

# COMUNE DI COMACCHIO



## ADEGUAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA PRIMARIA FATTIBELLO DI COMACCHIO - I e II LOTTO

Proprietà' : Comune di Comacchio

Committente : Comune di Comacchio

Cantiere : Scuola Primaria Statale "Fattibello" - via Fattibello, 1 - Comacchio (FE)

### PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Progettista : Ing. Denis Zanetti

via Mulinetto, 35 44100 FERRARA  
tel.: +39 0532 765117  
fax : +39 0532 769513  
e-mail : info@mezzodrinegneria.it

POS.	7844	tav	REL.03	scala	data
					10.06.2021

Oggetto dell'elaborato:

INDAGINI SPECIALISTICHE

revisione	descrizione	elaborato	data
<u>A</u>	PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO	L.C.	17.06.2021
<u>B</u>			
<u>C</u>			
<u>D</u>			

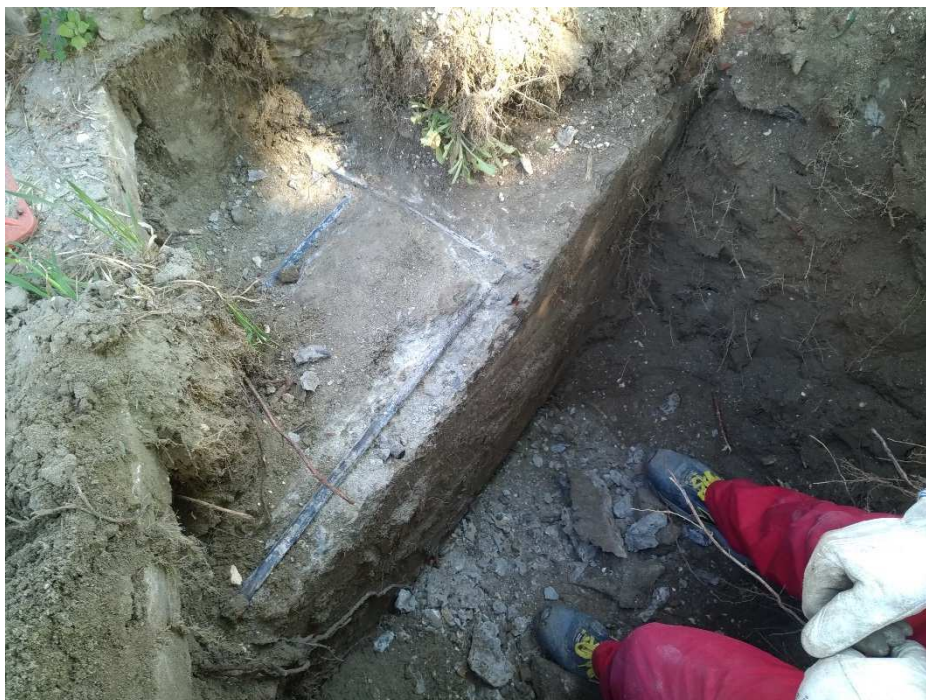
La diffusione, distribuzione e/o copia del documento trasmesso da parte di qualsiasi soggetto diverso dal destinatario e' proibita, sia ai sensi dell' art. 616 c.p., sia ai sensi del D. lgs. 196/2003

Committente

Comune di Comacchio

Oggetto

Indagini specialistiche sulle strutture di fondazione della Scuola Primaria Fattibello in Comacchio



Titolo

RAPPORTO CONCLUSIVO DI INDAGINE

Emesso:

ing. Rachele Ferioli

Approvato:

LABORATORI INGEGNERIA  
FERRARA S.R.L.  
Partita IVA 047904060389

Ing. Sergio Tralli

1756	12	00	Prima emissione	28/04/2021	comm1756-doc12-rev00-FATTIBELLO
Commessa	Documento	Rev.	Motivazione	Data	Nome file



**INDICE**

1. PREMESSA.....	5
2. PIANIFICAZIONE CAMPAGNA DI INDAGINE .....	6
2.1 Identificazione dei punti di indagine .....	6
3. RILIEVO DELLE SEZIONI RESISTENTI .....	7
4. PRELIEVO DI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO .....	8
5. PROVA DI ROTTURA PER COMPRESSIONE .....	10
6. MISURA DELLA PENETRAZIONE DELLA CO <sub>2</sub> .....	11
7. PROVE DI TRAZIONE SU BARRE DA C.A.....	12
8. ELENCO ALLEGATI.....	13

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1: inquadramento cartografico del complesso edilizio in oggetto .....	5
Figura 2: vista aerea con identificazione dell'edificio oggetto di indagine .....	5
Figura 3: localizzazione e determinazione del tipo e del diametro delle barre longitudinali e trasversali – indagine ID 1 .....	7
Figura 4: localizzazione e determinazione del tipo e del diametro delle barre longitudinali e trasversali – indagine ID 2 .....	7
Figura 5: prelievo di campione mediante carotaggio – indagine ID 1 .....	8
Figura 6: prelievo di campione mediante carotaggio – indagine ID 3 .....	8
Figura 7: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID1 .....	9
Figura 8: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID2 .....	9
Figura 9: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID3 .....	9
Figura 10: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione – ID1 .....	10
Figura 11: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione – ID2 .....	10
Figura 12: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione – ID3 .....	10
Figura 13: soluzione idroalcolica di fenoltaleina all'1% .....	11
Figura 14: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico – ID1 .....	11
Figura 15: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico – ID2 .....	11
Figura 16: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico – ID3 .....	11
Figura 17: accettazione fotografica – ID1A .....	12
Figura 18: accettazione fotografica – ID1B .....	12
Figura 19: accettazione fotografica – ID2 .....	12



# 1. Premessa

Su incarico della Committenza, **Comune di Comacchio**, la scrivente società ha eseguito una campagna di indagini specialistiche sulle strutture di fondazione della Scuola Primaria Fattibello a Comacchio (FE).

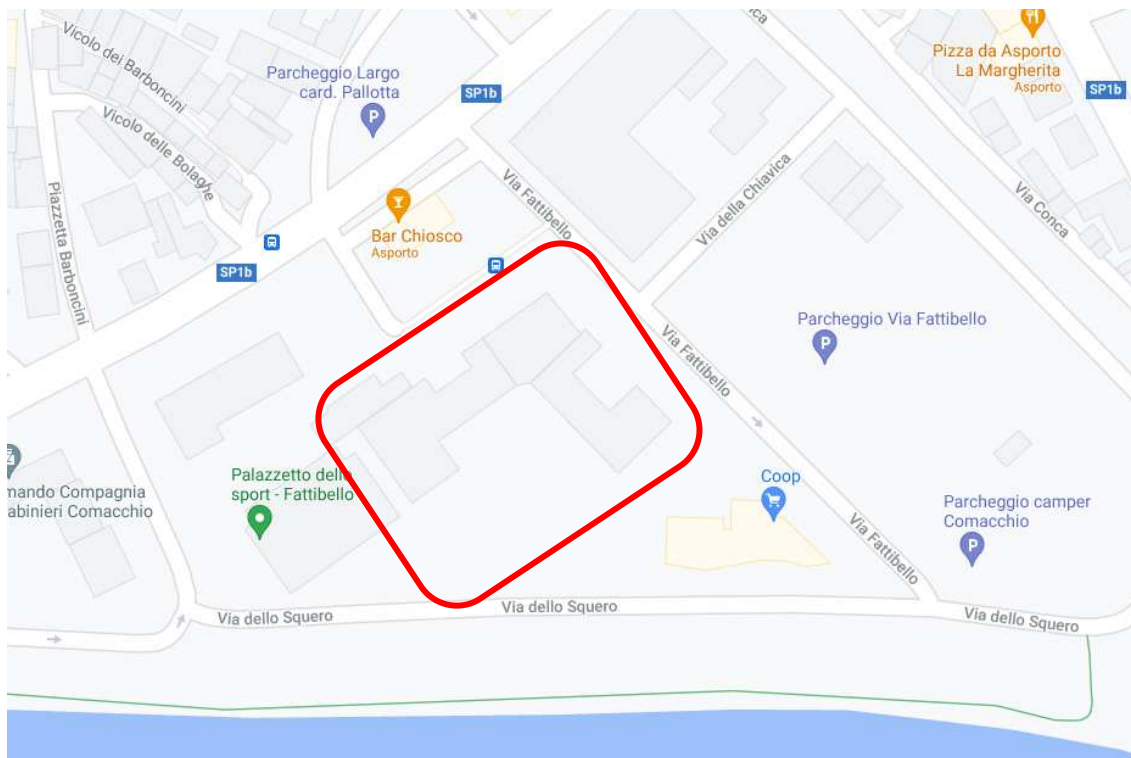


Figura 1: inquadramento cartografico del complesso edilizio in oggetto

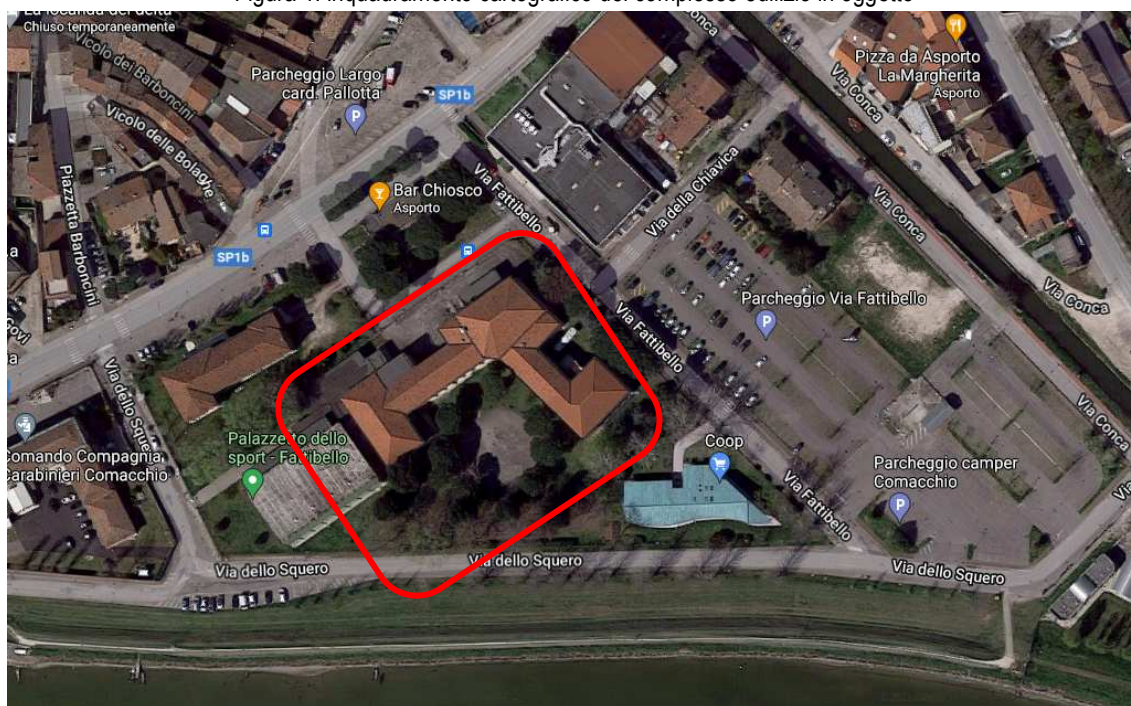


Figura 2: vista aerea con identificazione dell'edificio oggetto di indagine

## 2. Pianificazione campagna di indagine

La campagna di indagine, pianificata in accordo con la Committenza e con i progettisti incaricati delle verifiche, ha previsto sia attività da eseguire in situ sia attività di laboratorio.

Le attività in situ sono state svolte in data 23/04/2021.

La presente relazione tecnica descrive prevalentemente le fasi di lavoro svolto e riassume i risultati ottenuti. Per le modalità di esecuzione delle prove si rimanda alle relative normative di riferimento.

### 2.1 Identificazione dei punti di indagine

Ad ogni punto di indagine viene assegnato un contrassegno numerico in ordine progressivo crescente. Per collocare esattamente il punto di indagine sulla struttura, si deve far riferimento agli elaborati grafici contenuti in *Allegato 1* al presente documento.

Nel complesso sono stati eseguiti:

- n. 3 prelievi di campioni di calcestruzzo dalla fondazione
- n. 3 rilievi di sezioni su pilastri comprensivi di localizzazione delle barre d'armatura

### 3. Rilievo delle sezioni resistenti

La determinazione della posizione, del numero e una stima del diametro dei ferri d'armatura è stata eseguita mediante indagini non distruttive (pacometro) unitamente a piccoli saggi, mettendo a nudo porzioni di armatura dopo aver rimosso l'intonaco o altri elementi a protezione delle strutture.

Questa metodologia ha permesso di:

- effettuare localmente una misura diretta del diametro e della tipologia delle barre di armatura presenti
- eseguire un controllo visivo dello stato di ossidazione delle barre d'armatura



Figura 3: localizzazione e determinazione del tipo e del diametro delle barre longitudinali e trasversali – indagine ID 1



Figura 4: localizzazione e determinazione del tipo e del diametro delle barre longitudinali e trasversali – indagine ID 2

Gli elaborati grafici contenuti in *Allegato 2* riportano la restituzione delle informazioni rilevate. La restituzione in forma grafica è da intendersi rappresentativa di quanto effettivamente rilevato in sito, pertanto elementi geometrici non quotati hanno funzione puramente rappresentativa delle geometrie ipotizzate sulla base di schemi costruttivi tipologici.



## 4. Prelievo di campioni di calcestruzzo

Per la determinazione dei parametri meccanici del calcestruzzo sono stati prelevati tre campioni mediante carotaggio a umido..

Per evitare di eseguire il carotaggio nelle aree interessate dal passaggio delle armature è stata eseguita una preliminare indagine pacometrica, che ha permesso di procedere mediante tecnica non invasiva alla tracciatura della posizione dei ferri sulla superficie stessa dell'elemento indagato.



Figura 5: prelievo di campione mediante carotaggio – indagine ID 1



Figura 6: prelievo di campione mediante carotaggio – indagine ID 3

Tutti i campioni di calcestruzzo prelevati dalle strutture del cantiere in oggetto, sono stati immediatamente siglati e portati in laboratorio. Espletate le procedure di accettazione, sono stati sottoposti ad un'accurata preparazione per la successiva esecuzione delle prove concordate con la Committenza, secondo gli standard previsti dalla normativa vigente.



Figura 7: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID1



Figura 8: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID2



Figura 9: accettazione fotografica del materiale prelevato in situ – ID3

## 5. Prova di rottura per compressione

Dai campioni prelevati in situ, sono stati ricavati 11 provini di forma cilindrica. La preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione è avvenuta secondo la procedura standard definita dalla norma UNI EN 12390-1, che prevede taglio e rettifica a umido. Le dimensioni dei provini preparati rispettano il requisito richiesto  $H/D = 1$ .

Successivamente, i provini sono stati pesati e poi sottoposti a prova di rottura per compressione. La prova si effettua in accordo alla norma UNI EN 12390-3 utilizzando una pressa da 3000kN conforme alla UNI EN 12390-4. Il rapporto di prova è riportato in *Allegato 3*.



Figura 10: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione – ID1



Figura 11: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione– ID2



Figura 12: preparazione dei provini da sottoporre a prova di rottura per compressione – ID3

Si definisce  $f_{c\lambda}$  la resistenza a compressione del provino con rapporto di snellezza  $\lambda = L/D$

Si definisce  $R_{c1} = (f_{c\lambda} \times 2.5)/(1.5 + 1/\lambda)$  la resistenza a compressione del corrispondente cilindro di snellezza  $\lambda = 1$  assimilabile alla resistenza cubica.

Dalle prove eseguite, il calcestruzzo prelevato dalle strutture dell'opera in oggetto esplica un valore medio della resistenza cubica a compressione pari a  $R_{c1m} = 32.3 \text{ MPa}$

La massa volumica dei provini testati, determinata in accordo alla norma UNI EN 12390-7, risulta assai omogenea e si attesta nell'intorno del valore medio pari a  $m_v = 2304 \text{ kg/m}^3$ .



## 6. Misura della penetrazione della CO<sub>2</sub>

I campioni di calcestruzzo sono stati sottoposti a prova colorimetrica, mediante soluzione idroalcolica di fenolftaleina all'1%, per la determinazione della profondità di penetrazione della CO<sub>2</sub> secondo la procedura indicata dalla norma UNI 9944.



Figura 13: soluzione idroalcolica di fenolftaleina all'1%



Figura 14: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico  
– ID1



Figura 15: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico  
– ID2



Figura 16: provini di calcestruzzo sottoposti a test colorimetrico  
– ID3

Il fronte di carbonatazione è risultato nullo in tutti i campioni.

## 7. Prove di trazione su barre da c.a.

Per la determinazione dei parametri meccanici dell'acciaio da cemento armato sono stati prelevati tre campioni di armatura.

Espletate le procedure di accettazione i campioni sono stati sottoposti ad un'accurata preparazione per la successiva esecuzione delle prove concordate con la Committenza, secondo gli standard previsti dalla normativa vigente.



Figura 17: accettazione fotografica – ID1A



Figura 18: accettazione fotografica – ID1B



Figura 19: accettazione fotografica – ID2

I risultati sono riportati integralmente in *Allegato 3*.

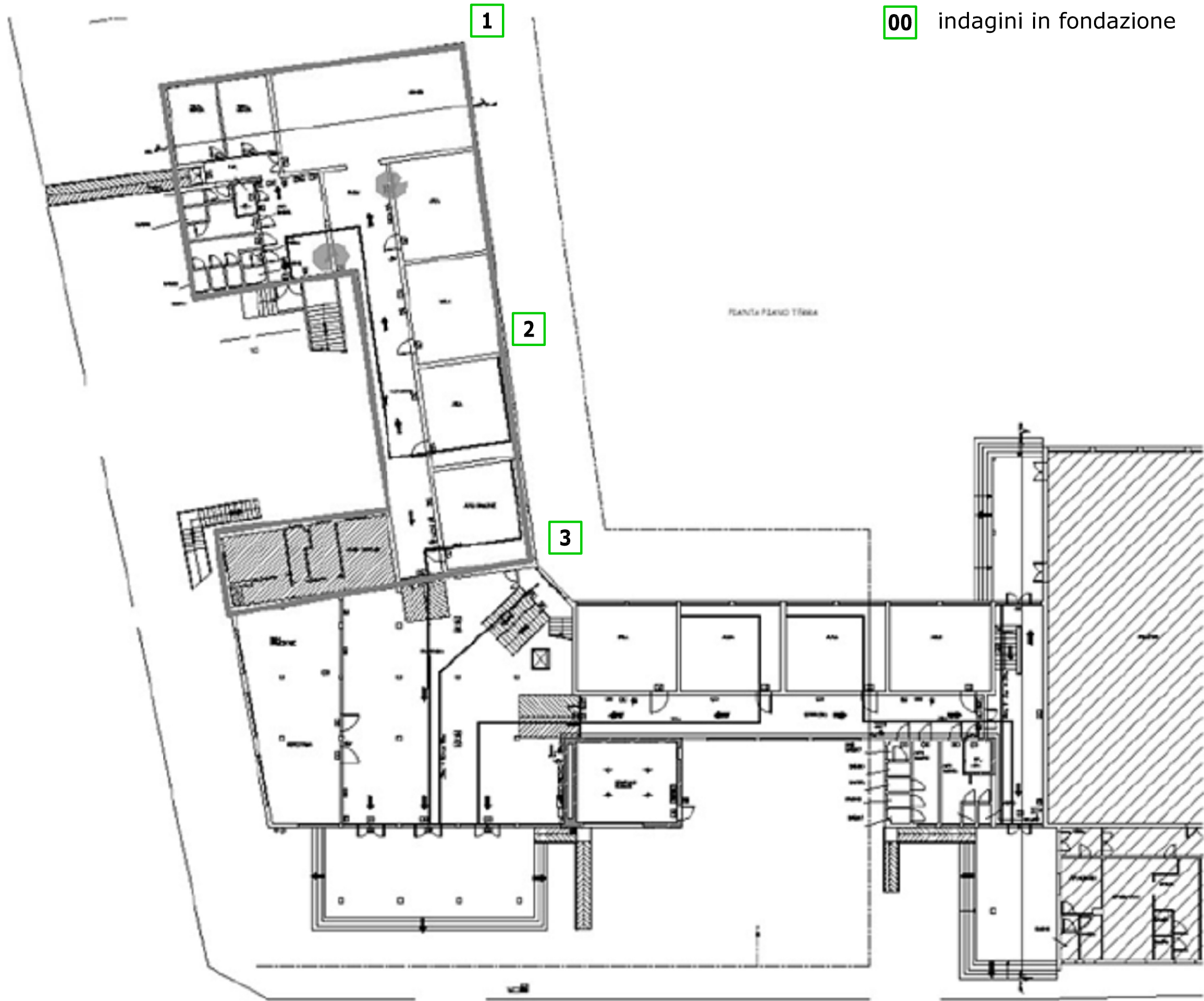


## 8. Elenco allegati

Allegato 1	Elaborati grafici: localizzazione e codifica indagini
Allegato 2	Elaborati grafici: rilievo delle sezioni resistenti
Allegato 3	Rapporti di prova

# ALLEGATO 1

Elaborati grafici: localizzazione e codifica indagini



00 indagini in fondazione



## **ALLEGATO 2**

Elaborati grafici: rilievo delle sezioni resistenti





# **ALLEGATO 3**

## Rapporti di prova

## Resistenza a compressione di provini cilindrici in calcestruzzo UNI EN 12390-3

RAPPORTO DI PROVA n° 02046/2021 Rev.00 del 28/04/2021

Committente: Comune di Comacchio  
 Indirizzo: Piazza Folegatti 15, 44022 Comacchio (FE)  
 Cantiere: Scuola primaria Fattibello, Comacchio  
 Opera: Indagini sulle strutture di fondazione  
 Proprietà: Comune di Comacchio  
 Impresa: --  
 Attrezzature: Pressa automatica da 3000kN (cod.102) - Vasca di maturazione (cod.199-200) - Bilancia(cod.099) - Calibro (cod.245) - Macchina per rettifica (cod.334)  
 Data prelievo: 23/04/2021 Commessa: 1756  
 Richiedente: Ing. Chiara Foresti  
 Prelevati da: TRL - FBB Ruolo: Tecnici di Life

Data prove: 28/04/2021

ID	Sigla campione	Descrizione Verbale di prelievo	Data prelievo	Dimensioni			Massa volumica	Carico di rottura	Resistenza unitaria $f_{ck}$	Tipo di rottura
				$\varnothing$	h	$\lambda$				
				[mm]		[-]				
1	1A	FONDAZIONE	23/04/21	94	94	1,00	2247	172,7	24,9	C
2	1B	FONDAZIONE	23/04/21	94	95	1,01	2287	197,0	28,4	C
3	1C	FONDAZIONE	23/04/21	94	97	1,03	2280	178,3	25,7	C
4	2A	FONDAZIONE	23/04/21	94	94	1,00	2255	192,7	27,8	C
5	2B	FONDAZIONE	23/04/21	94	96	1,02	2286	205,8	29,7	C
6	2C	FONDAZIONE	23/04/21	94	97	1,03	2308	176,8	25,5	C
7	2D	FONDAZIONE	23/04/21	94	95	1,01	2311	220,1	31,7	C
8	3A	FONDAZIONE	23/04/21	94	94	1,00	2344	295,5	42,6	C
9	3B	FONDAZIONE	23/04/21	94	95	1,01	2343	277,2	39,9	C
10	3C	FONDAZIONE	23/04/21	94	96	1,02	2341	224,1	39,9	C

CAMPIONAMENTO: a cura del committente

RETTIFICA ESEGUITA SUI CAMPIONI N°: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10

I campioni non rettificati sono risultati conformi alla planarità prevista dalla normativa di riferimento.

Le tolleranze dimensionali sono indicate nella UNI EN 12390-1 richiamata nel D.M. 17/01/2018.

$\lambda$  : snellezza del provino =  $h/\varnothing$

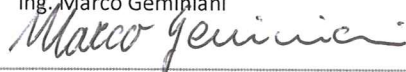
$f_{ck}$ : resistenza a compressione del provino con snellezza pari a  $\lambda$

TIPO DI ROTTURA: C = conforme; NC = non conforme

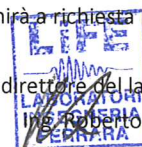
**N.B.:** Gli strumenti impiegati sono sottoposti a controllo periodico di taratura. Il laboratorio fornirà a richiesta le informazioni necessarie ad assicurare la rintracciabilità della catena metrologica.

Lo sperimentatore

ing. Marco Gemipiani



Il direttore del laboratorio  
 Ing. Roberto Lovisetto



## Resistenza a compressione di provini cilindrici in calcestruzzo UNI EN 12390-3

RAPPORTO DI PROVA n° 02046/2021 Rev.00 del 28/04/2021

Committente: Comune di Comacchio  
 Indirizzo: Piazza Folegatti 15, 44022 Comacchio (FE)  
 Cantiere: Scuola primaria Fattibello, Comacchio  
 Opera: Indagini sulle strutture di fondazione  
 Proprietà: Comune di Comacchio  
 Impresa: --  
 Attrezzature: Pressa automatica da 3000kN (cod.102) - Vasca di maturazione (cod.199-200) - Bilancia(cod.099) - Calibro (cod.245) - Macchina per rettifica (cod.334)  
 Data prelievo: 23/04/2021 Commessa: 1756  
 Richiedente: Ing. Chiara Foresti  
 Prelevati da: TRL - FBB Ruolo: Tecnici di Life

Data prove: 28/04/2021

No.	Sigla campione	Descrizione Verbale di prelievo	Data prelievo	Dimensioni			Massa volumica	Carico di rottura	Resistenza unitaria $f_{ck}$	Tipo di rottura
				$\phi$	h	$\lambda$				
				[mm]		[-]				
11	3D	FONDAZIONE	23/04/21	94	93	0,99	2344	259,0	37,3	C
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CAMPIONAMENTO: a cura del committente

RETTIFICA ESEGUITA SUI CAMPIONI N°: 11

I campioni non rettificati sono risultati conformi alla planarità prevista dalla normativa di riferimento.

Le tolleranze dimensionali sono indicate nella UNI EN 12390-1 richiamata nel D.M. 14/01/2008.

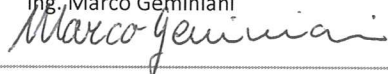
$\lambda$  : snellezza del provino =  $h/\phi$

TIPO DI ROTTURA: C = conforme; NC = non conforme

**N.B.:** Gli strumenti impiegati sono sottoposti a controllo periodico di taratura. Il laboratorio fornirà a richiesta le informazioni necessarie ad assicurare la rintracciabilità della catena metrologica.

Lo sperimentatore

ing. Marco Geminiani



Il direttore del laboratorio  
 ing. Roberto Lovisetto



## Prova di trazione su acciaio per calcestruzzo armato UNI EN 15630-1 / UNI EN ISO 6892-1

RAPPORTO DI PROVA n° 02047/2021 Rev.00 del 28/04/2021

Committente: Comune di Comacchio  
 Indirizzo: Piazza Folegatti 15, 44022 Comacchio (FE)  
 Cantiere: Scuola primaria Fattibello, Comacchio  
 Opera: Indagini sulle strutture di fondazione  
 Proprietà: Comune di Comacchio  
 Impresa: --  
 Attrezzature: Macchina universale (cod.088) - Estensimetro elettronico (cod.095) - Bilancia(cod.027) - Calibro centesimale digitale(cod.103)  
 Esecuzione prelievo: 23/04/2021 Commessa: 1756  
 Richiedente: Ing. Chiara Foresti  
 Prelevati da: TRL - FBB Ruolo: Tecnici di Life srl

Data prove: 28/04/2021

Provino							Snervamento		Rottura		
ID	Codice/ Posizione in opera	Tipo*	Parte d'opera	$\phi_{nom}$ [mm]	$m_u$ [kg/m]	$\phi_{eq}$ [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_y/f_{ynom}$ [-]	$f_t$ [MPa]	$f_t/f_y$ [-]	$A_{gt}$ [%]
1	1A	t.l.	longitudinale - fondazione	16	1,578	16,0	420,8	-	642,6	1,53	20,3
2	1B	t.l.	staffa fondazione	10	0,613	10,0	468,6	-	631,5	1,35	19,8
3	2	t.l.	staffa fondazione	10	0,616	10,0	446,9	-	588,2	1,32	14,3
4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CAMPIONAMENTO: a cura del laboratorio  
 ESITO: assenza cricche (AC) - presenza cricche (PC)

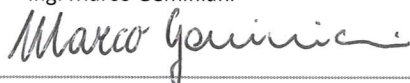
\*T.L.: tondo liscio - A.M.: aderenza migliorata

PARAMETRI:  $\phi_{nom}$ : diametro nominale -  $m_u$ : massa lineica -  $\phi_{eq}$ : diametro equipesante -  $f_y$ : tensione di snervamento -  $f_y/f_{ynom}$ : tensione di snervamento/tensione di snervamento nominale -  $f_t$ : tensione di rottura -  $f_t/f_y$ : tensione di rottura/ tensione di snervamento -  $A_{gt}$ : allungamento sotto carico massimo -  $D_m$ : diametro mandrino

**N.B.:** Gli strumenti impiegati sono sottoposti a controllo periodico di taratura. Il laboratorio fornirà a richiesta le informazioni necessarie ad assicurare la rintracciabilità della catena metrologica.

Lo sperimentatore

ing. Marco Geminiani



Il direttore del laboratorio  
 ing. Roberto Lovisetto







COMUNE DI COMACCHIO

## INDAGINI SULLO STATO DI CONSERVAZIONE DELL'INTRADOSSO DEI SOLAI

Scuola elementare Fattibello  
Via Fattibello n.1, Comune di Comacchio – Ferrara



Firenze, lì 18 aprile 2016

Sicuring s.r.l.  
il Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Carlo La Ferlita  






## Indice

<b>1. Introduzione: metodologie di indagine impiegate.....</b>	<b>2</b>
1.1 Screening preliminare con analisi termografica dei soffitti.....	3
1.2 Analisi visiva con rilievo dei dissesti e delle lesioni in atto (lesioni/cavillature/distacchi).....	5
1.3 Analisi costruttiva del solaio mediante l'esecuzione di microdemolizioni e saggi diretti.....	5
1.4 Analisi tramite battitura manuale ed automatizzata (indagine sonica).....	6
<b>2. Descrizione della tipologia costruttiva dei solai e dei controsoffitti rilevati.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Osservazioni e conclusioni.....</b>	<b>8</b>
3.1 Conclusioni.....	9

## ALLEGATI:

ALLEGATO 2 - Planimetria esito indagini

Allegati digitali:

ALLEGATO 1 - Planimetrie localizzazione indagini

ALLEGATO 3 - Riprese termografiche

ALLEGATO 4 - Riprese fotografiche

ALLEGATO 5 - Report prove soniche



## 1. Introduzione: metodologie di indagine impiegate

La presente relazione viene redatta al fine di valutare lo stato di conservazione dei soffitti della Scuola elementare Fattibello (nel comune di Comacchio, Ferrara), in riferimento in particolare a possibili fenomeni di sfondellamento degli elementi in laterizio costituenti i solai ed a distacchi di intonaco di finitura degli intradossi: le seguenti indagini, svolte in data 18 aprile 2016, hanno come scopo l'individuazione dei rischi legati a fenomeni di carattere non strutturale degli elementi indagati.

L'indagine sui soffitti è stata svolta seguendo tali metodi e fasi conoscitive:

- 1.1) screening preliminare con analisi termografica dei soffitti
- 1.2) analisi visiva con rilievo dei dissesti e delle lesioni in atto (lesioni/cavillature/distacchi)
- 1.3) analisi costruttiva del solaio mediante l'esecuzione di microdemolizioni o saggi diretti
- 1.4) analisi del plafone tramite battitura manuale ed automatizzata (indagine sonica)

A conclusione di queste fasi conoscitive si è giunti alla restituzione grafica, sulle planimetrie allegate, dell'individuazione e classificazione dei livelli di rischio rilevati, secondo la seguente tabella redatta in riferimento alle indicazioni fornite dal Capitolato tecnico (Allegato 1: "Servizi professionali" per l'abilitazione di fornitori e servizi, categoria diagnostica degli edifici - cap. 5.4.9, redatto da MEPA-Consip):

<i>Livello di rischio</i>		
	SOFFITTI	
	Livello 0: non significativo	
	Livello 1: rischio basso	
	Livello 2: rischio medio	
	Livello 3: rischio alto	
X	Livello 4: dissesto in atto	

In merito all'attribuzione dei livelli di rischio espressi sopra si precisa che essi indicano il risultato di una valutazione sullo stato di conservazione dei solai e non il livello di rischio legato all'utilizzo degli ambienti, tale aspetto infatti dovrebbe esser correlato anche a fattori che esulano necessariamente dalla presente trattazione quali ad esempio: modalità di utilizzo dei locali, numero di occupanti, verificarsi di eventi eccezionali (ad esempio sismici o meteorologici, etc...); viene invece dato, nella presente relazione, e sintetizzato nelle planimetrie allegate, un



giudizio su dati oggettivi riscontrati tramite indagini e prove strettamente circoscritte ai soffitti sull'attuale stato di conservazione.

Si ritiene infine doveroso ricordare che le presenti indagini "fotografano" lo stato attuale, ma i fenomeni indagati sono soggetti a peggioramento o possono essere innescati sia per il verificarsi di eventi eccezionali (ad esempio: sisma) sia per fattori antropici (interventi su impianti, presenza di infiltrazioni, modifiche distributive o strutturali, manutenzioni e lavori edili in genere, ...), sia più in generale per il decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali (laterizi, intonaci, ...) dovuto all'invecchiamento, soprattutto se soggetti a condizioni ambientali aggressive (condensa ed umidità persistente, salsedine, forte irraggiamento, escursioni termiche elevate...) o anche per le condizioni d'uso o per modalità ed errori progettuali/realizzativi iniziali (presenza di giunti, cambi di direzione dei solai, cedimenti di fondazioni, ...): è quindi importante sottoporre gli ambienti a verifica ogni volta che si presentino eventi eccezionali o interventi antropici ed in ogni caso prevedere una programmazione temporale adeguata per gli ordinari controlli necessari.

### 1.1 Screening preliminare con analisi termografica dei soffitti

L'analisi termografica consiste nella visione delle superfici intradossali dei solai avvalendosi di camera sensibile ai raggi infrarossi (termocamera).

La strumentazione impiegata ha le seguenti caratteristiche:

- sensibilità termica  $<0,045^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$
- risoluzione infrarossi:  $320 \times 240$  pixel
- intervallo temperatura:  $-20^{\circ} / +350^{\circ}$
- distanza messa a fuoco: 12 cm - infinito
- campo visivo:  $25^{\circ} \times 19^{\circ}$
- sensore: microbolometro senza raffreddamento (FPA)
- campo spettrale:  $7,5$  a  $13 \mu\text{m}$
- precisione:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  o  $\pm 2\%$  della lettura
- puntatore laser: Classe 2

Le immagini rilevate dalla termocamera vengono registrate in formato digitale (video o foto) per poter essere esaminate anche successivamente. La fase di acquisizione è preceduta dalla calibrazione dell'emissività della superficie indagata, che rappresenta il grado di efficienza





nell'emissione della radiazione infrarossa da parte di un oggetto e che dipende notevolmente dalle proprietà del materiale.

Per i materiali normalmente presenti all'intradosso dei solai i valori consigliati (salvo più precise calibrazioni dirette effettuate in corso di ispezione) sono compresi tra 0,86 e 0,95 (intonaco/calcestruzzo).

Se l'emissività dell'oggetto esaminato è relativamente bassa ed esiste una grande differenza di temperatura tra ambiente ed oggetto, il riflesso della radiazione incidente può influenzare le letture della termocamera: per tale motivo, in questi casi, è necessario procedere anche all'impostazione della temperatura "apparente riflessa".

Infine nel corso dell'ispezione è necessario garantire una corretta posizione rispetto all'oggetto indagato rispettando gli angoli di inclinazione di seguito consigliati:



*Angoli di ripresa consigliati (verde) e da evitare (rosso) nelle ispezioni termografiche*

L'indagine termografica risulta particolarmente utile per effettuare un primo screening delle caratteristiche geometriche e dello stato di conservazione del solaio: in particolare la tecnica permette di avere un completo quadro d'insieme sia della tipologia di solaio presente (potendo individuare orditura, passo ed ampiezza di eventuali elementi costituenti, come: travetti, pignatte, rompitratte, etc...), sia di avere una indicazione qualitativa dello stato di conservazione dell'intradosso (è infatti possibile riscontrare direttamente distacchi di intonaco altrimenti non immediatamente visibili, o se siano attivi fenomeni di umidità ed infiltrazioni).

Questa prima fase di indagine "qualitativa" permette quindi di indirizzare le successive fasi di affinamento in quanto dalla interpretazione delle immagini radiometriche si può dedurre se gli eventuali problemi riscontrati siano ascrivibili ad esempio ad una non corretta geometria dell'impalcato (rastremazioni, irregolarità, eccessiva lunghezza delle luci di solaio, etc...) o anche insite nella natura stessa degli elementi di alleggerimento (pignatte).

La lettura ed interpretazione delle immagini può essere resa difficoltosa nel caso specifico dei solai a causa della possibile presenza di fonti di calore applicate all'intradosso (punti luce, impianti vari) o sulle superfici verticali limitrofe (radiatori, finestre, porte) che possono costituire



una fonte di disturbo modificando il plafone della temperatura rilevata; più in generale possono viceversa presentarsi condizioni climatiche ed ambientali che non garantiscano una sufficiente escursione termica tra materiali simili (travetti-pignatte, travetti-muratura, cartongesso-struttura portante, etc...) e quindi possono non rendere sufficientemente nitide le immagini e distinguibili gli elementi ricercati: in tal caso può essere necessario operare con tecniche attive tramite preventiva insufflazione forzata di aria calda sulla superficie e successiva ispezione tramite termocamera, in modo da giungere ad un più approfondito esame della superficie facendo emergere anomalie altrimenti non evidenziabili.

L'esito delle indagini termografiche è riportato nel relativo allegato digitale (ALLEGATO 3) e la loro localizzazione in pianta nella relativa planimetria (ALLEGATO 1).

### 1.2 Analisi visiva con rilievo dei dissesti e delle lesioni in atto (lesioni/cavillature/distacchi)

L'ispezione visiva consente una individuazione e localizzazione dei dissesti già evidenti, permettendo anche di indirizzare alcuni saggi ispettivi diretti per appurare l'effettiva presenza di problemi in atto ovvero il loro inizio. Nelle planimetrie allegate sono riportate le zone con lesioni o cavillature più marcate (anche precedentemente riscontrate con indagine termografica) e che possono generare distacco di intonaco o anche di intere porzioni di fondelli di laterizio appartenenti agli elementi di alleggerimento dei solai (pignatte). La localizzazione delle zone con lesioni o dissesti presenti è riportata nelle planimetrie indicanti l'esito delle indagini (ALLEGATO 2).

### 1.3 Analisi costruttiva del solaio mediante l'esecuzione di microdemolizioni e saggi diretti

Le microdemolizioni o saggi diretti consentono la classificazione della tipologia costruttiva degli elementi costituenti il solaio: pignatte (fondelli, setti, camere), travetti, intonaco; tramite tale indagine è anche possibile individuare criticità e vulnerabilità attribuibili ad esempio alla specifica tecnologia costruttiva ed è quindi di particolare interesse in quanto consente di rilevare problematiche potenzialmente estendibili anche ad ulteriori parti realizzate con medesime modalità. L'analisi diretta consente di individuare sia problemi locali o estesi presenti all'interno delle pignatte. Le ispezioni possono essere condotte tramite impiego di endoscopio dotato di microcamera (microdemolizioni) o con osservazione diretta (demolizione più ampia) nei casi in cui si hanno già manifestate rotture o distacchi di materiale.







#### 1.4 Analisi tramite battitura manuale ed automatizzata (indagine sonica)

La battitura manuale, effettuata tramite saggiatura diretta dell'intradosso del solaio con palo estensibile, consente di effettuare un accurato controllo delle varie superfici e permette quindi di indirizzare le successive indagini di affinamento o circoscriverne le zone.

Con questa fase si possono inoltre riscontrare immediatamente i fenomeni di sfondellamento in essere, verificando a seguito di una leggera pressione sull'intradosso (fondello) distacchi di parti che al di sotto dell'intonaco, sebbene apparentemente coese, sono già staccate dal supporto, ovvero accertare il distacco in atto dell'intonaco stesso: più diffusamente la diversa risposta sonora della superficie alla battitura dà un'indicazione sullo stato in cui si trova il solaio e sull'eventuale stato di avanzamento del fenomeno.

L'indagine sonica con metodo strumentale rappresenta un ulteriore affinamento conoscitivo dello stato di conservazione dei solai; essa consiste nell'esecuzione di una percussione del soffitto tramite testina battente e la contemporanea registrazione della risposta sonora fornita dalla superficie testata, impiegando un'apposita strumentazione per auscultazione sonora ed interpretazione delle difettosità (Bumpling) che si rifà alla metodologia tipica dell'Impact Echo Test: con tale metodo, per confronto dei grafici della risposta in frequenza ottenuti dalle varie prove, si può fornire una interpretazione sullo stato di conservazione dei solai sia in termini dell'intradosso propriamente facente parte della pignatta (fondello) sia del rivestimento ad intonaco.

La battitura automatizzata possiede il vantaggio di standardizzare la modalità di battuta, e quindi essere uniformemente ripetibile e confrontabile: nota la tipologia di solaio e le condizioni al contorno della prova, grazie alla possibilità di registrazione del segnale emesso, si può effettuare una successiva interpretazione ed il confronto tra diversi punti di prova.

La registrazione avviene tramite fonometro di classe 1 con le seguenti caratteristiche:

- frequenza: 1/3 ottava
- gamma dinamica: 18 - 145 dB
- microfono: omnidirezionale
- gamma di misura: 1 Hz - 16 kHz.

L'impulso di battuta viene fornito da un elettromagnete in corrente continua a semplice effetto controllato da un apposito potenziometro che regola e varia l'impulso anche a seconda del materiale da testare (per tale motivo la strumentazione può essere impiegata, oltre che per i test



qui presentati, anche su supporti inclinati o verticali). Fonometro ed elettromagnete sono installati su un opportuno supporto che consente al tempo stesso un facile e rapido posizionamento dopo ogni prova, evitando possibili interferenze con le parti testate, e permettendo un corretto posizionamento anche su superfici inclinate: le varie quote dell'intradosso di solaio vengono raggiunte grazie alla presenza dell'asta estensibile che completa la strumentazione. La localizzazione ed il report delle prove eseguite sono riportati nei relativi allegati (rispettivamente: ALLEGATO 1 ed ALLEGATO 5) in cui sono presenti i grafici ottenuti tramite l'indagine sonica svolta (i grafici riportati indicano sull'asse delle ascisse le frequenze in Hz, sull'asse delle ordinate la diversa pressione sonora, in dB).

La metodologia impiegata consente di automatizzare la ricerca di difettosità del materiale, è infatti esperienza comune che percuotendo materiali in cui sono presenti fratture più o meno latenti viene emesso un suono "diverso" da quello ottenuto sugli stessi materiali integri, nel linguaggio comune si usa dire che il materiale "suona sordo": questa espressione, in termini scientifici, si può interpretare col fatto che lo spettro del suono emesso da un materiale con fratture è "più ricco in basse frequenze" di quello emesso da un materiale integro; partendo da tale presupposto e dal confronto tra le varie prove eseguite si possono "isolare" zone con risposta "anomala", relativamente alla tipologia di solaio indagato, e quindi in esse andare ad approfondire la conoscenza dello stato del materiale anche avvalendosi di ulteriori indagini mirate.

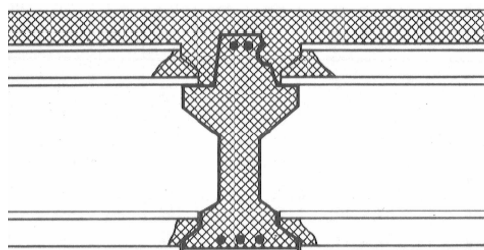
L'analisi ha messo in evidenza, nelle zone "critiche" un maggior frastagliamento su tutte le frequenze, mentre le zone "regolari" l'andamento è caratterizzato dalla presenza di un picco, da una zona di decadimento e da una successiva parte a più alte frequenze che può ritenersi rappresentativa (dal molteplici confronto fra tutti i punti di prova) della tipologia di solaio e rispetto alla quale quindi poter esprimere un giudizio di coerenza o meno con le altre zone indagate, definite quindi, come già detto, "anomale" e sulle quali diviene opportuno approfondire la conoscenza con ulteriori prove (ad esempio tramite saggi mirati o battitura manuale) in quanto, come tipicamente ritenuto necessario ed imprescindibile nell'ambito delle indagini non distruttive o non invasive sui materiali, anche il giudizio complessivo sullo stato dei soffitti deve essere inteso come il risultato di molteplici metodologie di indagine e prove.



## 2. Descrizione della tipologia costruttiva dei solai e dei controsoffitti rilevati

L'edificio presenta due tipologie di solaio A e B.

Il tipo A, presente esclusivamente al piano terra, presenta tipologia "a camera d'aria" (del tipo "VARESE" o similare) detta anche con "controsoffitto in laterizio".



Il tipo B, presente al piano primo e sottotetto è un solaio in latero cemento "a volterrane".

## 3. Osservazioni e conclusioni

Il giudizio finale sullo stato di conservazione dei soffitti (ovvero su fenomeni di sfondellamento o distacco di intonaco dei solai) si basa, come richiamato all'inizio della relazione e come tipicamente ritenuto corretto nell'ambito delle indagini non distruttive, sulla valutazione della risultanza delle molteplici analisi e prove eseguite, ovvero: analisi termografica, costruttiva, battitura (manuale ed automatizzata), prova di tenuta, oltre che sulla base di saggi e rilievi diretti.

Nell'ALLEGATO 2 viene presentata la planimetria di sintesi delle analisi effettuate: con le diverse campiture viene espresso il giudizio sul livello di rischio individuato; si ricorda a tal proposito che i colori con cui sono campite le planimetrie indicano il risultato di una valutazione sullo stato di conservazione dei soffitti (livello di rischio inteso come pericolo di distacco di materiali o componenti) e non il livello di rischio legato all'occupazione degli ambienti (la presente valutazione non tiene conto infatti dell'impiego dei singoli locali); ciò infatti dovrebbe essere correlato anche a fattori che esulano, necessariamente, dalla presente trattazione, quali ad esempio: modalità di utilizzo dei locali, numero di occupanti, verificarsi di eventi eccezionali (ad esempio sismici o meteorologici, etc...) o antropici (modifiche impiantistiche o strutturali, etc...); nella presente relazione viene dato un giudizio, sintetizzato nelle planimetrie allegate, basato su dati oggettivi riscontrati tramite indagini e prove strettamente circoscritte ai solai.

Le risultanze delle indagini qui presentate inoltre "fotografano" lo stato in cui si trovano gli elementi indagati al momento degli accertamenti effettuati ma, si ricorda, i processi



degenerativi e di invecchiamento a cui sono sottoposti i materiali interessati possono innescare successivi fenomeni al momento non individuabili; è pertanto sempre consigliabile ripetere tali indagini con cadenze programmate e comunque in particolare modo qualora fenomeni eccezionali (sisma, incendio, sollecitazioni straordinarie, cedimenti strutturali, etc...), antropici (uso e fenomeni di fatica, etc...) o ambientali (forti escursioni termiche, elevata condensa ed umidità negli ambienti, infiltrazioni, etc...) possano suggerirne la nuova effettuazione o eventuali approfondimenti.

### 3.1 Conclusioni

Nelle planimetrie indicanti l'esito delle indagini (ALLEGATO 2) viene individuato:

#### SOFFITTI

PIANO TERRA: soffitti rischio generalmente non significativo con limitate parti a rischio medio ed altre a rischio alto e dissesto in atto dovuto a presenza di lesioni più marcate con evidente distacco dell'intradosso.

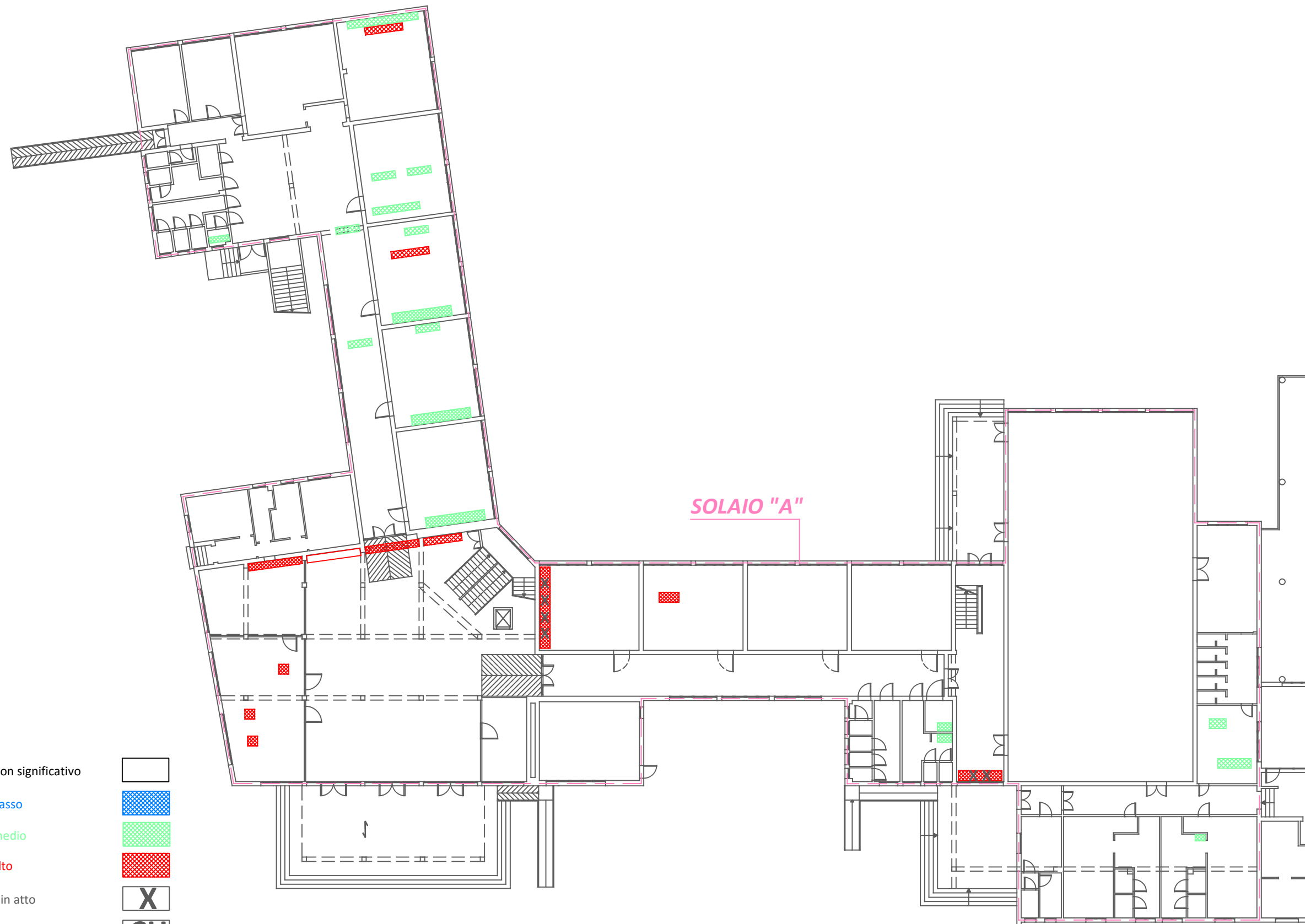
PIANO PRIMO: soffitti rischio generalmente non significativo con limitate parti a rischio medio ed altre a rischio alto e dissesto in atto dovuto a presenza di lesioni più marcate con evidente distacco dell'intradosso.





SCUOLA ELEMENTARE FATTIBELLO  
CLASSIFICAZIONE LIVELLO DI RISCHIO DEI SOLAI  
- PIANO TERRA -

COMUNE  
DI  
COMACCHIO  
  
provincia  
di  
Ferrara



rischio non significativo

rischio basso

rischio medio

rischio alto

dissesto in atto

loCALE CHIUSO

infiltrazione





SCUOLA ELEMENTARE FATTIBELLO  
CLASSIFICAZIONE LIVELLO DI RISCHIO DEI SOLAI  
- PIANO PRIMO E SOTTOTETTO -

COMUNE  
DI  
COMACCHIO  
  
provincia  
di  
Ferrara



rischio non significativo

rischio basso

rischio medio

rischio alto

dissesto in atto

loCALE CHIUSO

infiltrazione

