



**NGT-TEST**  
Laboratorio sperimentale  
Controlli non distruttivi

**NGT-TEST S.R.L.**  
VIA FIUME BUSENTO N.157 88100 CATANZARO (CZ)  
TEL: 0961 764755 P.IVA 03257490791  
e-mail:ngt.testcz@gmail.com pec:ngttest@pec.it [www.ngt-test.it](http://www.ngt-test.it)  
LABORATORIO DI PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE  
AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
C.S.LL.PP. – STC D.M. n. 27 DEL 28/02/2020 Art.59 D.P.R. n.380/2001



## INFORMAZIONE TECNICA 07

Settembre 2023

**Al fine di contribuire a diffondere la conoscenza delle prove ed indagini in ambito delle strutture civili, il Laboratorio NGT-TEST ha iniziato questa attività di divulgazione relativa alle prove di laboratorio e prove su strutture esistenti, contestualizzate nel vigente quadro normativo. Il documento si rivolge ai colleghi ingegneri, architetti, geometri e tecnici che entrano nel merito delle prove in fase di qualificazione/accettazione sui materiali e delle campagne di indagini su strutture esistenti.**

# ANALISI SFONDELLAMENTO DEI SOLAI



NGT-TEST S.R.L.  
VIA FIUME BUSENTO N.157 88100 CATANZARO (CZ)  
GESTIONE QUALITA' CERTIFICATA ISO 9001  
TECNICI CERTIFICATI CND UNI PDR 56:2019 E UNI 9712:2012

Pag. 1 a 12



## ❖ Premessa

Considerata l'imminente inizio dell'anno scolastico, la NGT-TEST propone un articolo per sensibilizzare i tecnici verso la tematica dello sfondellamento dei solai, problematica molto diffusa negli edifici scolastici, oltre che negli edifici pubblici e negli Ospedali.

## ❖ 2. Inquadramento normativo

A seguito della morte di uno studente nell'anno 2008 per il crollo del soffitto nel Liceo Darwin di Rivoli, nel 2009 viene pubblicato un documento a cura della Protezione Civile "Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali arredi e impianti". Sempre nel 2008 venivano pubblicate le NTC 2008 e nel successivo Febbraio 2009 anche la circolare esplicativa, dava indicazioni sugli elementi non strutturali sottoposti ad azioni sismiche.

Tra le iniziative più recenti che affrontano la problematica dello sfondellamento dei solai bisogna ricordare quella promossa dal Governo attraverso il Ministero dell'Istruzione, la Ricerca e l'Università (MIUR) tramite un finanziamento per le indagini diagnostiche degli edifici scolastici.

La Legge n.107 del 13/07/2015 "La Buona Scuola", in particolare, autorizzava la spesa di 40 milioni di euro per il co-finanziamento da parte del MIUR, di indagini mirate allo sfondellamento dei solai degli edifici scolastici, a cui potevano attingere gli enti pubblici proprietari.

## ❖ Lo sfondellamento dei solai

Lo sfondellamento è il distacco e la successiva caduta della parte inferiore delle pignatte nei solai in laterocemento. Pur non essendo un problema strutturale, in quanto il fenomeno non comporta, generalmente, una perdita di stabilità del solaio nel suo complesso ed una riduzione significativa della sua capacità portante, può costituire un grande pericolo per la sicurezza di ambienti e persone, poiché il carico che si distacca di circa 1 mq può raggiungere un peso di 30÷60 Kg e generare situazioni imprevedibili.

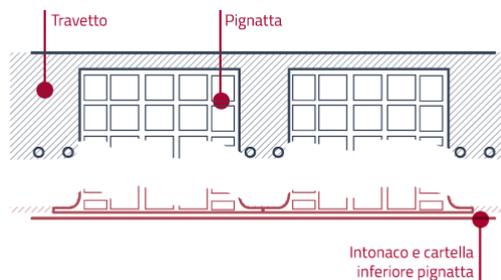


Figura 1- Immagine presa dal web

In alcuni casi lo sfondellamento è preceduto da **fenomeni quali fessurazioni, incrinature e avvallamenti**, ma **generalmente questi segnali non sono univoci e si manifestano solo in una**



**fase avanzata dello sfondellamento**, però grazie alla diagnostica, è possibile riconoscere il fenomeno prima che diventi pericoloso e quindi prevenire ogni possibile crollo.

I solai in latero cemento sono colpiti da tali fenomeni essendo costituiti da una parte piena in cemento armato (travetti) ed una parte di alleggerimento (blocco in laterizio) facendo sì che col passare degli anni possano crearsi ammaloramenti causati da:

- eccessive dilatazioni termiche,
- condizioni igrometriche non preventivate,
- errate concezioni di calcolo (eccessivi carichi gravanti o cattiva ripartizione delle azioni);
- scelte geometriche non analizzate (luci eccessive o posizionamento improprio di murature o elementi rompitratta);
- infiltrazioni d'acqua dall'esterno, condizioni d'uso, allagamenti, errato impiego dei locali o con modalità non previste.

La presenza di umidità nell'elemento strutturale, travetto, comporta la corrosione delle armature del solaio, la formazione di ruggine (idrossido di ferro), il conseguente aumento di volume dell'idrossido di ferro con espulsione del copriferro, ovvero della parte inferiore del travetto del solaio che trascina con sé anche parti più o meno estese del fondello e parte delle pignatte.

*Occorre ricordare che la produzione delle pignatte non era normata, nella Circolare n.91 del 1961 si trovano i primi riferimenti dimensionali e prestazionali concernenti le strutture di solaio, quindi, indicativamente tutte le scuole realizzate in epoca antecedente a tale data (circa il 60% delle scuole costruite) presenta elementi di alleggerimento potenzialmente rischiosi.*



## ❖ **Protocollo utilizzato dalla NGT-TEST per la verifica dello sfondellamento dei solai**

Per la valutazione del fenomeno dello sfondellamento dei solai la società NGT-TEST utilizza un protocollo di verifica composto dall'esecuzione di prove del tipo non distruttivo e semidistruttivo, utili all'ottenimento dei risultati per il riconoscimento dei principali fattori che possono essere causa del dissesto, e per l'elaborazione della successiva mappatura delle aree maggiormente interessate dal fenomeno.

Il protocollo utilizzato prevede il susseguirsi delle seguenti tipologie di analisi:

- analisi visiva (per la ricostruzione geometrica e tipologica del solaio interessato e per la mappatura del quadro fessurativo);
- analisi termografica (per l'individuazione di anomalie termiche e per lo schema dell'orditura del solaio);
- analisi endoscopica (indagine a supporto di quella visiva per l'individuazione di problemi intrinseci all'interno del solaio analizzato, ispezionando gli elementi-pignatte-per l'individuazione di eventuali lesioni delle cartelle delle stesse);
- battitura manuale (come primo approccio per l'individuazione delle aree a rischio);
- battitura strumentale (a supporto della battitura manuale);
- prove di carico per la verifica della risposta elastica del solaio interessato (a supporto delle indagini sopra citate);
- ispezione dei controsoffitti utile alla ricostruzione geometrica degli stessi, e alla valutazione del grado di salute degli elementi strutturali che lo compongono (qualora presenti).



### ❖ **Analisi visiva**

L'analisi visiva diretta è la metodologia più efficace per effettuare preventivamente un corretto esame dello stato di conservazione del solaio oggetto di analisi; consente di verificare la presenza di fenomeni evidenti, quali lesioni, principi di distacco di intonaco e/o della pignatta, ed anche di annotare semplicemente la presenza di anomalie quali macchie di umidità che potrebbero essere causate da eventuali infiltrazioni e trasudazioni di acqua.

#### **INDICAZIONI DI PROBLEMATICHE INDIVIDUATE CON ESAME VISIVO**

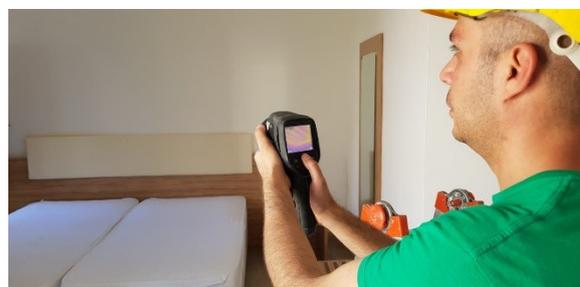


### ❖ **Termografia ad infrarossi**

La termografia è il metodo di controllo non distruttivo per eccellenza più efficace, che misura la radiazione infrarossa emessa da un corpo, ed è in grado di determinarne la temperatura superficiale del materiale. La termocamera genera delle mappe in falsi colori, rappresentative delle zone indagate. Queste mappe associano ad una temperatura rilevata un colore corrispondente. Con tale tecnica è possibile valutare differenze di temperatura dell'ordine dei centesimi di grado. La mappatura della temperatura superficiale è fondamentale per poter valutare lo stato di conservazione dei materiali stessi. Materiali a differenti temperature sono sintomatici di patologie di degrado in atto sull'edificio. Grazie alla rappresentazione attraverso un'immagine digitale (termogramma), la termografia consente di evitare interventi distruttivi finalizzati all'individuazione delle cause di un problema. L'indagine termografica finalizzata a verificare il fenomeno dello sfondellamento è utile per rilevare: l'orditura del solaio, le zone umide ed evidenziare le zone di disomogeneità del solaio, mettendo in evidenza aree laddove potrebbero esserci possibili degradi locali, distacco dell'intonaco dal supporto.



### ESAME TERMOGRAFICO SULLE AREE INDAGATE



#### ❖ Battitura manuale con palo cavo d'acciaio e punta piena

Tale esame viene effettuato sollecitando il plafone del solaio puntualmente con un palo cavo d'acciaio con punta piena in modo che tale percussione indotta produca un suono, considerato più o meno grave a seconda della frequenza dello stesso. Tale "auscultazione" sonora del solaio consente di effettuare una valutazione dell'esistenza di anomalie nel solaio e sull'estensione del fenomeno in atto. La battitura manuale viene eseguita contestualmente all'analisi termografica sull'intradosso dei solai.

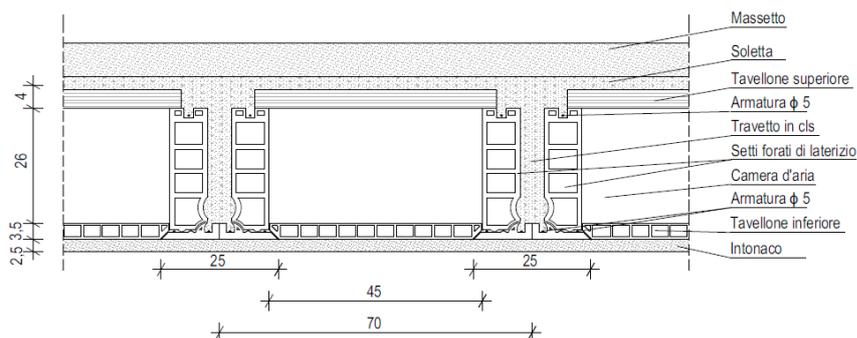
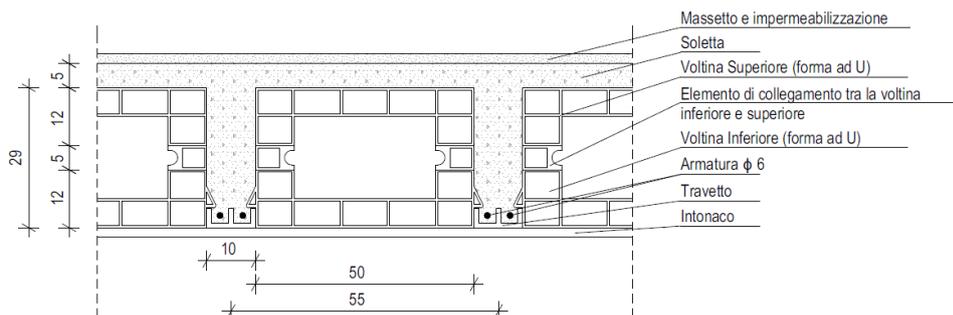
#### FOTO DURANTE L'ESECUZIONE DELLA BATTITURA MANUALE





*E' importante puntualizzare che, per non incorrere in errore, è sempre bene conoscere la tipologia di pignatta presente nel solaio, in quanto, quando il solaio è della tipologia di seguito riportata nei disegni - tavella inferiore, camera d'aria e pignatta superiore - il suono grave potrebbe far pensare che vi sia uno sfondellamento in atto, invece trattasi proprio del suono grave riconducibile alla tipologia di solaio.*

**ESEMPI DI TIPOLOGIA DI SOLAIO CHE PRESENTANO UN SUONO GRAVE DURANTE LA BATTITURA MANUALE**



**❖ Battitura strumentale**

L'analisi con battitura sonica strumentale è condotta per confermare le informazioni riscontrate durante la battitura manuale e le indagini termografiche, relative ad eventuali distacchi di intonaco, e di fenomeni più o meno in atto di sfondellamento dei solai. L'indagine ha il fine di verificare puntualmente la frequenza restituita dal solaio dopo la sollecitazione del plafone mediante una forza nota.



*Stativo, energizzatore, microfono  
e centralina di acquisizione*



*Centralina di acquisizione e Hardware*

La forza utilizzata per sollecitare il solaio mediante l'energizzatore è pari a 25 N.

Si specifica che a frequenze basse corrisponde un suono anomalo che presuppone che la sezione di solaio indagata sia compromessa da fenomeni di sfondellamento in atto. Al contrario, a frequenze alte corrisponde un suono omogeneo, che presuppone che la sezione di solaio indagata sia integra.

Prima di determinare tutti i punti di auscultazione con lo strumento, viene eseguita una lettura di taratura per individuare una sezione integra con frequenza alta.

**FOTO DURANTE L'ESECUZIONE DELLA BATTITURA STRUMENTALE**





❖ **Indagini endoscopiche**

L'endoscopia con videoispezione è una tecnica d'ispezione visiva diretta a distanza che permette di ottenere utili informazioni per determinare la tipologia di solaio, la presenza di lesioni nelle cartelle delle pignatte, lo stato di integrità del punto indagato, intercettare la presenza di anomalie o problematiche di diversa natura in zone difficilmente accessibili e ispezionabili. L'indagine è eseguita con l'inserimento e l'avanzamento di una sonda (rigida o flessibile) di diametro contenuto in un foro appositamente creato; la sonda è dotata di un gruppo ottico con sorgente luminosa collegato direttamente ad un monitor. Questo strumento d'indagine è in grado di verificare e documentare la visione interna degli elementi indagati con la possibilità di memorizzare immagini e filmati. E' un'indagine di tipo non invasivo, semplice da eseguire, con risultati immediati.

**FOTO DELLE INDAGINI ENDOSCOPICHE SULLE AREE INDAGATE**



❖ **Saggi visivi su solai**

I saggi visivi vengono eseguiti mediante demolizione con martello pneumatico al fine di caratterizzare la tipologia costruttiva del solaio e verificare le dimensioni degli elementi pignatta, travetto e armatura nella porzione di solaio indagata, generalmente sia nella sezione di estremità che in quella di mezzeria del solaio;

**FOTO SAGGI VISIVI SULLE AREE INDAGATE**





❖ **Prova di carico su solaio**

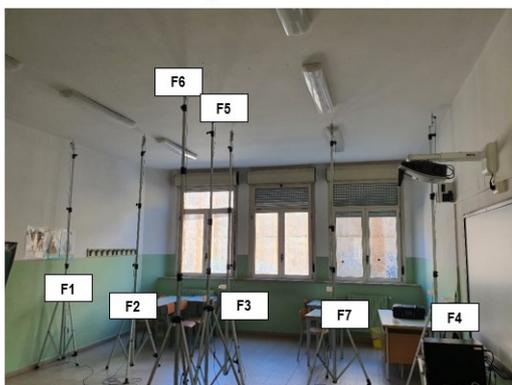
La prova di carico su solaio permette di determinare la resistenza e la risposta elastica mediante la valutazione degli abbassamenti sotto carico. Essa si può eseguire secondo due modalità di applicazione del carico statico:

- carico concentrato (prove a spinta);
- carico distribuito (serbatoi, piscine o autocarri);

La prova di carico a spinta consiste nel produrre, su una linea longitudinale del solaio, una o più forze equivalenti concentrate. Le forze sono calcolate in modo da produrre lo stesso stato tensionale massimo previsto dal progetto per l'applicazione del carico distribuito. Per produrre le forze si utilizzano uno o più martinetti che trasferiscono il peso del solaio superiore sulla linea di carico del solaio in esame.

**FOTO DURANTE L'ESECUZIONE DELLA PROVA CON CARICO CONCENTRATO**

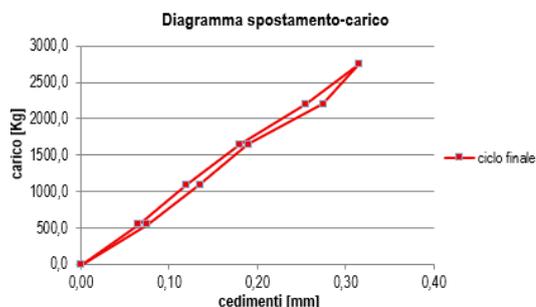
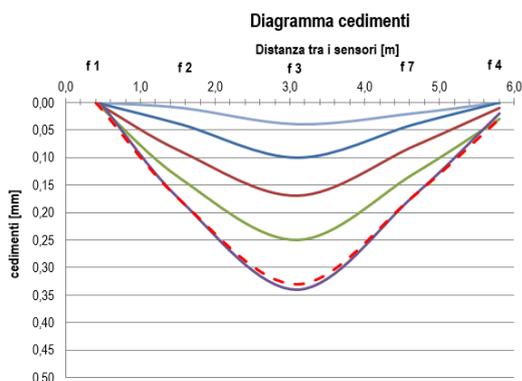
Piano terra - Indicazione posizionamento aste telescopiche con trasduttori



Piano primo- Indicazione dell'ubicazione del martinetto



**GRAFICI DELLA PROVA DI CARICO**





Nella prova di carico distribuito, il carico può essere simulato per mezzo di serbatoi in PVC riempiti di acqua o per mezzo di sacchi di cemento o altro; il carico è generalmente adagiato sul pavimento sovrastante l'estradosso della struttura da esaminare e applicato gradualmente secondo degli step di carico per il raggiungimento del sovraccarico di prova.

Al fine di misurare le deformazioni indotte nella struttura in rapporto ai successivi step di carico vengono posizionati, all'intradosso della struttura, dei trasduttori lineari di posizionamento con precisione centesimale, resi solidali al calpestio del piano sottostante. Tali sensori sono collegati ad un sistema d'acquisizione dati elettronico, che consente la lettura in tempo reale e la memorizzazione per la successiva elaborazione.

**FOTO DURANTE L'ESECUZIONE DELLA PROVA CON CARICO DISTRIBUITO**

Piano primo - posizionamento aste telescopiche con trasduttori

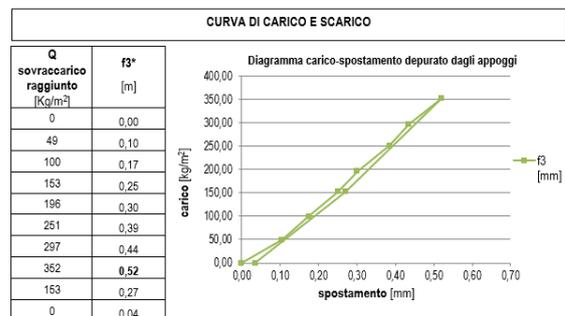
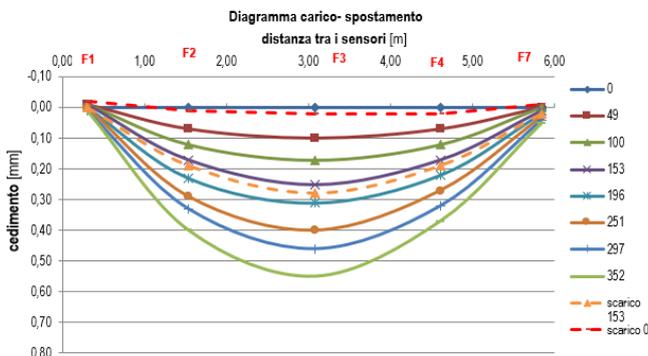


Piano secondo - posizionamento gommone



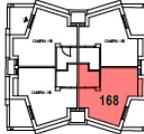
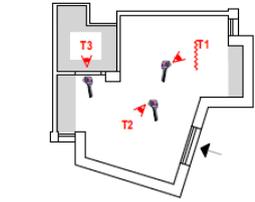
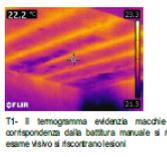
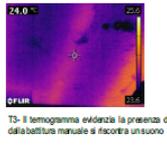
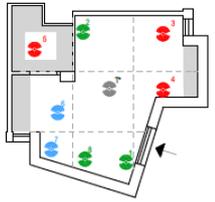
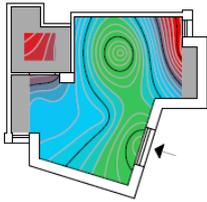
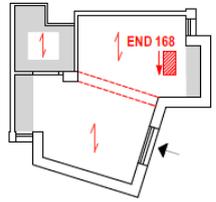
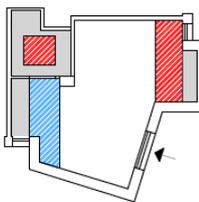
Gommone in fase di carico

**GRAFICI DELLA PROVA DI CARICO**





**ESEMPIO ANALISI SFONDELLAMENTO SOLAI E RESTITUZIONE CLASSIFICAZIONE LIVELLI DI RISCHIO A CURA DEL LABORATORIO NGT-TEST SRL**

AREA INDAGATA	ANALISI TERMOGRAFICA - BATTITURA MANUALE	BATTITURA STRUMENTALE	INDAGINI ENDOSCOPICHE ORDITURA DEI SOLAI																																						
<p><b>TIPOLOGIA: "BUNGALOW"</b> <b>ALLOGGIO 168</b> <b>SUPERFICIE: 26,5 mq</b> <b>QUOTA: PIANO TERRA</b></p>   <p><b>LEGENDA INDAGINI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Area non indagabile</li> <li>Lesione</li> <li>Term. n. Termogramma</li> <li>Orientamento Orditura solai</li> <li>Frequenza taratura strumento</li> <li>Livello frequenza alto</li> <li>Livello frequenza medio</li> <li>Livello frequenza medio-basso</li> <li>SVT n. Saggio Valvo travetto</li> <li>END n. Indagine endoscopica</li> <li>Direzione sonda</li> <li>Trave emergente</li> <li>Trave a spessore</li> <li>Rompitratta</li> </ul>	<p><b>ANALISI TERMOGRAFICA - BATTITURA MANUALE</b></p>  <p>T1 - Il termogramma evidenzia macchie diffuse riconducibili ad umidità in corrispondenza della battitura manuale si riscontra suono a bassa frequenza; da esame Valvo si riscontrano lesioni</p>  <p>T2 - Il termogramma evidenzia la presenza di umidità;</p>  <p>T3 - Il termogramma evidenzia la presenza di macchie diffuse riconducibili ad umidità; dalla battitura manuale si riscontra un suono a bassa frequenza</p>	<p><b>BATTITURA STRUMENTALE</b></p>  <table border="1" data-bbox="965 504 1077 593"> <thead> <tr> <th>RANGE DI FREQUENZA</th> <th>VALORI [Hz]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>&gt;800</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>400-800</td> </tr> <tr> <td>Medio-basso</td> <td>&lt;400</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="742 627 1029 884"> <thead> <tr> <th>PUNTO D'INDAGINE</th> <th>FREQUENZA (Hz)</th> <th>LIVELLO DI FREQUENZA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>*T</td> <td>816</td> <td>alto</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>785</td> <td>alto</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>660</td> <td>alto</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>363</td> <td>medio-basso</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>379</td> <td>medio-basso</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>393</td> <td>medio-basso</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>510</td> <td>medio</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>586</td> <td>medio</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>610</td> <td>alto</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>MAPPATURA CROMATICA DELL'AREA INDAGATA</b></p> 	RANGE DI FREQUENZA	VALORI [Hz]	Alto	>800	Medio	400-800	Medio-basso	<400	PUNTO D'INDAGINE	FREQUENZA (Hz)	LIVELLO DI FREQUENZA	*T	816	alto	1	785	alto	2	660	alto	3	363	medio-basso	4	379	medio-basso	5	393	medio-basso	6	510	medio	7	586	medio	8	610	alto	<p><b>INDAGINI ENDOSCOPICHE ORDITURA DEI SOLAI</b></p>  <p>END.168</p>  <p>Si evidenzia la presenza di lesioni nelle catene delle pignone in direzione dei fori</p>  <p><b>CLASSIFICAZIONE LIVELLO DI RISCHIO</b></p>  <p>Livelli di rischio: Alto (Red) Medio (Blue)</p>
RANGE DI FREQUENZA	VALORI [Hz]																																								
Alto	>800																																								
Medio	400-800																																								
Medio-basso	<400																																								
PUNTO D'INDAGINE	FREQUENZA (Hz)	LIVELLO DI FREQUENZA																																							
*T	816	alto																																							
1	785	alto																																							
2	660	alto																																							
3	363	medio-basso																																							
4	379	medio-basso																																							
5	393	medio-basso																																							
6	510	medio																																							
7	586	medio																																							
8	610	alto																																							
<p>NGT-TEST S.R.L. LABORATORIO Sperimentale di Prove su Materiali da Costruzione AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI VIA FIUME BUSENTO N° 157 CATANZARO (CZ) TEL. 0961 764755 P.IVA 03257490791 E-MAIL: ngt.testcz@gmail.com PEC: ngttest@pec.it www.ngt-test.it</p> <p>Elaborazione a cura della Società: <b>NGT-TEST S.r.l.</b> Date Indagini: 04-08/05/2020</p> <p>Committente: <b>Tecnic</b> richiedenti: <b>Proprietà:</b></p>			<p>Descrizione e ubicazione intervento : INDAGINI STRUTTURALI FINALIZZATE ALLA VERIFICA DI SFONDELLAMENTO DEI SOLAI ESEGUITE PRESSO STRUTTURA TURISTICA</p> <p>Descrizione elaborato :INDAGINI ESEGUITE SULLA TIPOLOGIA "BUNGALOW"- ALLOGGIO 168</p> <p><b>ALLOGGIO 168</b></p>																																						

**A CURA DEL LABORATORIO NGT-TEST**

LE ALTRE INFORMATIVE POSSONO ESSERE SCARICATE DAL SITO WEB [www.ngt-test.it](http://www.ngt-test.it) NELLA SEZIONE "CONTENUTI"

Si specifica che:

-considerata la complessità degli argomenti si consiglia sempre di verificare il contenuto esposto, il laboratorio NGT-TEST srl declina ogni responsabilità.

