STRESSLAB

CONFORMITÀ STATICA
DELLE STRUTTURE ORIZZONTALI

Scuola Primaria "Ugo Cipolli"
Via Tosco Romagnola, 1460 - San Casciano (PI)

Committente:
Comune di Cascina
Corso Giacomo Matteotti, 90
56021 Cascina (PI)

TECNOINDAGINI S.r.l.
Tel 02 36527601 fax 02 66304937 – www.tecnoindagini.it
con il supporto tecnico di: Ing. Juri Fasanini

INDICE

1. PREMESSA 3
2. INQUADRAMENTO DEI RILIEVI 4
3. METODOLOGIA D'INDAGINE 6
3.1. ANALISI TERMOGRAFICA 6
3.1.1. Caratteristiche del metodo 6
3.1.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature 6
3.2. ANALISI COSTRUTTIVA 8
3.3. ANALISI ENDOSCOPICA 9
3.3.1. Caratteristiche del metodo 9
3.3.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature 9
3.4. ANALISI PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE 10
3.5. ANALISI MEDIANTE STRESSLAB® 14
3.5.1. Caratteristiche del metodo 14
3.5.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature 14
3.5.3. Modalità di definizione ed applicazione del carico 15
3.6. VERIFICA ANALITICA 18
4. RISULTATI DELLE ANALISI 20
4.1. Tipologia solaio 1 21
4.2. Tipologia Solaio 2 23
5. CONCLUSIONI 25
ALLEGATO - PROVE DI CARICO DEI SOLAI

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza, si è proceduto a verificare le reali condizioni statiche dei solai dell'edificio che ospita la Scuola Primaria "Ugo Cipolli" sito in Via Tosco Romagnola, 1460 a San Casciano (PI).

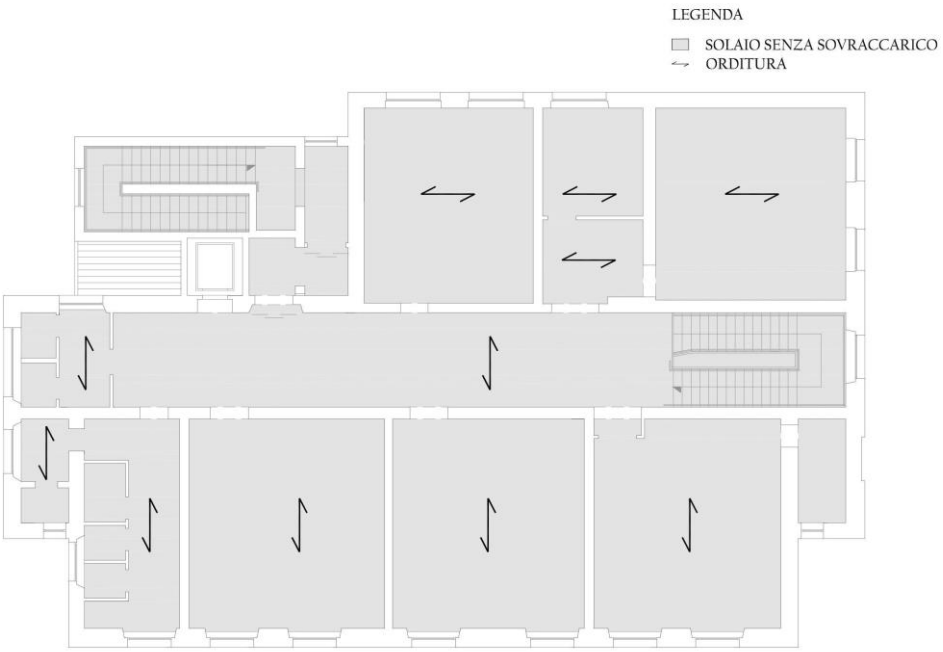
Laddove consentito dalla morfologia del fabbricato sono state condotte prove di carico statiche che permettono di stimare la deformata sperimentale dei solai oggetto di analisi, mediante applicazione diretta di un sovraccarico noto determinato in funzione del valore del carico di esercizio stabilito da normativa in relazione alla categoria dell'edificio, secondo una combinazione di carico rara.

Nei restanti casi si è invece proceduto con una verifica analitica che consente di definire un coefficiente di sicurezza oltre al valore del carico di esercizio massimo sostenibile. La stessa è permessa da una campagna di rilievi condotta in situ, che ha come obiettivo la determinazione delle caratteristiche dimensionali e geometriche degli elementi resistenti dei solai, oltre alla stima dei carichi permanenti strutturali e non strutturali. Nel caso di solai con struttura portante in calcestruzzo armato, i rilievi sono poi completati con l'analisi della profondità di carbonatazione del conglomerato cementizio, al fine di poterne verificare direttamente le condizioni di degrado e quindi la durabilità delle proprietà fisiche e meccaniche del materiale.

I rilievi sono stati pertanto condotti su ciascuna tipologia di solaio individuata, al fine di poter estendere le valutazioni all'intero edificio.

2. INQUADRAMENTO DEI RILIEVI

Nelle planimetrie riportate a seguire vengono distinte con colorazioni differenti le diverse tipologie costruttive individuate durante il corso delle indagini: in particolare con una campitura grigia sono indicate quelle che, pur avendo caratteristiche portanti, sono destinate ad una funzione ed a un carico di esercizio differente rispetto a quello della relativa destinazione d'uso mentre qualora vengano riscontrati solai che non ammettono funzione portante, gli stessi saranno evidenziati in giallo. Nelle stesse planimetrie, che si riferiscono all'impalcato che realizza il piano di calpestio del corrispettivo livello, sono inoltre riportate puntualmente le posizioni in cui è stata condotta l'analisi costruttiva mentre i locali oggetto di prova di carico statica diretta sono contrassegnati con una retinatura di colore rosso.



Disegno n°1 - Planimetria dell'impalcato di copertura del primo piano - Individuazione tipologie costruttive.

Disegno n°2 - Planimetria dell'impalcato di calpestio del primo piano - Individuazione tipologie costruttive in cui sono riportati i punti di rilievo ed i solai oggetto delle prove di carico.

3. METODOLOGIA D'INDAGINE

3.1. ANALISI TERMOGRAFICA

Al fine di permettere l'individuazione ed il riconoscimento delle principali tipologie costruttive impiegate per la realizzazione dei solai, viene compiuta un'osservazione generale degli intradossi degli orizzontamenti mediante termocamera ad infrarossi. Tale procedura consente di operare una prima distinzione delle modalità costruttive presenti, in relazione alla tramatura osservata e quindi alla distanza e alla larghezza degli elementi costituenti le orditure portanti. 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.

3.1.1. Caratteristiche del metodo

Lo scopo principale della termografia consiste nell'individuazione di errori e difetti nelle strutture e nella determinazione della loro natura ed estensione. Generalmente viene utilizzata per studiare l'andamento della temperatura sulle superfici esposte. Le variazioni nella resistenza termica possono infatti, in determinate condizioni, determinare differenze nella temperatura superficiale.

La termocamera permette di misurare e rappresentare la radiazione infrarossa emessa da un oggetto. La radiazione emessa dallo strumento, quale funzione della temperatura della superficie di un oggetto, permette di calcolare e visualizzare tale temperatura. La radiazione rilevata dalla termocamera non dipende solo dalla temperatura dell'oggetto ma è anche una funzione dell'emissività. L'emissività è una misura che si riferisce alla quantità di radiazione termica emessa dall'oggetto, comparata a 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 termiche visibili con la termocamera ad infrarossi sono realizzate in modo da minimizzare il più possibile l'interferenza dei fattori climatici; di conseguenza risulta particolarmente importante impostare e bilanciare correttamente la temperatura ambiente.

3.1.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

- Campo di misura della temperatura da −20 °C a +120 °C
- Frequenza di immagine: 30 Hz
- Sensibilità termica (NETD) 50 mK @ +30°C
- Risoluzione spaziale a 45°: 1,23 mRad
- Tipo di sensore: Focal Plane Array (FPA), microbolometro non raffreddato 640x480 pixels, vanadium oxide.

- Campo spettrale da 7,8 a 14 µm

3.2. ANALISI COSTRUTTIVA

L'analisi termografica preventiva ha reso possibile limitare le posizioni in cui procedere con le demolizioni superficiali dirette, necessarie per conoscere le caratteristiche costruttive dei principali elementi presenti. I rilievi strumentali hanno così permesso di estendere agli elementi meno accessibili i riscontri delle analisi dimensionali e materiche necessarie a completare il quadro dei risultati.

Localmente sono state eseguite delle demolizioni in corrispondenza dell'intradosso dei solai ed alcune perforazioni mediante trapano a percussione sulle pavimentazioni degli stessi elementi, rese necessarie dall'esigenza di determinare con precisione le caratteristiche geometriche e dimensionali della loro sezione trasversale. In particolare si è condotto il rilievo delle orditure portanti, che ha avuto come obiettivo la definizione della sezione dell'elemento resistente. Le perforazioni hanno in parallelo consentito di valutare qualitativamente i materiali costituenti i differenti strati di sottofondo e finitura che compongono la porzione superiore degli elementi orizzontali, al fine di determinarne lo spessore e quindi l'incidenza in peso.

Occorre precisare che in alcuni casi le misurazioni strumentali sono state eseguite sfruttando meccanismi di trasmissione delle onde riflesse, tra una sonda emettente ed una ricevente. Tale metodologia, per nulla invasiva o distruttiva, ammette un errore di tolleranza di circa ±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 nella misurazione.

3.3. ANALISI ENDOSCOPICA

Le osservazioni condotte mediante l'ausilio dell'endoscopio elettronico, ove ritenuto necessario, hanno dato la possibilità di integrare e/o completare le informazioni ottenute durante l'analisi costruttiva e consentito, in modo puntuale, la verifica degli spessori delle varie stratigrafie individuate nelle strutture orizzontali. Il procedimento permette l'esecuzione di un rilievo puntuale con un metodo non invasivo, effettuando un foro di dimensioni ridotte, necessario al passaggio della sola sonda videoendoscopica.

La strumentazione di ispezione è composta da un endoscopio flessibile alla cui estremità è posizionato un obiettivo interscambiabile con visione variabile da 15° in avanti a retroguardia 135°, con lampadina LED incorporata alimentata da un regolatore di intensità luminosa. L'immagine viene visualizzata dalla telecamera e trasferita al display per la successiva memorizzazione su scheda di memoria. L'analisi delle immagini registrate consente così la ricostruzione della stratigrafia di una struttura, evitando l'esecuzione di demolizioni.

3.3.1. 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 per una rielaborazione successiva

3.3.2. 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 370°
- Terminale specchiato per visioni laterali

3.4. ANALISI PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE

Al fine di consentire la valutazione della durabilità dei materiali costruttivi, per i solai che impiegano tecnologia laterocementizia è stato eseguito il rilievo della profondità di carbonatazione. Quest'ultima, infatti, costituisce una delle principali cause di innesco della corrosione delle barre di armatura dei travetti: il calcestruzzo carbonatato perde le proprietà passivanti e di protezione per l'acciaio, che in particolari condizioni igrometriche è a rischio di corrosione.

Il procedimento previsto dalla 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÷10 e rimane incolore per valori di pH inferiori.

Il calcestruzzo che riveste le armature, in genere caratterizzato da un pH compreso tra 13÷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 CO2 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.

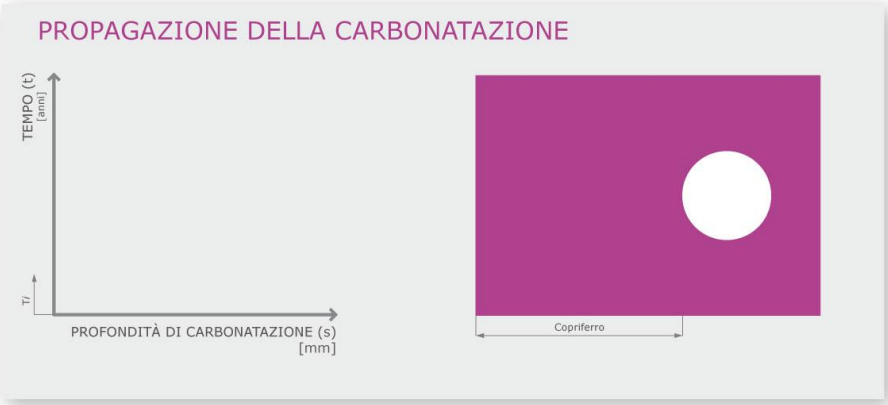
La Norma UNI EN 206, infatti, suddivide i livelli delle condizioni di aggressività ambientale definendo 4 livelli XC per la corrosione da Carbonatazione.

Dove il calcestruzzo armato è esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione viene classificata come segue:

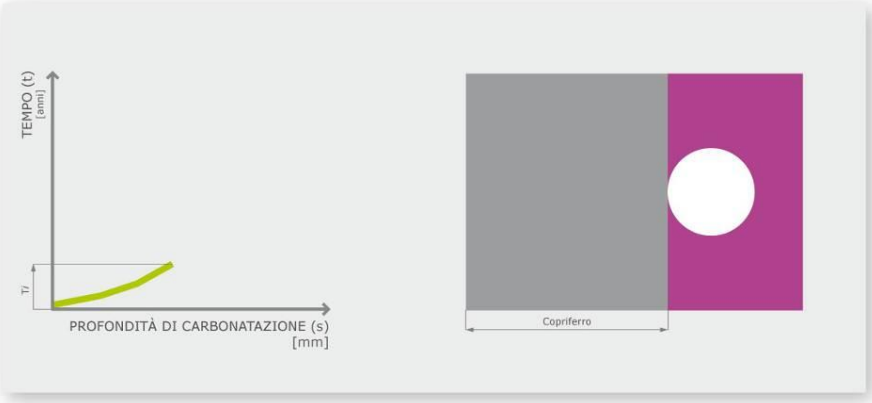
- XC1 – Secco o saturo
- XC2 – Umido, raramente secco
- XC3 – Moderatamente umido
- XC4 – Cicli di bagnamento e asciugamento

La determinazione della profondità di carbonatazione è stata eseguita su tutti i travetti in calcestruzzo in cui è stato eseguito il saggio attraverso l'applicazione della fenolftaleina. La reazione chimica del reagente avviene immediatamente. Il calcestruzzo carbonatato non modifica il suo colore, mentre quello non ancora raggiunto dalla carbonatazione assume il tipico colore rosa.

Questa metodologia consente di suddividere in tre fasi l'evoluzione del degrado del travetto in calcestruzzo. Nella schematizzazione posta 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.



FASE 1 – CALCESTRUZZO IN CUI LA CARBONATAZIONE NON È PRESENTE



FASE 2 – CALCESTRUZZO IN CUI LA CARBONATAZIONE NON GIUNGE ALLA ARMATURA

FASE 3 – CALCESTRUZZO IN CUI LA CARBONATAZIONE HA RAGGIUNTO L'ARMATURA

Nelle schede riassuntive riportate al capitolo 4.1, è contenuta la documentazione fotografica relativa all'analisi della profondità di carbonatazione oltre alla valutazione dell'evoluzione del degrado del travetto, secondo lo schema seguente:

FASE 1	●	Calcestruzzo integro	Armatura integra
FASE 2	●	Calcestruzzo carbonatato	Armatura ossidata
FASE 3	●	Calcestruzzo carbonatato	Armatura corrosa

3.5. ANALISI MEDIANTE STRESSLAB®

La prova di carico statica ha la finalità di misurare gli abbassamenti che subisce l'elemento strutturale, quale il solaio, sottoposto ad incrementi e decrementi progressivi di sovraccarico. L'esito della prova, secondo normativa (NTC08 - § Cap. 9.2), si valuta sulla base dei seguenti elementi:

- Le deformazioni accrescono all'incirca proporzionalmente ai carichi;
- Nel corso della prova non si siano prodotte fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti che compromettono la sicurezza o la conservazione dell'opera;
- La deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non superi una quota parte di quella totale commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova;
- La deformazione elastica non risulti maggiore di quella calcolata.

3.5.1. Caratteristiche del metodo

Gli abbassamenti sono stati rilevati all'intradosso dell'elemento caricato, mediante utilizzo di trasduttori di spostamento di tipo resistivo con ritorno a molla. Gli stessi sono collegati ad una centralina per l'acquisizione di dati, in grado di registrare in modo continuo e con intervallo regolare, gli spostamenti verticali al variare del sovraccarico imposto. I trasduttori (o sensori) sono fissati meccanicamente all'estremità di aste telescopiche in alluminio con sistema di bloccaggio a morsetto e posti successivamente a contatto con l'intradosso dell'elemento caricato.

3.5.2. Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

Trasduttori di spostamento verticale.

- *Corsa: 50 mm*
- *Errore di linearità: +/- 0,1 % f.s.*

Serbatoio ad acqua.

- *Capacità: 10.000 l*
- *Dimensione impronta di carico massima: 4,50 m x 3,50 m*
- *Peso: 0,50 kN*

3.5.3. Modalità di definizione ed applicazione del carico

Completato il tracciamento degli allineamenti dei sensori, all'estradosso del solaio viene posizionato un serbatoio ad acqua, in modo tale da formare l'impronta definita in fase progettuale; a seguire viene effettuata la taratura degli stessi sensori e quindi avviata la fase di carico. Raggiunto il 100% del sovraccarico equivalente stabilito, e successivamente ad un intervallo di tempo per la stabilizzazione del solaio, può essere avviata la fase di scarico. Anche al termine di questa seconda fase, la registrazione degli spostamenti verticali viene prolungata al fine di permettere il riassestamento del solaio e la valutazione della deformazione residua. In entrambe le fasi della prova, al raggiungimento di livelli di carico prefissati, viene effettuata una lettura degli abbassamenti, verificando istantaneamente l'incremento della deformazione del solaio e l'andamento della curva carico-spostamento.

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	**Ambienti ad uso residenziale**. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	**Uffici**. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	 2,00 3,00	 2,00 2,00	 1,00 1,00
C	**Ambienti suscettibili di affollamento** Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	 3,00 4,00 5,00	 2,00 4,00 5,00	 1,00 2,00 3,00
D	**Ambienti ad uso commerciale**. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie…	 4,00 5,00	 4,00 5,00	 2,00 2,00
E	**Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale**. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	 ≥ 6,00 ——	 6,00 ——	 1,00* ——
F-G	**Rimesse e parcheggi**. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	 2,50 —	 2 x 10,00 —	 1,00** —
H	**Coperture e sottotetti** Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	 0,50 secondo categoria di appartenenza —	 1,20 —	 1,00 —
*	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 n°1 - Riepilogo dei valori del carico di esercizio suddiviso per destinazioni d'uso, indicati dalla NTC 14/01/2008.

La prova viene condotta riempiendo il serbatoio sfruttando l'impianto antincendio dell'edificio o in alternativa attingendo da un'autocisterna. La stima della quantità di acqua presente all'interno

dello stesso viene effettuata durante lo svolgimento della prova, misurandone l'innalzamento dall'estradosso del solaio

Il valore del sovraccarico equivalente applicato durante la prova è stato calcolato mediante equivalenza delle deformazioni di un'asta con doppio appoggio e carico uniformemente distribuito e della stessa asta con carico distribuito unicamente su un tratto centrale, imponendo che nel primo caso il carico fosse quello definito dalla normativa di riferimento, il cui riepilogo è riportato nella tabella n°1 (NTC08 - § Cap. 3.1.4).

3.6. VERIFICA ANALITICA

Come anticipato, la verifica analitica permette la determinazione di un coefficiente di sicurezza oltre al valore del carico di esercizio massimo sostenibile da un solaio, laddove non si è proceduto con l'esecuzione di una prova di carico statica. La stessa verifica si basa sul rilievo completo della sezione trasversale del solaio, sia per quanto riguarda la porzione strutturale che per quanto concerne invece gli strati che costituiscono la parte superiore e non ammettono capacità portante: ciò permette di determinare quindi 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 dell'edificio, quest'ultimo riportato nella tabella n°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 sostenibile sarà quindi pari a quel valore che permette di ottenere un coefficiente di sicurezza unitario.

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 n°2 - Riepilogo dei valori limite di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie, indicati dalla NTC 14/01/2008.

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, per la definizione delle frecce in fase di esercizio deve essere considerato il carico di esercizio massimo sostenibile definito allo stato limite ultimo e quindi condurre la verifica della deformabilità della sezione secondo due parametri, riportati nella tabella n°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 presente nell'edificio, la verifica verrà condotta nelle posizioni laddove le lunghezze delle campate assumeranno valore massimo.

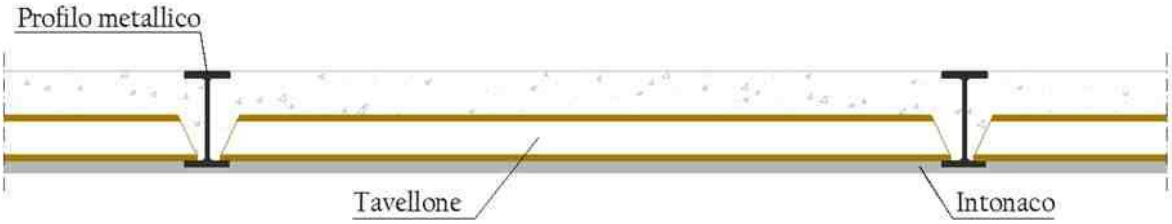
4. RISULTATI DELLE ANALISI

Per le varie tipologie di solaio individuate nell'edificio, contraddistinte con colorazioni differenti nelle planimetrie inserite al capitolo 2, viene riportata a seguire una scheda che riepiloga le caratteristiche geometriche e dimensionali della sezione trasversale rilevata, completa di documentazione fotografica. Nel caso in cui la stessa tipologia non sia stata oggetto di una prova di carico statica, la scheda riporta i risultati ottenuti mediante verifica analitica. Nei casi in cui invece sono state svolte prove di carico dirette, si dovrà fare riferimento all'allegato "Prove di carico dei solai" che illustra la metodologia impiegata per l'esecuzione delle stesse prove ed i risultati ottenuti.
L'esito delle analisi svolte è riassunto nella tabella n°3 al capitolo 5, in cui per ciascuna prova di carico si riportano i valori dell'abbassamento massimo al termine della fase di carico mentre per la verifica analitica è indicato il coefficiente di sicurezza determinato allo stato limite ultimo ed il rapporto luce/freccia inerente allo stato limite di esercizio.
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 l'idoneità è subordinata ad alcune prescrizioni e rossa invece nel caso in cui l'elemento orizzontale sia non idoneo.
I solai di calpestio dell'edificio presentano due differenti tipologie costruttive, la prima caratterizzata da profili in acciaio paralleli tra loro a cui sono interposti elementi in laterizio, la seconda caratterizzata dall'uso di travetti in cemento armato gettati direttamente in opera.

4.1. Tipologia solaio 1

Questo tipo di solaio è realizzato con profilati in acciaio paralleli tra loro, a cui sono interposti elementi in laterizio che definiscono un intradosso piano.

Lo schema della sezione trasversale e la tabella riportata di seguito mostrano le principali informazioni materiche e dimensionali dell'impalcato; completa la scheda di riepilogo una breve documentazione fotografica di quanto rinvenuto nel corso dell'indagine.



Disegno n°3 - Schematizzazione dell'andamento della sezione della Tipologia Solaio 1.

Caratteristiche Solaio

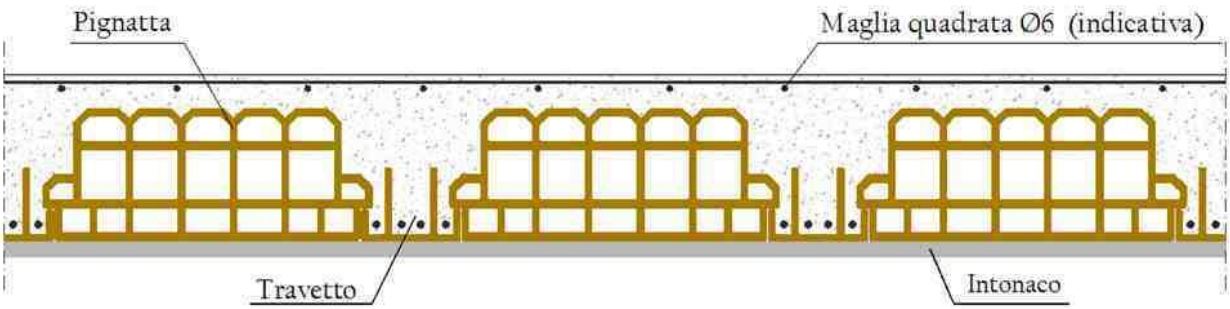
Profilo metallico	80		Spessore assito/tavellone	6	cm
Sezione profilo		cm	Spessore soletta		cm

Foto n°1 - Individuazione della Tipologia di solaio oggetto della prova di carico.

Foto n°2 - Particolare del profilo metallico utilizzato come elemento portante del solaio.

4.2. Tipologia Solaio 2

Le osservazioni effettuate a seguito dei saggi distruttivi e delle perforazioni meccaniche condotte durante il sopralluogo, hanno evidenziato la presenza di un solaio misto in laterocemento ottenuto dall'assemblaggio di cemento armato, con funzione resistente, e laterizi di alleggerimento.
Lo schema della sezione trasversale e la tabella riportata di seguito mostrano le principali informazioni materiche e dimensionali dell'impalcato; completa la scheda di riepilogo una breve documentazione fotografica di quanto rinvenuto nel corso dell'indagine.



Disegno n°4 - Schematizzazione dell'andamento della sezione della Tipologia Solaio 2.

Caratteristiche Solaio

Interasse travetto	50	cm	Larghezza alleggerimento	35	cm
Altezza complessiva	22	cm	Armatura	1ϕ12+1ϕ16	
Spessore soletta	4	cm	Spessore copriferro	0,8	cm
Larghezza travetto	9	cm	Carbonatazione		

Verifica Analitica

Luce solaio	600	cm	
Spessore solaio	22	cm	
Rapporto snellezza	27		
VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO			ESITO
M_{Ed}	20,64	kNm	
M_{Rd}	20,76	kNm	
Coefficiente di sicurezza	1,01		
VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO			ESITO
Luce/Freccia	277	>250	
Carico di esercizio massimo sostenibile	3,00	kN/mq	

Foto n°3 - Individuazione della Tipologia di solaio.

Foto n°4 - Dettaglio dell'analisi della profondità di carbonatazione eseguita sul travetto gettato in opera.

5. CONCLUSIONI

I risultati emersi dalle analisi dirette ed indirette eseguite sulle diverse tipologie di solaio presenti all'interno dell'edificio, consentono di fare delle considerazioni riguardo all'idoneità degli stessi elementi orizzontali, in relazione alle condizioni di carico a cui sono sottoposti.

Il giudizio sui solai oggetto di prova di carico si basa sulle indicazioni fornite dalla normativa (NTC08 - § Cap. 9.2), in particolare dagli esiti ottenuti dalle prove si evince che:

- Le deformazioni accrescono all'incirca proporzionalmente ai carichi;
- Nel corso della prova non si sono prodotte fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti che compromettono la sicurezza o la conservazione dell'opera;
- La deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non supera una quota parte di quella totale commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova;
- La deformazione elastica non risulta maggiore di quella calcolata.

L'esito delle analisi dirette e/o indirette eseguite sui vari impalcati dell'edificio è sintetizzato di seguito nella tabella n°3; per i solai sottoposti a prova di carico statica è indicato il valore di abbassamento massimo misurato al termine della fase di carico, mentre per quanto concerne i solai analizzati mediante verifica analitica si riporta il coefficiente di sicurezza calcolato.

Tipologia costruttiva	Analisi eseguita	Valore caratteristico		Esito
Tipologia solaio 1	Prova di carico	Abbassamento massimo [mm]	3,36	●
Tipologia Solaio 2	Verifica analitica	Coefficiente di sicurezza	1,01	●

Tabella n°3 - Riepilogo dei risultati delle analisi eseguite sulle varie tipologie di solaio.

Per quanto concerne i solai che non ammettono funzione portante o che non sono caratterizzati da un carico di esercizio in linea con la destinazione d'uso dell'edificio, in quanto sottotetti o coperture, sono state comunque svolte osservazioni e rilievi al fine rilevare situazioni di degrado sulle componenti strutturali dell'opera tali da pregiudicarne la sicurezza.

Le analisi, i rilievi e le prove eseguite all'interno dell'edificio, forniscono un giudizio sulla conservazione delle strutture orizzontali allo stato dei luoghi odierno. E' evidente che mutazioni delle condizioni al contorno, sia interne alla struttura, come incendi, allagamenti, esplosioni ecc, che esterni alla stessa, quali eventi sismici, cedimenti fondazionali o altro richiederanno nuove verifiche e valutazioni al fine di determinare le reali condizioni statiche della struttura.

Tutto ciò premesso,

Il sottoscritto tecnico incaricato, Ing. Nicola Salvadori, sotto la propria responsabilità dichiara di essere iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano a partire dalla data del 14 gennaio 2004 con iscrizione n°A23717.

Certifica

che le strutture orizzontali esaminate possono considerarsi idonee all'uso attuale.

San Casciano (PI), 30 agosto 2016

Ing. Nicola Salvadori

Tecnoindagini S.r.l.
Ing. Marco Gallotta
(DOCUMENTO FIRMATO DIGITALMENTE)

ALLEGATO

PROVE DI CARICO
DEI SOLAI

INDICE

1. PREMESSA 2

2. INQUADRAMENTO DELLA PROVA 3

3. PROVA DI CARICO 4

4. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 5

5. ANALISI DEI RISULTATI 6

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza, si è proceduto ad effettuare n°1 prova di carico all'interno dell'edificio che ospita la Scuola Primaria "Ugo Cipolli" sito in Via Tosco Romagnola, 1460 a – San Casciano (PI).

L'indagine è finalizzata alla verifica delle prestazioni del solaio meglio specificato nel seguito.

Al fine di garantire il comportamento statico di tale elemento e verificarne la relativa deformabilità, la prova di carico è stata eseguita nella data del **30 agosto 2016**.

Nella presente relazione verrà descritta ed argomentata la prova eseguita, specificando le modalità di esecuzione adottate ed i risultati delle misurazioni registrate nei cicli di carico e scarico.

Le prove di carico prevedono l'utilizzo di una procedura rigorosa per garantire l'acquisizione di tutte le informazioni necessarie ad una corretta diagnosi.

In particolare è fondamentale:

- ✓ effettuare un sopralluogo preventivo;
- ✓ individuare l'orditura dei solai oggetto delle prove;
- ✓ rilevare per ciascun solaio la tipologia costruttiva impiegata per determinare eventuali criticità;
- ✓ rilevare il posizionamento di travi ed elementi rompitratta;
- ✓ conoscere l'entità delle sollecitazioni secondo cui verificare gli impalcati sotto una azione di esercizio definita come "combinazione caratteristica rara".

Queste operazioni risultano fondamentali per conoscere al meglio l'oggetto dell'analisi e per procedere in tempi brevi al rilevamento di quanto necessario.

Per ogni solaio, individuati i campi di prova, si procede all'intradosso con il tracciamento degli allineamenti necessari all'individuazione dei punti in cui posizionare gli strumenti per la misurazione degli abbassamenti. Successivamente, all'estradosso del solaio, viene disposto il serbatoio all'interno dell'impronta definita dagli allineamenti individuati in precedenza.

Inducendo ai solai una sollecitazione incrementale fino al raggiungimento del sovraccarico prestabilito, che successivamente viene progressivamente rimosso, si procede in parallelo all'acquisizione degli spostamenti verticali nei punti indicati lungo gli allineamenti. I dati, registrati sia durante la fase di carico che in quella di scarico, vengono poi elaborati: i valori così ottenuti sono riportati nelle tabelle riepilogative e rappresentati mediante grafici che ne permettono una più rapida lettura.

2. INQUADRAMENTO DELLA PROVA

Nella tabella n°1 è possibile individuare la data di esecuzione e l'ora di inizio, oltre al valore del sovraccarico equivalente applicato.

INDIVIDUAZIONE SOLAIO	DATA ORA	SOVRACCARICO EQUIVALENTE APPLICATO
Solaio Aula 1 al primo piano	30/08/2016	3,60 kN/mq
	15:46	

Tabella n°1 - Identificazione della prova di carico con individuazione del solaio sottoposto ad indagine, della data di esecuzione e dell'ora di inizio, oltre al valore del sovraccarico equivalente applicato.

3. PROVA DI CARICO

In una fase precedente alle operazioni di carico vengono posizionate le aste telescopiche ed installati i sensori per la misurazione degli spostamenti verticali del solaio, ponendoli a contatto diretto con il plafone. I sensori sono disposti lungo due allineamenti, che risultano tra di loro ortogonali: quello principale (allineamento B), avente la medesima direzione dell'orditura portante, permette la misurazione degli abbassamenti del solaio e la determinazione della sua deformata sperimentale. L'allineamento secondario rende invece possibile la verifica della capacità di collaborazione trasversale dell'impalcato. Nella tabella n°2 viene riportata la posizione relativa di ciascun sensore rispetto all'origine delle coordinate, mentre il grafico riportato di seguito rappresenta la schematizzazione della disposizione dei sensori.

Tabella 2	Sensori						
	B1	B2	B3	B4	B5	A3	C3
Ascissa x [cm]	0	0	0	0	0	-200	200
Ordinata y [cm]	-300	-150	0	150	300	0	0

Tabella n°2 - Individuazione della posizione di ciascun sensore rispetto all'origine delle coordinate.

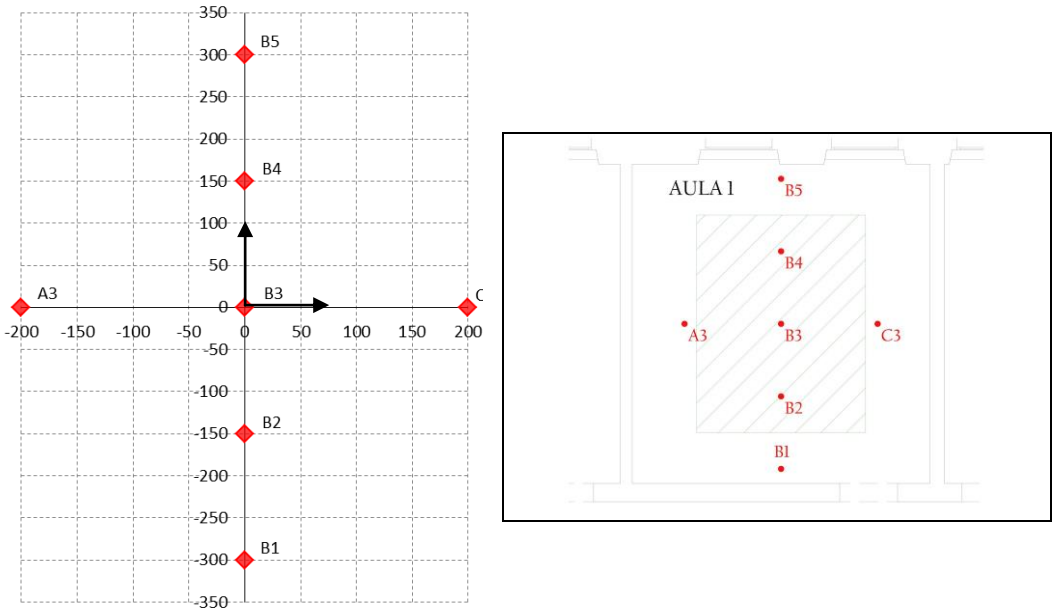


Grafico n°1 - Rappresentazione grafica della posizione dei sensori e del serbatoio.

4. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Le immagini riportate a seguire permettono di documentare la prova di carico eseguita; in particolare è possibile osservare la disposizione dei sensori all'intradosso del solaio caricato ed il posizionamento del serbatoio al piano superiore.

Foto n°1 - Posizionamento dei sensori di misurazione all'intradosso del solaio dell'aula 1 al piano terra.

Foto n°2 - Posizionamento del serbatoio all'estradosso del solaio dell'Aula 1 al primo piano.

5. ANALISI DEI RISULTATI

La prova ha seguito un andamento regolare in entrambe le fasi ed il massimo abbassamento del solaio è stato raggiunto in corrispondenza della sua mezzeria e registrato dal sensore B3. L'elaborazione dei dati registrati permette la rappresentazione degli abbassamenti lungo entrambi gli allineamenti, relativamente al raggiungimento dei livelli di carico prestabiliti; è possibile inoltre riportare che:

- la variazione delle deformazioni è avvenuta in modo strettamente proporzionale con l'incremento della sollecitazione impressa al solaio;
- nel corso della prova non si sono prodotte fratture, fessurazioni o dissesti;
- il comportamento del solaio è apparso complessivamente elastico con una deformazione residua adeguata;
- la deformata elastica massima è adeguata al tipo di sollecitazione e di solaio.

Di seguito si riporta in modo sintetico e con l'ausilio di grafici e tabelle, il riepilogo dell'elaborazione degli abbassamenti registrati.

Abbassamenti allineamento B			Sensori				
			B1	B2	B3	B4	B5
Step [hh:mm]	Fase	Ordinata [cm]	-300	-150	0	150	300
		Carico [kN/mq]	Abbassamenti [mm]				
00:00	0% Carico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:06	25% Carico	0,90	0,08	0,58	0,82	0,63	0,12
00:12	50% Carico	1,80	0,17	1,17	1,67	1,28	0,26
00:16	75% Carico	2,70	0,25	1,68	2,39	1,83	0,39
00:22	100% Carico	3,60	0,35	2,29	3,26	2,49	0,53
00:48	Stasi 100%	3,60	0,35	2,36	3,36	2,55	0,54
00:55	Residuo 75%	2,70	0,28	1,87	2,65	2,04	0,45
01:01	Residuo 50%	1,80	0,20	1,36	1,89	1,46	0,33
01:08	Residuo 25%	0,90	0,11	0,75	1,03	0,79	0,20
01:17	Residuo 0%	0,00	0,02	0,19	0,24	0,19	0,12
01:35	Stasi 0%	1,00	0,01	0,15	0,19	0,16	0,16

Abbassamenti allineamento 3			Sensori		
			A3	B3	C3
Step [hh:mm]	Fase	Ascissa [cm]	-200	0	200
		Carico [kN/mq]	Abbassamenti [mm]		
00:00	0% Carico	0,00	0,00	0,00	0,00
00:06	25% Carico	0,90	0,39	0,82	0,27
00:12	50% Carico	1,80	0,81	1,67	0,54
00:16	75% Carico	2,70	1,14	2,39	0,77
00:22	100% Carico	3,60	1,52	3,26	1,05
00:48	Stasi 100%	3,60	1,54	3,36	1,07
00:55	Residuo 75%	2,70	1,24	2,65	0,84
01:01	Residuo 50%	1,80	0,89	1,89	0,60
01:08	Residuo 25%	0,90	0,50	1,03	0,33
01:17	Residuo 0%	0,00	0,12	0,24	0,09
01:35	Stasi 0%	1,00	0,11	0,19	0,07

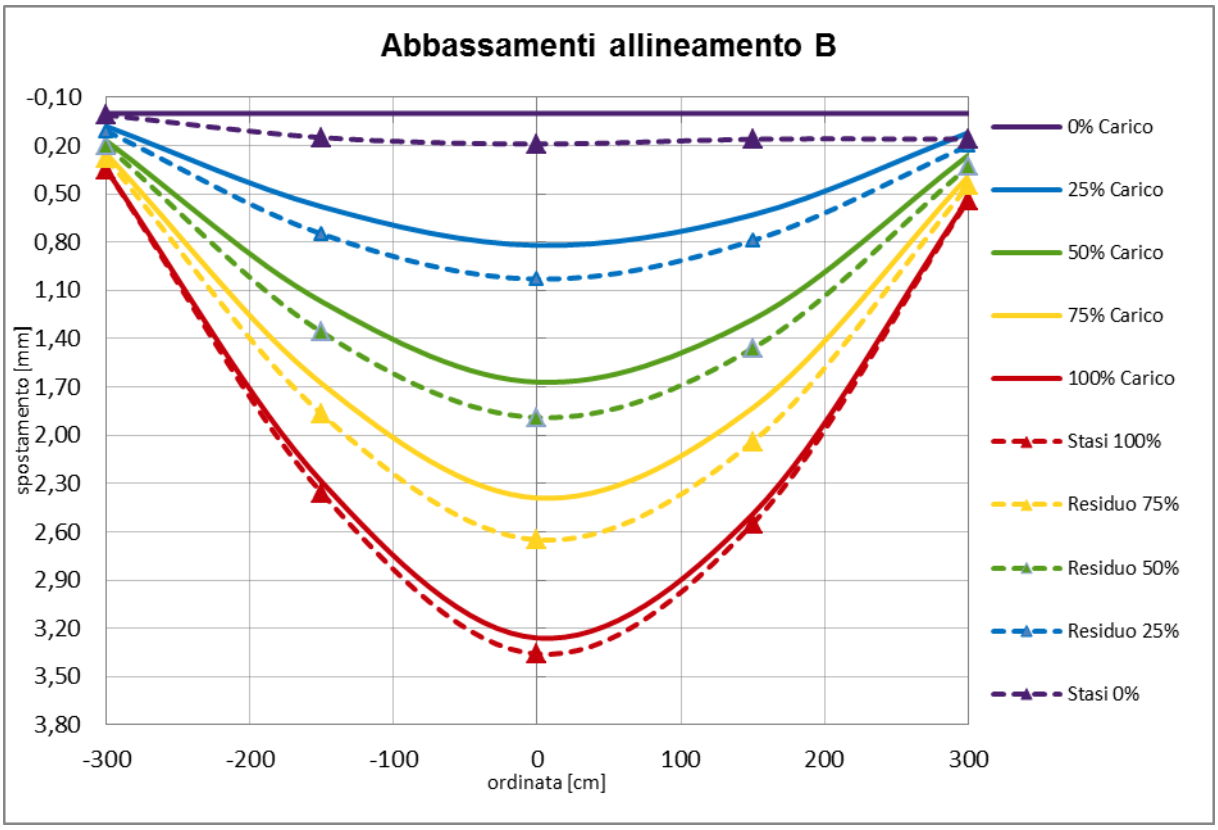


Grafico n°2 – Abbassamenti elaborati allineamento B.