioni laddove eseguite le prove di carico sono contrassegnate con una retinatura di colore rosso, le eventuali zone escluse dalle indagini sono rappresentate mediante una tramatura incrociata di colore grigio mentre le aree bordate con una linea rossa sono caratterizzate dalla presenza di un controsoffitto pesante.



Disegno 1 - Tipologie di solaio che realizzano l'impalcato di copertura del piano terra

## 5. METODOLOGIA DI INDAGINE

### 5.1. ANALISI TERMOGRAFICA

Al fine di poter individuare le differenti tipologie costruttive impiegate per la realizzazione degli impalcati del fabbricato, viene condotta una analisi visiva preliminare degli intradossi degli orizzontamenti che si basa sullo sfruttamento della tecnica di osservazione ad infrarossi. Questa analisi consente di operare una prima distinzione delle tipologie di solaio, principalmente in relazione alla tramatura osservata, ovvero alla scansione definita dell'orditura portante in relazione alla distanza e alla larghezza dei travetti. Ulteriori elementi che possono offrire riscontri per l'individuazione delle tipologie costruttive sono, ad esempio, la presenza di elementi rompitratta trasversali o il grado di nitidezza dei bordi dei travetti. Ciò può avvenire grazie alla sensibilità di misurazione dello strumento, che dà la possibilità di distinguere con colorazioni differenti, zone che ammettono temperature superficiali diverse.

#### 5.1.1. Caratteristiche del metodo

L'analisi termografica consente la rappresentazione dell'andamento della temperatura sulle superfici, basandosi sulla lettura delle radiazioni emesse nella banda dell'infrarosso da corpi sottoposti a sollecitazione termica. L'energia radiante è funzione della temperatura superficiale dei materiali, a sua volta condizionata dalla conducibilità termica e dal calore specifico, che esprimono in termini quantitativi l'attitudine del materiale stesso a trasmettere il calore. Per effetto dei differenti valori di questi parametri, specifici per ciascun materiale, i diversi componenti di un manufatto assumeranno differenti temperature sotto l'azione di sollecitazioni termiche. Tale caratteristica è sfruttata dalla termografia per visualizzare, con appositi sistemi, i differenti comportamenti termici dei materiali. Pertanto, la radiazione rilevata dalla termocamera non dipende unicamente dalla temperatura superficiale del manufatto inquadrato, ma è strettamente influenzata dalla sua emissività, ovvero dalla quantità di radiazione termica emessa, comparata con quella emessa dal perfetto corpo nero. L'emissività della maggior parte dei materiali da costruzione ha valori compresi tra 0,85 e 0,90. Le immagini visibili con la termocamera ad infrarossi sono elaborate in modo tale da poter minimizzare l'interferenza dei fattori climatici: risulta particolarmente importante impostare e bilanciare correttamente la temperatura ambiente.

#### 5.1.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

- Campo di misura della temperatura da  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Frequenza di immagine: 30 Hz
- Sensibilità termica (NETD) 50 mK @  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Risoluzione spaziale a  $45^{\circ}$ : 1,23 mRad
- Tipo di sensore: Focal Plane Array (FPA), microbolometro non raffreddato 640x480 pixels, vanadium oxide
- Campo spettrale da 7,8 a  $14\text{ }\mu\text{m}$

## 5.2. ANALISI COSTRUTTIVA

L'analisi termografica preliminare rende possibile distinguere le varie tipologie costruttive che realizzano gli impalcati ed allo stesso tempo consente di impostare la successiva fase di verifica, ovvero individuando le posizioni laddove procedere con demolizioni localizzate che permettano il rilievo delle caratteristiche geometriche e materiche dei solai. Tale procedura dà la possibilità di estendere i riscontri ottenuti ai vari orizzontamenti che ammettono la medesima tramatura dell'intradosso e sono interessati dallo stesso sovraccarico d'uso, limitando i punti di rilievo.

All'occorrenza, i rilievi sono stati completati con misurazioni indirette sfruttando meccanismi di trasmissione delle onde riflesse, tra una sonda emettente ed una ricevente. Tale metodologia, per nulla invasiva, ammette un errore di tolleranza di circa  $\pm 5\%$ , dovuto alle interferenze esterne ed interne alla struttura. Considerata la tipologia di elementi da rilevare, tale tolleranza appare del tutto accettabile; alcune quote riportate nelle schematizzazioni grafiche contenute nella presente relazione possono indicare, per tale motivo, un range della grandezza.

### 5.3. ANALISI ENDOSCOPICA

A completamento dell'analisi costruttiva, per ciascuna tipologia di solaio individuata si esegue un'ispezione endoscopica tesa alla valutazione qualitativa della stratigrafia del pacchetto di finitura, ovvero che permetta la stima dell'incidenza della parte non strutturale degli elementi orizzontali. Le osservazioni condotte mediante ausilio dell'endoscopio elettronico, danno infatti la possibilità di analizzare la consistenza dei materiali impiegati e rilevarne contestualmente lo spessore.

#### 5.3.1. Caratteristiche del metodo

Il metodo presenta caratteristiche vantaggiose che ne consentono l'utilizzo in qualsiasi situazione con la certezza dei risultati:

- Velocità di ispezione
- Precisione e dettaglio visivo
- Rapidità di acquisizione
- Possibilità di registrazioni di immagini e video

#### 5.3.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

- Diametro esterno 5,8 mm
- Luce bianca a LED regolabile
- Regolazione della messa a fuoco
- Memoria esterna da 2.0 Gb
- Direzione di visione panoramica su 360°
- Terminale specchiato per visioni laterali

## 5.4. ANALISI PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE

Per i solai con orditure portanti in calcestruzzo armato, al fine di valutare la durabilità dei materiali costituenti la sezione resistente, viene eseguita l'analisi della profondità di carbonatazione. Questo fenomeno rappresenta una delle principali cause di innesco del processo di corrosione delle armature: il calcestruzzo carbonatato perde le proprietà passivanti protettive per l'acciaio, che a contatto con gli agenti aggressivi presenti nell'aria è esposto all'innesco della corrosione.

Il procedimento inserito nella norma UNI EN 14630 inerente alla "*Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo*" prevede di determinare le caratteristiche sullo stato di conservazione delle armature mediante il prelievo e l'analisi di campioni di calcestruzzo.

Il prelievo dei campioni può essere effettuato secondo tre differenti metodologie:

- tramite carotaggio, conforme alla norma UNI 6131:2002, di profondità e dimensione stabilita in funzione dello scopo dell'indagine;
- tramite prelievo di frammenti di calcestruzzo, nel caso di copriferri già visibilmente danneggiati o distaccati dall'armatura;
- tramite prelievo di polveri per mezzo di un trapano a percussione.

La misura della *profondità di carbonatazione* viene svolta utilizzando una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcol etilico, che vira al rosa se a contatto con materiali il cui pH è maggiore di  $8,3 \pm 10$  e rimane incolore per valori di pH inferiori.

Il calcestruzzo che riveste le armature, in genere caratterizzato da un pH compreso tra  $13 \pm 13,80$ , ha delle caratteristiche protettive nei confronti dell'acciaio che si ricopre di un film di ossido di pochi nanometri di spessore. L'alcalinità del calcestruzzo si riduce progressivamente al contatto con l'anidride carbonica presente nell'atmosfera, per cui il pH si riduce a valori inferiori a 9. In queste nuove condizioni il film di ossido viene distrutto e si annullano le condizioni di passività delle armature.

L'aggressione procede fino a ridurre considerevolmente la sezione resistente delle armature, la cui collaborazione con il calcestruzzo risulta per di più limitata dal decadimento dell'aderenza. I prodotti della corrosione, inoltre, occupano un volume maggiore rispetto allo strato metallico aggredito. L'aumento di volume all'interfaccia acciaio-calcestruzzo viene a generare elevate tensioni puntuali di trazione nel calcestruzzo che ne provocano la fessurazione.

La penetrazione della carbonatazione dipende, oltre che dalle caratteristiche intrinseche del getto di calcestruzzo (tipo di cemento, rapporto a/c, porosità, messa in opera, compattazione, stagionatura, fessurazione, copriferro) anche dalle condizioni ambientali (umidità, temperatura, concentrazione



CO<sub>2</sub> nell'aria, esposizione). In particolare la presenza di temperature superiori a 15°÷20°C e umidità relative dell'aria intorno al 60% costituiscono condizioni tali da permettere il verificarsi delle reazioni ma da impedire l'intasamento da parte dell'acqua liquida dei pori del calcestruzzo, fatto che ostacolerebbe il trasporto della anidride carbonica in fase gassosa.

La presenza di alternanza di condizioni di bagnato e asciutto, come quelle provocate dalla presenza di infiltrazioni, riduce leggermente i tempi di avanzamento del fronte di carbonatazione ma costituisce le condizioni migliori per la corrosione delle armature. Le differenze di esposizione costituiscono le principali variabili nell'avanzamento della propagazione della carbonatazione a parità di caratteristiche intrinseche dell'edificio. La Norma UNI EN 206, infatti, suddivide i livelli delle condizioni di aggressività ambientale definendo 4 livelli XC per la corrosione da Carbonatazione. Dove il calcestruzzo armato è esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione viene classificata come segue:

- XC1 - Secco o saturo
- XC2 - Umido, raramente secco
- XC3 - Moderatamente umido
- XC4 - Cicli di bagnamento e asciugamento

L'analisi della profondità di carbonatazione viene condotta mediante applicazione della soluzione di fenolftaleina sui travetti, nelle posizioni laddove condotta l'analisi costruttiva. Questa metodologia consente di suddividere in tre fasi l'evoluzione del degrado del calcestruzzo. Nelle schematizzazioni di seguito si riporta il diagramma di propagazione della carbonatazione e la corrispondente immagine dell'avanzamento all'interno dell'elemento in calcestruzzo con il corrispondente colore caratteristico.

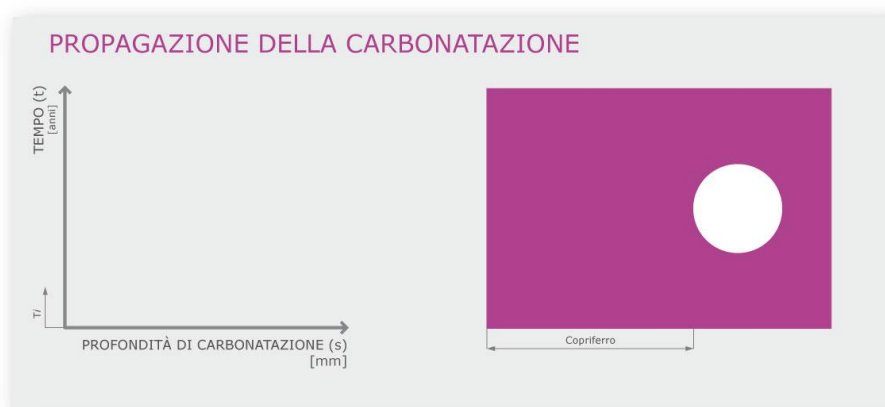


Figura 2 – Calcestruzzo non interessato dalla carbonatazione

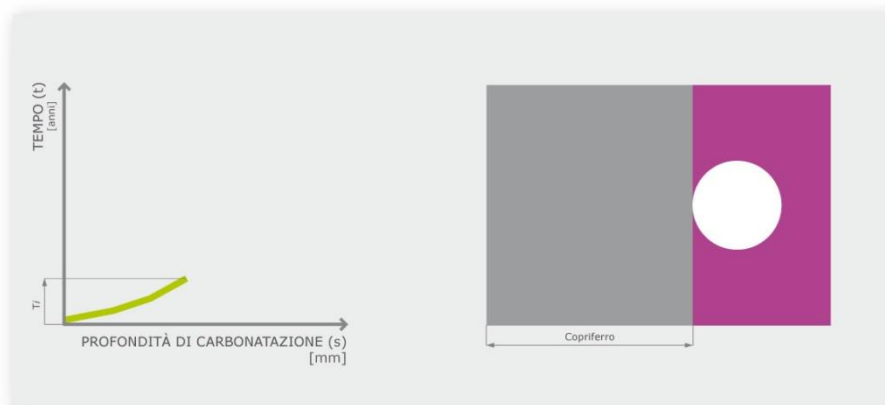


Figura 3 – Calcestruzzo carbonatato per una profondità minore o uguale allo spessore del copriferro

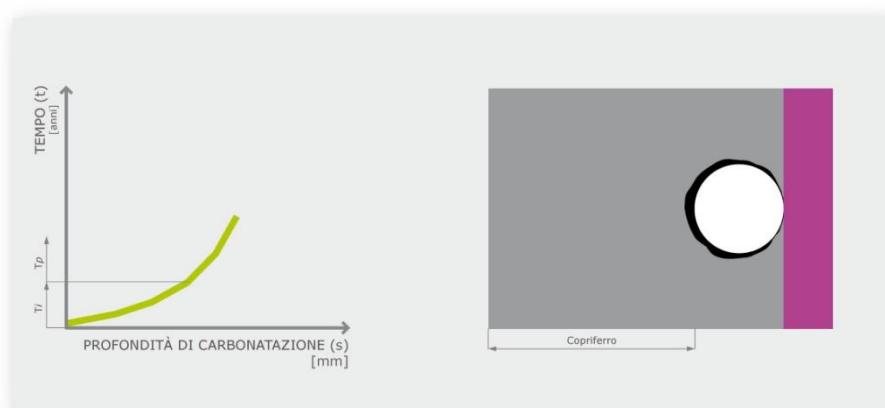


Figura 4 – Calcestruzzo carbonatato per una profondità superiore allo spessore del copriferro

## 5.5. VERIFICA ANALITICA

Laddove non si proceda all'esecuzione di una prova di carico statica, la verifica analitica permette la determinazione di un coefficiente di sicurezza oltre al valore del carico di esercizio massimo applicabile ad un solaio. La stessa verifica si basa sul rilievo completo della sezione trasversale del solaio, sia per quanto riguarda la porzione strutturale che per quanto concerne gli strati che costituiscono la parte superiore e non ammettono capacità portante: ciò consente di determinare il carico permanente per unità di superficie dell'elemento orizzontale. A questo vengono poi sommati la quota parte riferita ai tramezzi, valutandone l'incidenza, ed il carico di esercizio in relazione alla categoria d'uso, i cui valori sono riportati in Tabella 1.

Il valore così ottenuto permette di determinare l'entità delle sollecitazioni o tensioni agenti allo stato limite ultimo, calcolate in relazione al grado di vincolo presente in corrispondenza della connessione tra l'orditura portante del solaio e la corrispettiva struttura di supporto, scegliendo la configurazione statica più adeguata che in alcuni casi sarà meglio schematizzata da una trave su più appoggi mentre in altri da una trave semplicemente appoggiata alle estremità. Ad esempio al primo schema statico possono essere ricondotti i solai in laterocemento mentre al secondo quelle tipologie costruttive che prevedono orditure metalliche o lignee, data la loro non continuità con la struttura di supporto.

Il coefficiente di sicurezza sarà quindi calcolato come rapporto tra la sollecitazione o tensione resistente flessionale riferita alla sezione rilevata e la corrispettiva grandezza agente. Il carico di esercizio massimo applicabile sarà quindi pari a quel valore che permette di ottenere un coefficiente di sicurezza unitario.

In parallelo alle verifiche allo stato limite ultimo vengono condotte le verifiche allo stato limite di esercizio che constano in un confronto con valori di deformabilità limite; per quanto concerne i solai laterocementizi, il limite del rapporto luce/freccia è fissato a 250 ed i valori di calcolo sono definiti in base ad un coefficiente che permette di considerare la sezione come parzialmente reagente in relazione ad uno stato di fessurazione del calcestruzzo lungo il lembo teso. Relativamente ai solai in carpenteria metallica, la verifica della deformabilità della sezione deve soddisfare due parametri ( $\delta_{\max}$  e  $\delta_2$ ), riportati in Tabella 2.

Anche per quanto concerne i solai con orditure lignee deve essere verificata la deformabilità secondo due differenti parametri, riferiti il primo ad una deformazione istantanea ( $u_{2,ist}$ ) ed il secondo ad una deformazione a lungo termine ( $u_{net,fin}$ ), per i quali i limiti del rapporto luce/freccia è rispettivamente pari a 300 e 200.

Al fine di poter ricoprire la più ampia casistica di ciascuna tipologia costruttiva rilevata nell'edificio, la verifica verrà condotta nelle posizioni laddove le lunghezze delle campate assumono valore massimo.

## 5.6. ANALISI DUREZZA DELLE ARMATURE

La prova durometrica in sito permette di stimare la resistenza a trazione delle barre d'armatura, senza prelevarne un campione su cui eseguire prove di laboratorio. La prova durometrica non può sostituire il prelievo di campioni di barre d'armatura/profilati d'acciaio, ma permette di estendere la stima della resistenza a trazione, eseguita su un campione, ad un maggior numero di elementi. L'attrezzatura utilizzata è costituita da un durometro digitale a rimbalzo. La prova di durezza viene eseguita in modo conforme agli standard ASTM A956, DIN 50156.

Il principio di misura è il seguente: un dardo con una punta a elevata durezza viene scagliato da una molla sul campione, causando una deformazione plastica alla superficie che si traduce in una perdita di energia cinetica. Questa perdita di energia è quantificata misurando la differenza di velocità del dardo prima e dopo l'impatto con la superficie del campione ad una data distanza dalla superficie. Il magnete permanente incluso nel dardo genera una tensione indotta passando attraverso la bobina della sonda.

La tensione del segnale così ottenuta sarà direttamente proporzionale alla velocità del dardo attraverso la bobina.

L'elettronica dello strumento elabora il segnale fornendo la lettura della durezza. Lo strumento fornisce una misura diretta della durezza del campione (espressa in scala Leeb); il risultato può essere convertito nelle altre più comuni scale di durezza (HRC, HRB, HB, HV, HSD ecc.).

Per l'esecuzione della prova di durezza viene rimosso il copriferro in corrispondenza della barra d'armatura da campionare, per una porzione adeguata alla corretta preparazione del campione stesso; sulla porzione di barra scoperta viene creata una superficie piatta e a bassa rugosità su cui verrà eseguita la prova.

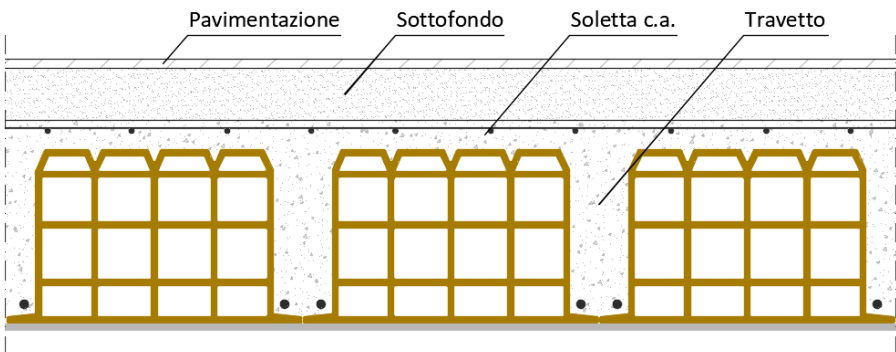



### 5.6.1. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

- Energia d'impatto: 11 Nm
- Punta sferica: Carburo di tungsteno,  $\varnothing 3$  mm
- Portata di misura: 150-950 HL
- Precisione:  $\pm 4$  HL (0,5% a 800 HL)
- Display: LCD ad alto contrasto.
- Temperatura di funzionamento: da  $-10$  °C a  $+60$  °C

## 6. RISULTATI DEI RILIEVI

Per ciascuna delle tipologie di solaio che realizzano gli impalcati del fabbricato, contraddistinte con colorazioni differenti negli schemi planimetrici al capitolo 4, sono riassunti in una scheda i risultati ottenuti dai rilievi condotti, di cui si restituisce una documentazione fotografica.

Le grandezze riportate fanno riferimento a sezioni rilevate in prossimità della mezzeria della campata.

Nome elemento	Descrizione		Categoria	
SOLAIO A	Solaio in laterocemento con travetti ad armatura lenta		C1	
<div></div>				
Orditura	Unidirezionale		Spessore pavimentazione	0 cm
Luce solaio	6,00	m	Spessore sezione resistente	222 cm
Interasse travetto	40	cm	Armatura travetto	2 $\phi$ 12
Larghezza travetto	8	cm	Spessore copriferro	1,5 cm
Altezza travetto	18	cm	Carbonatazione	
Spessore soletta	4	cm	Rapporto snellezza	1/23
Spessore sottofondo	0	cm	Presenza rompitratta	SI
Calcestruzzo			Acciaio in barre	
Classe	C20/25		Tipo	Barre lisce
$f_{ck}$	20	N/mm <sup>2</sup>	$f_{yk}$	430 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd}$	9,88	N/mm <sup>2</sup>	$f_{yd}$	277 N/mm <sup>2</sup>
<div></div>			<div></div>	
Analisi all'infrarosso in cui osservabile la scansione dell'orditura portante del solaio.			Demolizione puntuale dell'intradosso del solaio, disposta al fine di consentire il rilievo della conformazione costruttiva.	
L'analisi della durabilità del calcestruzzo ha dato modo di constatare che il processo di carbonatazione è attivo e raggiunge la profondità delle armature.				

## 7. RISULTATI DELLE ANALISI

Per ciascun solaio che realizza gli impalcati del fabbricato, nelle tabelle a seguire si riportano l'analisi dei carichi ed i risultati ottenuti.

Nei casi in cui sia stata eseguita una prova di carico statica sono riassunti i valori dell'abbassamento massimo e dell'abbassamento residuo oltre al parametro che consente la verifica della linearità. Nell'allegato alla presente relazione sono descritte nel dettaglio le prove eseguite ed i risultati ottenuti sono rappresentati sotto forma di grafici e tabelle per una miglior comprensione.

Laddove si è invece proceduto con un approccio analitico, sono riportati l'indice di sicurezza allo SLU con le grandezze che lo definiscono, i parametri per la verifica della deformabilità oltre al valore del sovraccarico massimo applicabile.

Nome elemento	Descrizione	Categoria	Analisi eseguita
<b>SOLAIO A</b>	Solaio in laterocemento con travetti ad armatura lenta	C1	Verifica analitica
Peso parte strutturale ( $g_1$ )	2,60 kN/m <sup>2</sup>	Momento sollecitante $M_{Ed}$	6,50 kNm
Peso parte non strutturale ( $g_2$ )	0,25 kN/m <sup>2</sup>	Momento resistente $M_{Rd}$	12,03 kNm
Sovraccarico d'uso ( $q_k$ )	0,50 kN/m <sup>2</sup>	Indice di sicurezza	1,85
Luce solaio	6,00 m	Verifica deformazione $\delta_{MAX}$	11,70 mm < 24,00 mm
Schema statico considerato	Semincastro	Carico massimo applicabile	>2,00 kN/m <sup>2</sup>
I risultati dell'analisi permettono di considerare il solaio adeguatamente organizzato in relazione alle condizioni di carico a cui è sottoposto.			

## 8. CONCLUSIONI

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto ad eseguire analisi diagnostiche e valutazioni tese alla verifica della conformità statica dei solai dell'edificio che ospita la Scuola Materna di San Pietro sito in Via Pradelli a Berbenno di Valtellina (SO).

I risultati emersi dalle analisi condotte sui solai che realizzano gli impalcati del fabbricato, consentono di esprimere valutazioni riguardo all'idoneità degli stessi elementi orizzontali, in relazione alle condizioni di carico previste dalle NTC2018.

L'esito delle analisi è sintetizzato in Tabella 6; per quanto concerne i solai valutati analiticamente si riportano l'indice di sicurezza determinato allo SLU e i risultati delle verifiche di deformazione allo SLE.

Al fine di permettere una loro classificazione, gli stessi esiti sono accompagnati da una simbologia grafica che sarà di colore verde qualora il solaio sia risultato idoneo, gialla nel caso in cui la valutazione sia subordinata all'esecuzione di prove integrative e rossa invece nel caso in cui l'elemento orizzontale sia non idoneo.


Nome elemento	Analisi eseguita	Risultati delle analisi	Esito
<b>SOLAIO A</b>	Verifica analitica	Indice di sicurezza 1,85	
		Verifica deformazione $\delta_{MAX}$ 11,70 mm	

Tabella 6 – Riepilogo dei risultati delle analisi eseguite

Per quanto concerne i solai di copertura, sottoposti ad un carico di esercizio diverso da quello riferibile alle attività svolte nell'edificio, sono state condotte osservazioni e rilievi al fine di individuare situazioni di degrado che riguardano le sezioni resistenti.

I rilievi e le analisi eseguite, coadiuvate dalle indagini diagnostiche, permettono di esprimere un giudizio circa la conformità statica dei solai che realizzano le strutture orizzontali del fabbricato, in relazione alle condizioni di carico a cui sottoposte ed al grado di conservazione che manifestano allo stato attuale. È evidente che una riduzione delle proprietà meccaniche dei materiali che costituiscono le sezioni resistenti, dovuta alla nuova formazione o alla perdurazione di fenomeni di degrado, determini contestualmente una diminuzione della capacità portante dei solai. Allo stesso tempo, il verificarsi di fenomeni eccezionali sia interni all'edificio, quali ad esempio incendi, allagamenti o esplosioni, che esterni, come eventi sismici o cedimenti in fondazione, richiederanno l'esecuzione di una nuova campagna di rilievi tesa all'accertamento delle capacità statiche residue della struttura.



Tutto ciò premesso,

Il sottoscritto tecnico incaricato, Ing. Marco Gallotta, sotto la propria responsabilità dichiara di essere iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano a partire dalla data del 12 marzo 2003 con iscrizione al n. A23113.

### CERTIFICA

che i solai contrassegnati con una colorazione verde in Tabella 6 possono considerarsi idonei all'uso attuale (riassunto in Tabella 5), in relazione sia al carico d'uso previsto dalle NTC2018 sia alle condizioni di conservazione rilevate alla data del 08 aprile 2021.

Berbenno di Valtellina (SO), 08 aprile 2021

Ing. Marco Gallotta

Tecnoindagini S.r.l.



**TECNOINDAGINI SRL**  
Via Monte Sabotino n° 14  
20095 Cusano M. (MI)  
P.IVA 06383520969

