



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

DICAT

Dipartimento di **Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio**

16145 GENOVA - Via Montallegro, 1 - Tel. 39 - 010 3532491 - Fax 39 - 010 3532546

CONVENZIONE DI RICERCA
***INDAGINI DIAGNOSTICHE E VERIFICHE DI
SICUREZZA SISMICA SUGLI EDIFICI
SCOLASTICI DELLA PROVINCIA DI GENOVA***

Committente: **Provincia di Genova**

***Indagini diagnostiche e rilievo conoscitivo
dell'immobile sito in Via Speroni 37, Recco
(GE)***

Responsabile scientifico: ***Prof. Ing. Sergio LAGOMARSINO***



Indice

1.	Introduzione	1
2.	Localizzazione dei punti d'indagine	3
3.	Indagini sulla porzione in calcestruzzo armato	6
3.1.	Rilievo conoscitivo ed identificazione della struttura portante	6
3.2.	Indagine pacometrica (<i>S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno</i>)	15
3.3.	Indagini ultrasoniche	16
3.4.	Indagini sclerometriche	20
3.5.	Metodo Sonreb	23
3.6.	Prove di compressione diretta	24
3.6.1.	Carotaggi	24
3.6.2.	Prova di rottura con provino verticale	25
3.7.	Resistenza a compressione del calcestruzzo armato	28
3.8.	Resistenza a trazione sui ferri d'armatura	29
4.	Indagini sulla porzione in muratura	29
4.1.	Rilievo conoscitivo	29
4.2.	Individuazione tipologica della muratura	31
4.3.	Verifiche degli ammorsamenti	36
4.4.	Indagini sclerometriche sugli elementi lapidei	38
4.5.	Indagini sclerometriche sulla malta	42
4.6.	Resistenza a compressione indiretta della muratura	44
4.7.	Indagini soniche	44
4.8.	Prova con martinetti piatti (<i>S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno</i>)	58
5.	Video-endoscopie (<i>S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno</i>)	62
6.	Conclusioni	67



1. Introduzione

La struttura in oggetto si trova nel Comune di Recco, in Via Speroni 37.

L'edificio si trova su terreno acclive ed in posizione isolata ed è il risultato dell'unione di corpi costruiti in epoche diverse, in parte in muratura e in parte in calcestruzzo armato. Entrambe le porzioni strutturali sono altresì non omogenee in quanto sia la porzione in muratura sia quella in calcestruzzo armato sono il risultato di successivi ampliamenti e sopraelevazioni delle strutture originarie. La porzione più antica dell'edificio è con buona probabilità riconducibile al nucleo centrale in muratura (nel seguito denominato come "Muratura A"; Figura 5). Tale porzione strutturale si sviluppa per quattro livelli fuori terra mentre la rimanente parte, risalente ad epoca successiva (nel seguito denominato "Muratura B"), solo su tre. L'ipotesi della non contemporaneità tra le due porzioni in muratura è confermata dalle indagini diagnostiche realizzate (§4) le quali hanno messo in luce, non solo la diversità di tessitura muraria e la mancanza di ammorsamento al confine tra i due corpi, ma anche una diversa tipologia degli orizzontamenti (§5) solai lignei con travi in acciaio nella zona denominata Mur A e solai in latero-cemento nella zona Mur B).

Due diverse fasi costruttive sono altresì riconoscibili nella porzione in calcestruzzo armato che, con buona probabilità, è stata oggetto di una sopraelevazione. Tale parte strutturale, fondata ad una quota inferiore rispetto alla parte in muratura, si sviluppa per tre livelli fuori terra di cui l'ultimo tipologicamente diverso rispetto ai sottostanti. La sopraelevazione è riconoscibile dal disallineamento delle aperture in facciata e conseguentemente dei pilastri perimetrali. Le indagini diagnostiche (§3) hanno inoltre messo in luce la presenza di un cordolo di piano a livello dell'ultimo solaio e di un calcestruzzo di caratteristiche meccaniche migliori rispetto al sottostante.

Nel complesso la struttura può senz'altro definirsi irregolare sia nei riguardi della forma in pianta che in elevazione anche a causa della conformità morfologica del sito. La superficie d'ingombro del piano seminterrato, esistente solo nella porzione in calcestruzzo armato, è pari a 250 m² circa. Al piano soprastante la parte in cemento armato ha un ingombro maggiore, pari a circa 320 m², mentre la parte in muratura si estende su una superficie di 350 m². L'ingombro in pianta del piano superiore (piano primo) rimane pressoché invariato ad eccezione di una piccola porzione della parte in cemento armato adibita a terrazzo. Al secondo piano la struttura prosegue solo con i due corpi in muratura; l'ultimo livello della struttura è formato dal solo corpo centrale (area pari a circa 210 m²) essendo la rimanente parte adibita a terrazzo piano.



Figura 1 – Prospetto del corpo centrale in muratura (Mur A)



Figura 2 – Prospetto della porzione in muratura: confine tra le due porzioni Mur A e Mur B



Figura 3 – Prospetto della porzione in cemento armato



Figura 4 – Prospetto della porzione in cemento armato



Figura 5 – Planimetria tipo (piano terra) con indicazione delle diverse porzioni strutturali



2. Localizzazione dei punti d'indagine

Al fine dell'identificazione della struttura portante dell'edificio e del raggiungimento di un adeguato livello di conoscenza (LC2), in funzione di quanto previsto dall'Ordinanza sismica OPCM 3274/03 e ss.mm., sono state condotte delle indagini diagnostiche distruttive e non distruttive su alcuni elementi strutturali dislocati ai diversi piani della struttura. La localizzazione e l'estensione del rilievo diagnostico è stata decisa in accordo con i tecnici incaricati della Provincia di Genova.

In dettaglio, sono stati individuati un totale di 32 punti d'indagine, 19 per gli elementi in calcestruzzo armato e 12 per la muratura, in cui si sono eseguite indagini diagnostiche distruttive e non distruttive.

Nelle tabelle seguenti è riportato l'elenco di tutti i punti analizzati indicando per ciascuno il tipo di elemento (pilastro, trave o setto per il c.a.; pannello o pilastro per la muratura) e le tipologie di prove svolte. In particolare si osserva che sugli elementi in c.a. sono stati eseguiti 8 carotaggi, 8 indagini con pacometro, 19 sclerometrie e 19 prove ultrasoniche mentre sugli elementi in muratura 12 prove sclerometriche sia sugli elementi lapidei sia sulla malta, 12 prove soniche e 2 prove con doppio martinetto piatto.

Tabella 1 - Punti d'indagine su elementi in c.a.

LEGENDA: C = Carotaggio, P = Indagine con Pacometro, SC = Sclerometria, U = Prova Ultrasonica

PUNTO	ELEMENTO	PROVE			
Pil 1	Pilastro	C1	P	SC	U
Pil 2	Pilastro	C2	P	SC	U
Pil 3	Pilastro	C3	P	SC	U
Pil 4	Pilastro	C4	P	SC	U
Pil 5	Pilastro			SC	U
Pil 6	Pilastro			SC	U
Pil 7	Pilastro			SC	U
Pil 8	Pilastro	C5	P	SC	U
Pil 9	Pilastro			SC	U
Pil 10	Pilastro			SC	U
Pil 11	Pilastro	C6	P	SC	U
Pil 12	Pilastro			SC	U
Pil 13	Pilastro			SC	U
Pil 14	Pilastro			SC	U
Pil 15	Pilastro			SC	U
Pil 16	Pilastro	C7	P	SC	U
Pil 17	Pilastro			SC	U
Pil 18	Pilastro			SC	U
Pil 19	Pilastro	C8	P	SC	U

Tabella 2 - Punti d'indagine su pannelli in muratura

LEGENDA: SC = Sclerometria su elementi lapidei, SM = Sclerometria sulla malta, S = Prova sonica, M = Prova con martinetti

PUNTO	ELEMENTO	PROVE			
Pan 1	Pannello	SC	SM	S	
Pan 2	Pannello	SC	SM	S	M
Pan 3	Pannello	SC	SM	S	
Pan 4	Pannello	SC	SM	S	M
Pan 5	Pilastro mattoni	SC	SM	S	
Pan 6	Pannello	SC	SM	S	
Pan 7	Pannello	SC	SM	S	
Pan 8	Pannello	SC	SM	S	
Pan 9	Pannello	SC	SM	S	
Pan 11	Pannello	SC	SM	S	
Pan 12	Pannello	SC	SM	S	
Pan 13	Pannello	SC	SM	S	

Al fine di caratterizzare la tipologia degli orizzontamenti sono inoltre state eseguite delle indagini endoscopiche dislocate ai diversi livelli della struttura.



Nelle figure seguenti è riportata la localizzazione in pianta dei punti di indagine, in cui sono state effettuate le indagini diagnostiche sugli elementi in cemento armato.

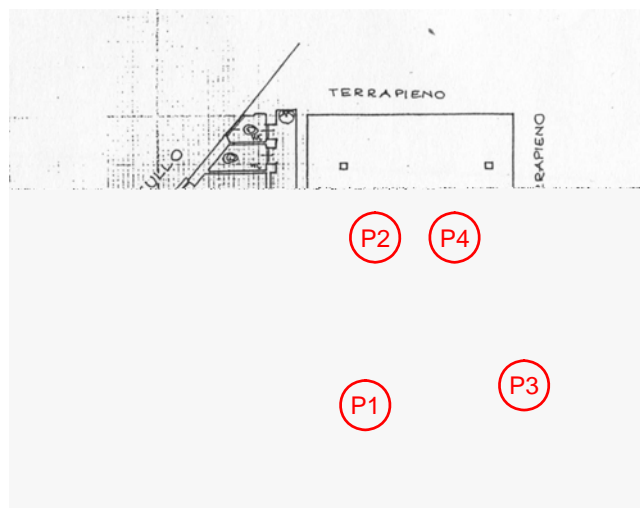


Figura 6 – Piano seminterrato cemento armato – punti d'indagine

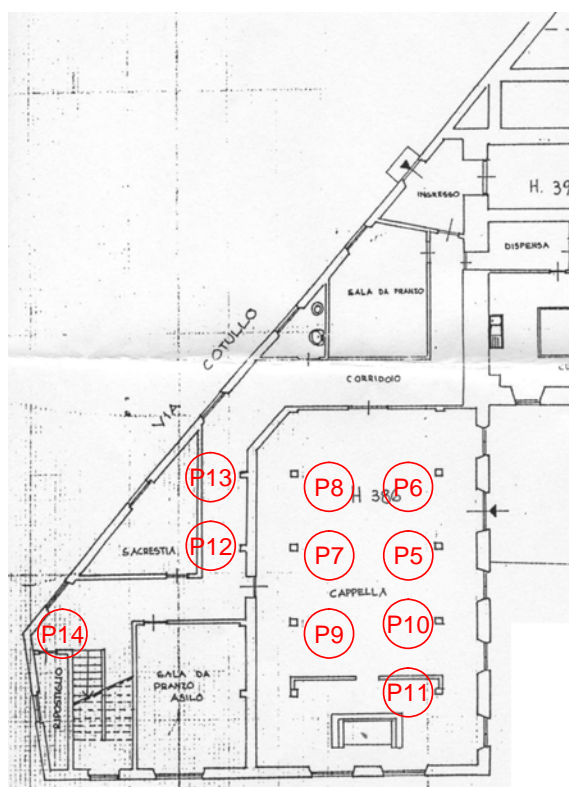


Figura 7 – Piano terra cemento armato – punti d'indagine

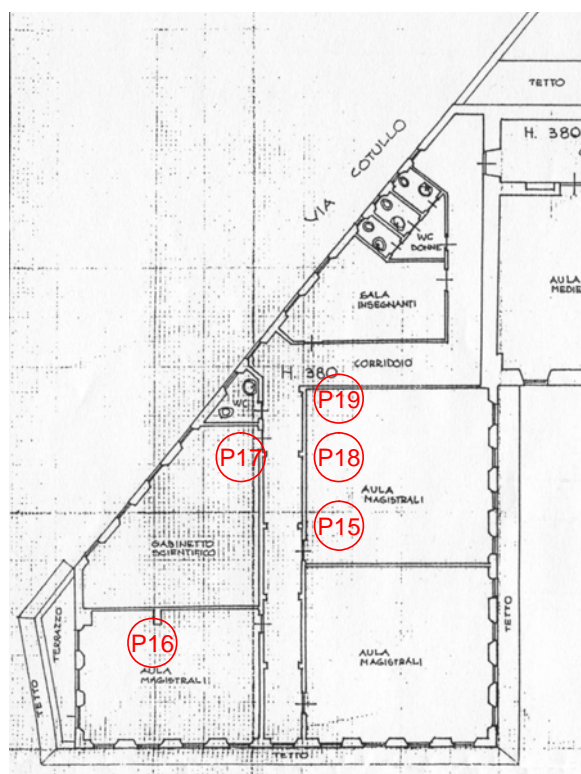


Figura 8 – Piano primo cemento armato – punti d'indagine

Ulteriori scassi e rimozioni d'intonaco sono stati inoltre eseguiti in diversi punti della struttura, al fine di identificare la posizione degli elementi portanti altrimenti non riconoscibili in quanto inglobati dalle muratura di tamponamento.



Nelle figure seguenti è riportata la localizzazione in pianta dei punti di indagine, in cui sono state effettuate le indagini diagnostiche sugli elementi in muratura.

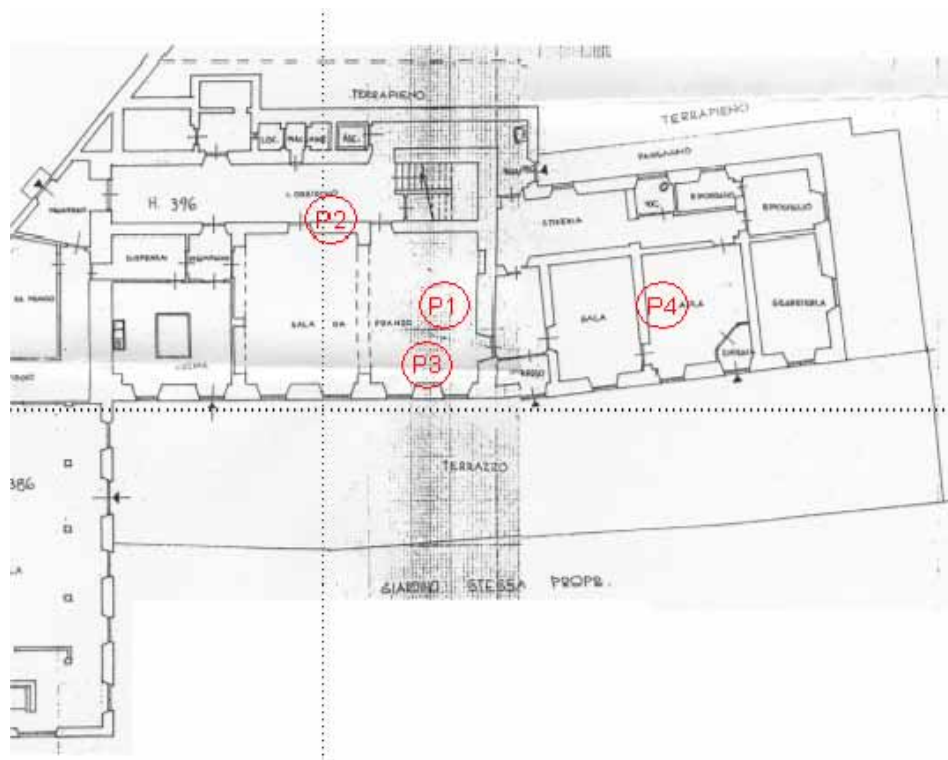


Figura 9 – Piano terra muratura – punti d'indagine

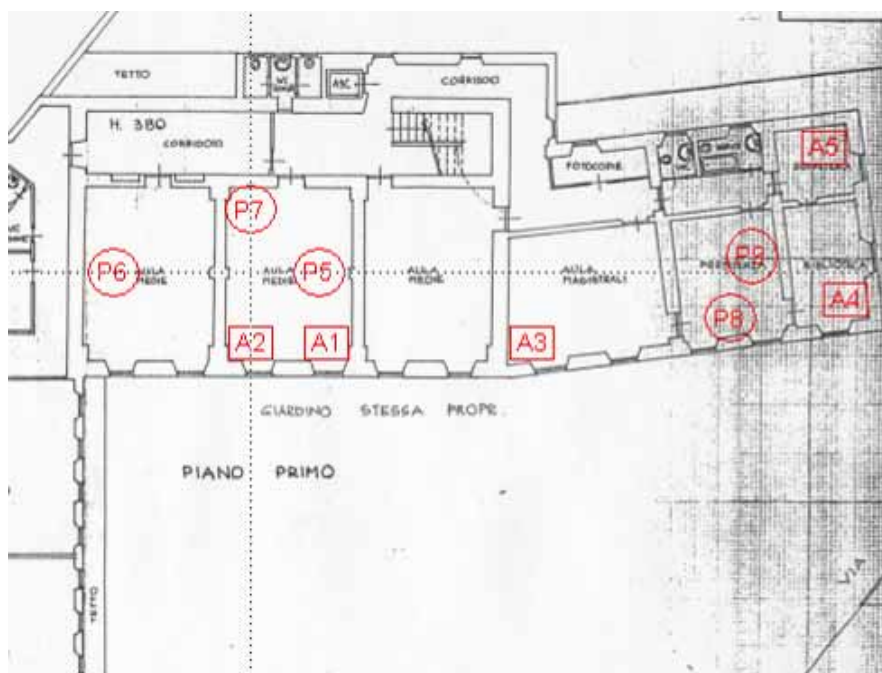


Figura 10 – Piano primo muratura – punti d'indagine

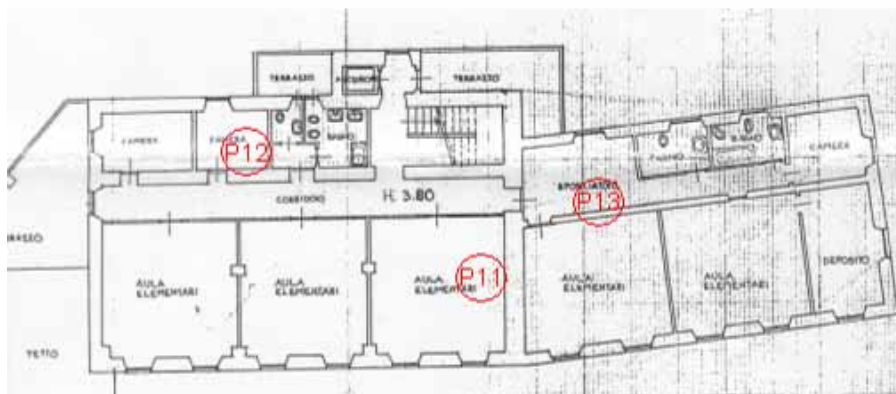


Figura 11 – Piano secondo muratura – punti d'indagine

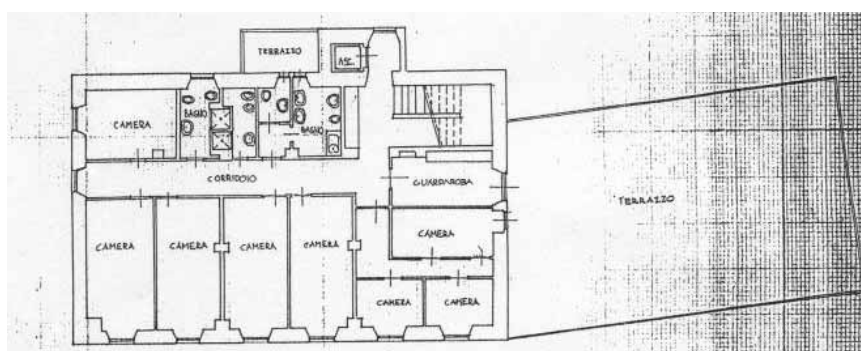


Figura 12 – Piano terzo muratura – punti d'indagine

3. Indagini sulla porzione in calcestruzzo armato

3.1. Rilievo conoscitivo ed identificazione della struttura portante

Non essendo disponibile nessuna informazione in merito alla struttura portante dell'edificio in esame, al fine di identificare la corretta posizione degli elementi strutturali in cemento armato, è stato necessario eseguire scassi e rimozioni d'intonaco in diversi punti della struttura. La maggior parte dei pilastri è, infatti, inglobata all'interno delle murature di tamponamento e quindi altrimenti non riconoscibile da una semplice analisi visiva.

Gli scassi eseguiti nelle murature di tamponamento perimetrali, hanno permesso di individuare sia la posizione dei pilastri sia di accertare la presenza di travi di bordo perimetrali. Internamente sono riconoscibili, ai primi due livelli della struttura (piano seminterrato e piano terra), due travature emergenti parallele, disposte perpendicolarmente al prospetto sud dell'edificio (Figura 17, Figura 23). Nessun altro elemento portante orizzontale è visibile internamente ad eccezione di una trave di collegamento tra le due travature al piano terra della struttura. E' comunque ipotizzabile la presenza di altre travi con funzione di rompitratta in spessore dei solai. Gli orizzontamenti sono in latero-cemento gettati in opera (con spessore totale pari a circa 27 cm, vedere risultati video-endoscopie) e l'orditura segue l'andamento delle travi principali interne e delle travi di bordo (Figura 14).

Al piano seminterrato è stata riconosciuta una botola di accesso ad una vasca di raccoglimento delle acque di ampie dimensioni: larghezza 3.20 m, lunghezza 3.50 m e altezza pari a 3.60 m,



riempita d'acqua fino ad 1.36m dal fondo (Figura 19, Figura 20). La soletta di copertura della vasca è probabilmente in calcestruzzo pieno con un'altezza pari a circa 15 cm.

La struttura in cemento armato al piano seminterrato è addossata ad un setto controterra che corre lungo due lati della pianta. Al piano superiore sono presenti dei pilastri al confine con la porzione in muratura, semplicemente addossati al preesistente pannello murario (Mur A), (Figura 28) con una trave in c.a. in sommità. Questi elementi non proseguono però al piano soprastante dove la copertura della struttura in cemento armato è direttamente collegata alla muratura esistente (Figura 29).

L'ultimo livello della struttura è tipologicamente diverso dai sottostanti sia con riferimento alla posizione in pianta e forma della sezione dei pilastri sia al differente tipo di materiale rilevabile anche da un esame visivo. Nei primi due livelli tutti gli elementi verticali hanno gli angoli smussati, diversamente rispetto a quanto è stato rilevato al piano soprastante.

Alla quota dell'ultimo orizzontamento si è inoltre riscontrata la presenza di un cordolo di piano in cemento armato di altezza pari a 40 cm a partire dalla quota di calpestio.

Proprio in ragione della presenza di questo cordolo, la maggior parte dei pilastri perimetrali è in falso rispetto ai sottostanti e solo le due file di pilastri centrali interne proseguono fino a questo livello (Figura 33). Sono infine riconoscibili travi emergenti in cemento armato a sostegno della copertura in latero-cemento a falde inclinate (Figura 35).

Nelle figure seguenti è riportata la localizzazione in pianta degli elementi resistenti verticali rilevati, con indicazione degli assi delle travature e dell'orditura dei solai.

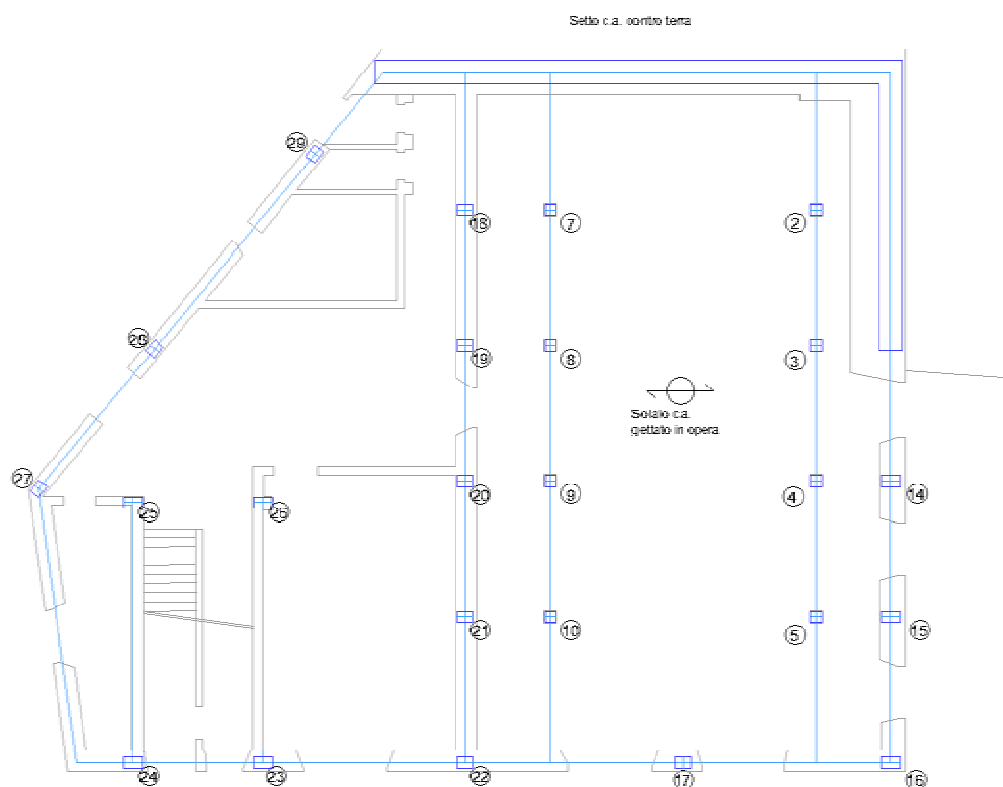


Figura 13 – Piano seminterrato cemento armato

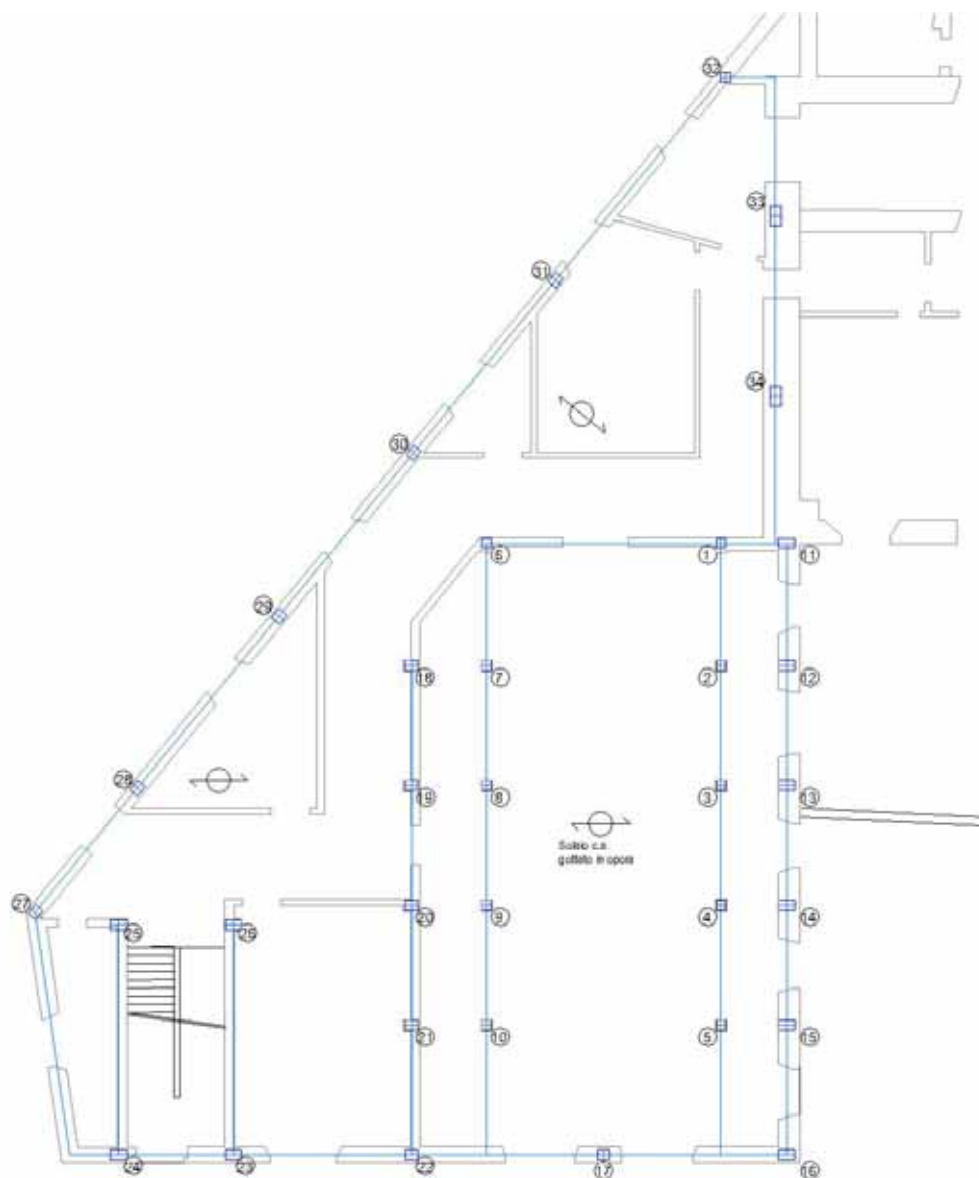


Figura 14 – Piano terra cemento armato

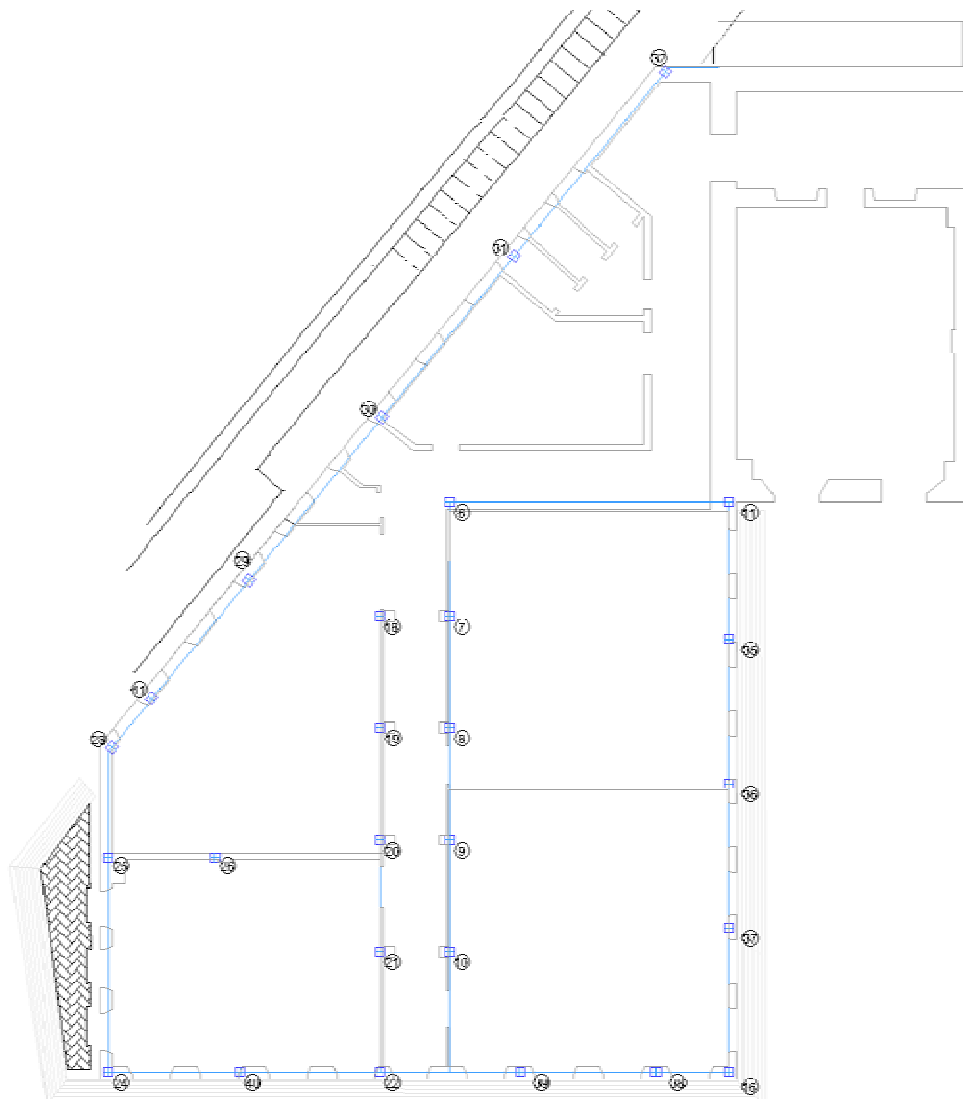


Figura 15 – Piano primo cemento armato

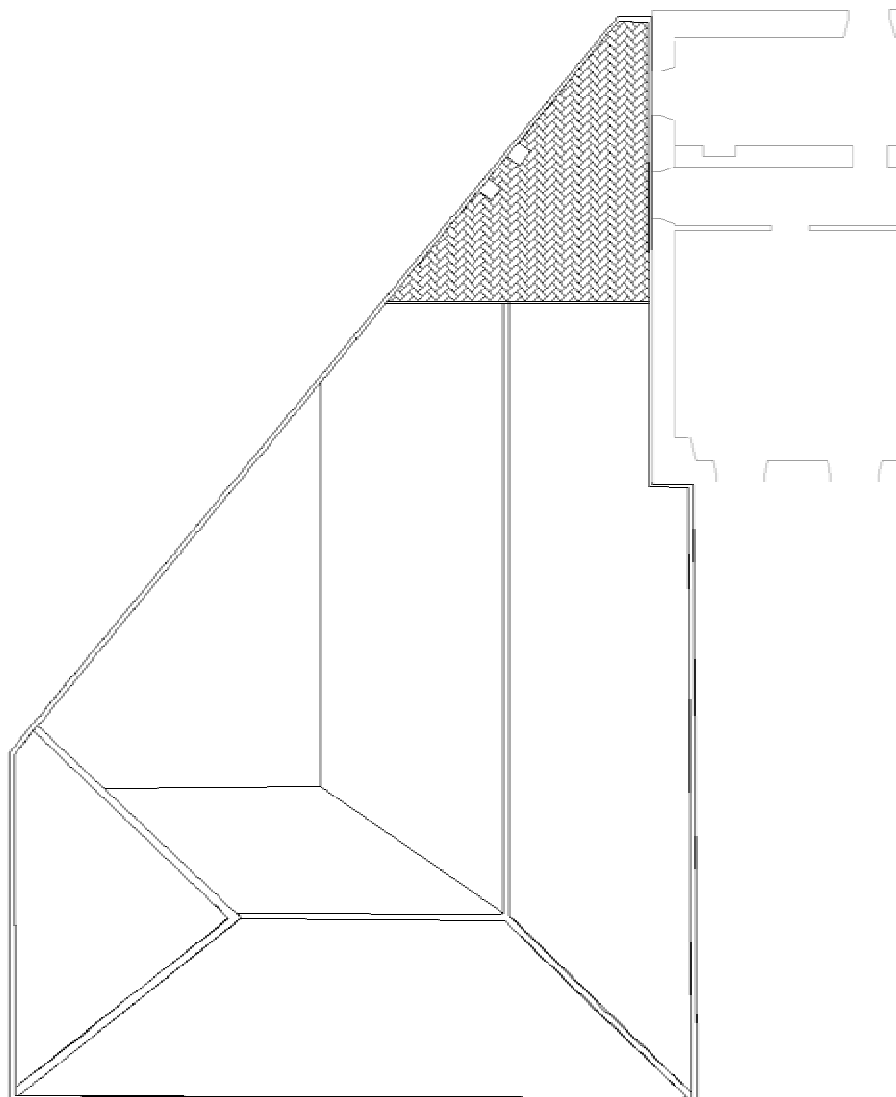


Figura 16 – Copertura cemento armato

Il rilievo ha permesso di osservare la presenza di alcune anomalie strutturali quali ad esempio i ricorrenti casi di appoggio trave su trave senza pilastro sottostante (Figura 24, Figura 27) e la non continuità ai diversi livelli degli elementi strutturali verticali. Inoltre è da sottolineare la presenza di elementi con luci notevoli, sia per quanto riguarda le travi sia per gli orizzontamenti. Con specifico riferimento a quest'ultimo aspetto, rimane comunque da precisare, come una conoscenza totalmente accurata (LC3) della struttura possa essere acquisita solamente in sede di eventuali lavori di ristrutturazione proprio a causa della complessità e disomogeneità della struttura in oggetto.



Figura 17 – Piano seminterrato cemento armato – travature e pilastri della palestra (P08, P07, P03, P02)



Figura 18 – Piano seminterrato cemento armato – Pilastri perimetrale (P15)

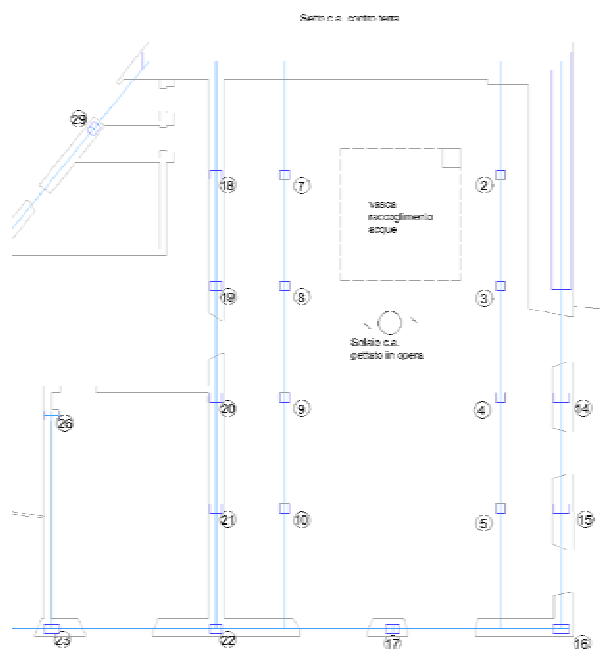


Figura 19 – Piano seminterrato cemento armato – vasca di raccoglimento acque



Figura 20 – Piano seminterrato cemento armato – botola di accesso alla vasca di raccoglimento acque



Figura 21 – Piano terra cemento armato – pilastro interno (P04) con corrispondente pilastro nella muratura perimetrale (P14)



Figura 22 – Piano terra cemento armato – pilastro interno centrale lato sud (P17)



Figura 23 – Piano terra cemento armato – travatura e pilastri della cappella (P07, P08, P09)

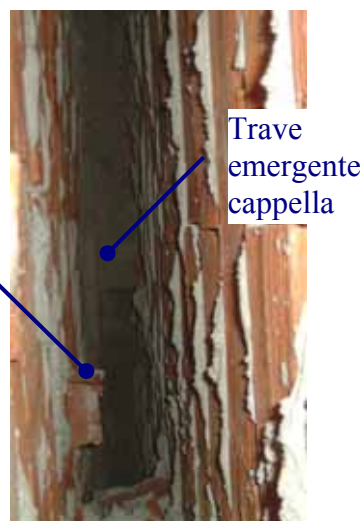


Figura 24 – Piano terra cemento armato – appoggio travatura emergente della cappella su trave di bordo

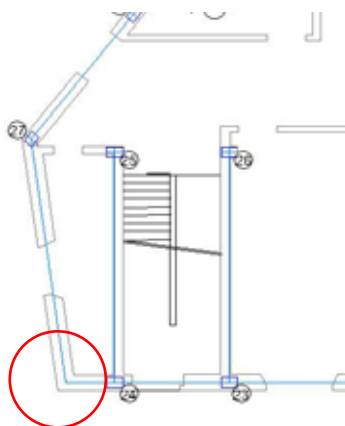


Figura 25 – Piano terra cemento armato – angolo Sud-Ovest



Figura 26 – Piano terra cemento armato – angolo Sud-Ovest



Figura 27 – Piano terra cemento armato – angolo Sud-Ovest, appoggio trave su trave



Figura 28 – Piano terra cemento armato – paramento murario preesistente (intonacato) e struttura in cemento armato addossata

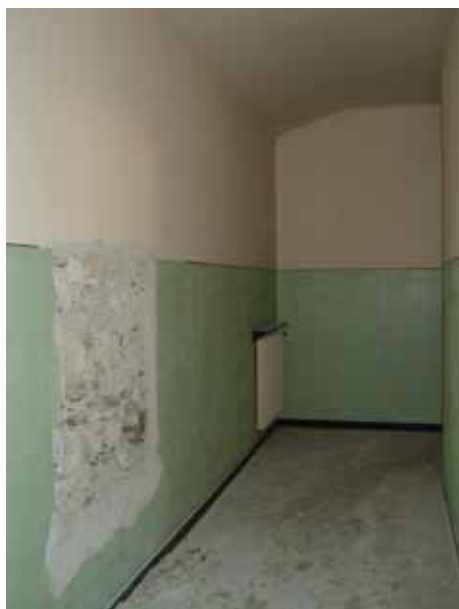


Figura 29 – Piano primo cemento armato – muratura di confine tra le porzione in cemento armato e quella in muratura



Figura 30 – Piano primo cemento armato – trave in cemento armato e pilastri perimetrali



Figura 31 – Piano primo cemento armato – travi in cemento armato e pilastri perimetrali



Figura 32 – Piano primo cemento armato – cordolo di piano



Figura 33 – Piano primo cemento armato – pilastri interni



Figura 34 – Solaio copertura parte in cemento armato



Figura 35 – Copertura parte in cemento armato



3.2. Indagine pacometrica (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

L'indagine, eseguita utilizzando un Pacometro modello 58-E60, ha lo scopo di rilevare la posizione dei ferri di armatura e le loro dimensioni all'interno degli elementi strutturali in cemento armato.

Tale strumento basandosi sul principio di induzione di impulsi elettromagnetici, permette la localizzazione dei ferri d'armatura fino ad una profondità di 10 cm circa. La tecnica utilizzata fornisce letture molto stabili ed è insensibile alle interferenze elettriche e agli effetti delle variazioni termiche.

Questa metodologia sfrutta il principio delle correnti passive che presenta i seguenti vantaggi:

- sono assenti interferenze elettriche, magnetiche, termiche e non vi sono condizionamenti dovuti agli effetti ionici dell'umidità nel calcestruzzo non stagionato;
- precisione delle misure;
- ripetibilità dei risultati.



Figura 36 – Indagine pacometrica

La strumentazione è costituita da una centralina portatile e da una sonda emettitrice-ricevitrice che viene appoggiata sulla superficie da indagare e fatta scorrere orizzontalmente o verticalmente a seconda degli elementi ricercati. La presenza e la stima della distanza della barra dalla sonda è letta sul display dello strumento.

Per l'interpretazione dei risultati, elencati nella tabella allegata, si può far riferimento alla normativa BS 1881: 204.

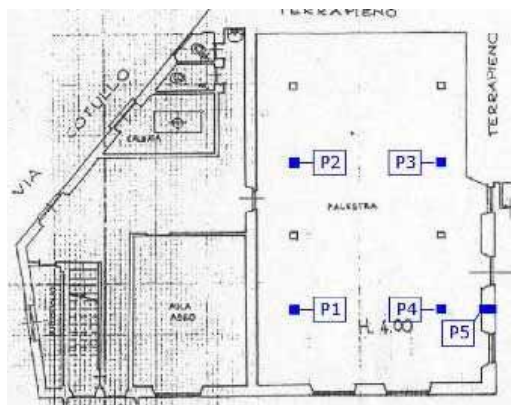


Figura 37 – Punti d'indagine pacometrica (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

Tabella 3 - Risultati indagine pacometrica (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

Elemento	Armatura principale		Staffe		Note
	N° ferri	Diametro [mm]	Passo [cm]	Diametro [mm]	
P1	3 per lato analizzato	16	15-20	12	4cm circa copriferro
P2	3 per lato analizzato	16	15-21	12-14	
P3	3 per lato analizzato	16	15-22	12-14	
P4	3 per lato analizzato	16	15-23	14	
P5	3 per lato analizzato	16	20-23	8	2cm circa copriferro

3.3. Indagini ultrasoniche

Le prove ultrasoniche hanno lo scopo di verificare l'omogeneità degli elementi strutturali, di individuare eventuali mutamenti delle proprietà dei materiali a causa di fenomeni di degrado, di esaminare eventuali difetti presenti negli elementi quali cavità, fessurazioni, strati superficiali danneggiati e di stimare l'ordine di grandezza della resistenza dei materiali utilizzati a partire dalla misura del tempo di trasmissione di onde ultrasoniche attraverso il materiale.

Le prove sono state eseguite in conformità con la norma UNI EN 12504-4:2005 preparando adeguatamente la superficie di prova che deve risultare pulita, levigata mediante smerigliatura se presenta eccessiva rugosità e sufficientemente piana da permettere un contatto uniforme con le sonde.

La prova consiste nella misurazione del tempo di trasmissione delle onde ultrasoniche (in microsecondi) da una sonda sorgente, posta a contatto con la superficie di una faccia dell'elemento, ad una ricevente posta su un'altra faccia. In particolare, nell'edificio in esame, sono state effettuate tutte prove di trasmissione diretta con le sonde di emissione e di ricezione dei segnali acustici posizionate in due punti speculari delle facce dell'elemento, alla stessa altezza dal suolo, in modo che la congiungente sia perpendicolare alle superfici (Figura 38).

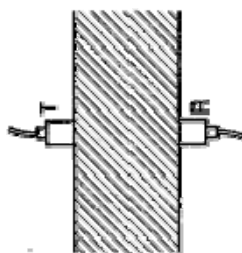


Figura 38 - Trasmissione diretta.

Le due sonde sono state preliminarmente preparate, così come è raccomandato nella UNI 12504-4:2005, spalmando della plastilina sulla superficie di contatto, in modo da evitare la presenza di aria, la cui impedenza acustica provoca un'attenuazione del segnale. Emissione e ricezione del segnale si ottengono premendo le due sonde contro le superfici di calcestruzzo in modo tale da comprimere il materiale fino ad ottenere una lettura stabile del tempo di propagazione. La norma raccomanda di effettuare almeno 4 letture del tempo di propagazione. In Figura 39 si riporta una fotografia dell'apparecchiatura necessaria per eseguire tali prove.



Figura 39 - Apparecchiatura per rilievi sonici ed ultrasonici CMS v. 3.1 della Boviar Srl

Anche se teoricamente tale metodo è indipendente dalla lunghezza del percorso delle onde, tuttavia la norma di riferimento raccomanda di eseguire la prova su elementi con spessore minimo 100 - 150 mm in quanto per spessori minori la prova può essere sensibilmente influenzata dalle condizioni di rugosità superficiale, da alcune caratteristiche fisiche del materiale come la porosità e soprattutto dalla composizione granulometrica del calcestruzzo. Prove eseguite su elementi di spessore troppo elevato, d'altra parte, sono influenzate dalla variazione subita dall'ampiezza e dalla frequenza delle onde lungo il percorso a causa dell'assorbimento del segnale nel calcestruzzo.

I risultati numerici ottenuti sono stati elaborati attraverso un'analisi di tipo statistico calcolando un valore medio del tempo di ritardo e, al fine di controllare che la dispersione dei dati non sia troppo elevata, il valore della deviazione standard.

Secondo il principio fisico di propagazione delle onde elastiche di frequenza superiore ai 50 KHz (fascia ultrasonora) in un mezzo materiale è possibile ricavare, a partire dal valore di velocità di propagazione delle onde, facilmente calcolabile nota la distanza fra le due sonde, un valore del modulo elastico del materiale mediante la relazione:

$$E_d = V^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad [1]$$

dove: V = velocità ultrasonica;
 ρ = densità del materiale;
 ν = modulo di Poisson.

I moduli elastici dinamici che si ricavano da questa relazione sono di valore superiore a quelli ottenibili con prove statiche, e si discostano sempre più man mano che si passa da un mezzo perfettamente omogeneo ed isotropo ad uno disomogeneo ed anisotropo; la propagazione dell'onda dipende, infatti, dalla continuità del materiale, in quanto la presenza di vuoti o fessure dell'ordine di qualche micron provoca la riflessione dell'onda, ritardando o impedendo del tutto la sua propagazione nel materiale.

Attraverso tale metodologia è possibile calcolare la resistenza caratteristica a compressione del materiale secondo la seguente relazione:

$$R_{ck} = 1.88 \cdot 10^{-22} \cdot V^{6.184} \quad [2]$$



essendo V la velocità.

Alternativamente, a partire dal valore del modulo di elasticità del calcestruzzo è possibile determinare un valore di resistenza caratteristica utilizzando la relazione proposta dal D.M. 16.01.96:

$$R_{ck} = \left(\frac{E}{5700} \right)^2 \quad [3]$$

dove E (espresso in MPa) è dedotto dalle curve di correlazione tarate sul valore del modulo elastico dinamico che risulta connesso alla velocità di propagazione dell'onda nel mezzo investigato.

I dati di velocità ultrasonica possono essere utilizzati anche in combinazione con i dati sclerometrici, indice di rimbalzo, per la determinazione della resistenza caratteristica del calcestruzzo con l'analisi SONREB così come verrà mostrato nel paragrafo 3.5.



Figura 40 – Piano terra cemento armato – Punto d'indagine 5



Figura 41 – Piano terra cemento armato – Punti d'indagine 9 - 7 - 8



Figura 42 – Piano terra cemento armato – Punto d'indagine 13



Figura 43 – Piano terra cemento armato – Punto d'indagine 14



Figura 44 – Piano primo cemento armato – Punti d'indagine 18-15-17



Figura 45 – Piano primo cemento armato – Punto d'indagine 16

Nella seguente tabella sono riportati i risultati numerici di tali indagini.

Tabella 4 - Risultati delle prove ultrasoniche

Punto	Distanza [mm]	Ritardo Misurato [μs]			Media [μs]	Dev.st [μs]	Velocita' [m/s]	E [N/mm ²]	R _{ck} [2] [N/mm ²]	R _{ck} [3] [N/mm ²]
Pil 1	240	85.1	86.1	87.1	86.1	1.0	2787	16783	3.8	8.7
Pil 2	240	68.3	68.7	72.4	69.8	2.3	3438	25537	13.9	20.1
Pil 3	400	132.5	127.0	127.7	129.1	3.0	3099	20747	7.3	13.2
Pil 4	240	74.2	72.2	70.2	72.2	2.0	3324	23867	11.3	17.5
Pil 5	240	80.5	83.7	83.9	82.7	1.9	2902	18191	4.9	10.2
Pil 6	240	80.7	79.2	77.9	79.3	1.4	3028	19801	6.3	12.1
Pil 7	240	82.0	82.5	77.9	80.8	2.5	2970	19057	5.6	11.2
Pil 8	240	82.4	76.2	77.4	78.7	3.3	3051	20105	6.6	12.4
Pil 9	240	80.5	82.2	82.0	81.6	0.9	2942	18700	5.3	10.8
Pil 10	240	81.3	76.8	77.0	78.4	2.5	3063	20259	6.8	12.6
Pil 11	240	78.2	75.5	80.2	78.0	2.4	3078	20467	7.0	12.9
Pil 12	240	88.6	87.0	80.1	85.2	4.5	2816	17126	4.0	9.0
Pil 13	240	80.8	82.0	78.6	80.5	1.7	2983	19215	5.8	11.4
Pil 14	240	104.9	100.9	99.9	101.9	2.6	2355	11982	1.3	4.4
Pil 15	240	62.2	61.0	63.1	62.1	1.1	3865	32262	28.6	32.0
Pil 16	240	58.8	59.6	58.7	59.0	0.5	4065	35701	39.2	39.2
Pil 17	240	63.2	62.7	62.0	62.6	0.6	3832	31715	27.2	31.0
Pil 18	240	66.1	65.7	64.6	65.5	0.8	3666	29029	20.7	25.9
Pil 19	240	58.8	59.0	58.9	58.9	0.1	4075	35863	39.7	39.6
media							3228	22969	12.9	17.6



3.4. Indagini sclerometriche

Le prove sclerometriche (Figura 46) consentono di determinare la durezza superficiale di un elemento in calcestruzzo mediante la misura del rimbalzo di un'asta all'interno dello strumento (sclerometro), proiettata sulla superficie della struttura stessa. I valori dell'indice di rimbalzo N , ottenuti con tale prova, sono in generale confrontabili con la resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo attraverso delle curve di correlazione (Figura 47) che tengono conto della durezza dell'aggregato lapideo, della finitura e compattazione dello strato corticale, della stagionatura superficiale.



Figura 46 - Prova sclerometrica

Le prove sclerometriche sono state eseguite in conformità con quanto specificato nella norma UNI EN 12504-2: 2001. Gli elementi di calcestruzzo da sottoporre a prova sono stati scelti in modo da essere di almeno 100 mm di spessore evitando aree che rivelano la presenza di nidi di ghiaia, sfaldature, tessitura grossolana o alta porosità. Gli elementi su cui sono state eseguite le prove erano tutti privi di intonaco. Le superfici sono state preparate utilizzando la pietra abrasiva in modo da rettificare le superfici a tessitura ruvida o tenera o le superfici con resti di malta, fino a renderle lisce.

Così come raccomanda la norma le prove sono state eseguite tenendo saldamente lo sclerometro in posizione tale da consentire al pistone di avere un impatto perpendicolare alla superficie di prova, aumentando gradualmente la pressione sul pistone fino all'impatto del martello, si sono utilizzate dodici misure per ciascuna area di prova per ottenere una stima affidabile dell'indice sclerometrico, assicurandosi che la distanza tra due punti di impatto fosse superiore a 25 mm e che ogni battuta fosse ad una distanza superiore a 25 mm da ogni bordo. La dispersione delle battute nell'area d'intorno del punto prescelto è un accorgimento tecnico adottato per garantire la compensazione degli effetti di plasticizzazione, altrimenti indotti dalle precedenti battute sulla superficie del calcestruzzo. Sono state esaminate tutte le impronte lasciate sulla superficie dopo l'impatto e sono state scartate le misure in cui l'impatto ha frantumato o sfiorato la superficie.

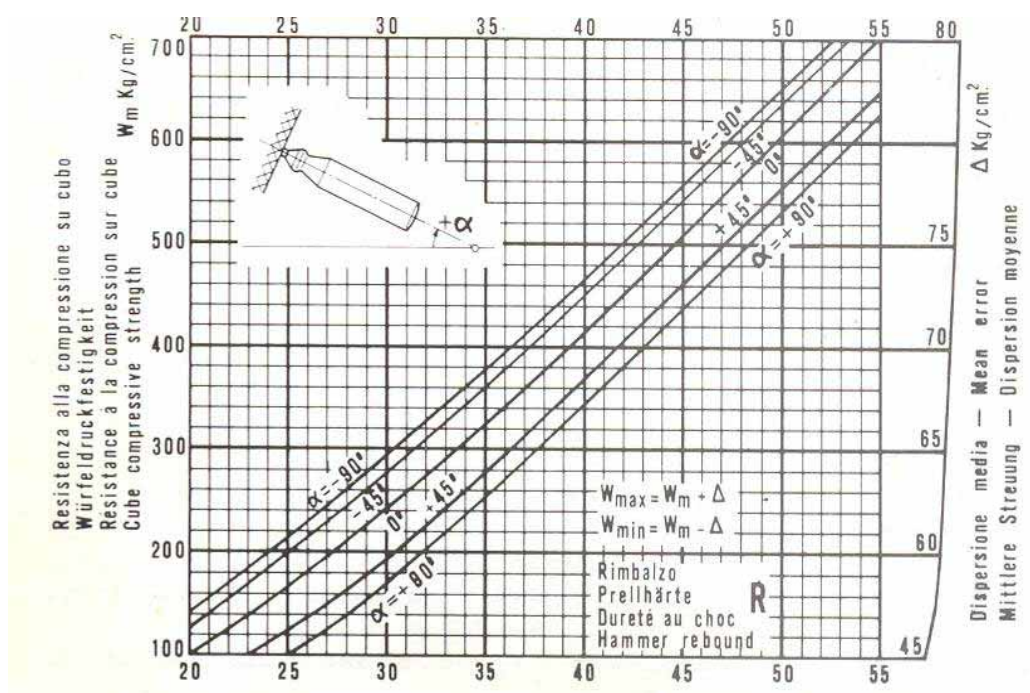


Figura 47 - Curva di correlazione dello strumento per il calcolo della resistenza a compressione in funzione dell'indice di rimbalzo.

Sulla prova incidono diversi fattori che contribuiscono a creare delle situazioni di singolarità nello strato superficiale indagato che, in fase di correlazione con la resistenza a compressione comportano mediamente un errore di stima in eccesso del 20 - 25%. Tra i fattori incidenti si ricordano l'indurimento indotto dalla carbonatazione superficiale, l'umidità della superficie, lo stato di conservazione della superficie.

A tal proposito si può osservare che nei confronti della prova sclerometrica umidità e carbonatazione hanno effetti che tendono rispettivamente a sottostimare e sovrastimare le quantità meccaniche del calcestruzzo (abbassano e innalzano l'indice di rimbalzo, mentre questi stessi fattori hanno effetti inversi nei confronti della prova agli ultrasuoni. Sfruttando questa caratteristica di inversione degli effetti dei due importanti fattori sopraelencati la metodologia Sonreb, che verrà presentata nel paragrafo seguente, legittima la compensazione degli errori di misura, attuando la combinazione dei dati sperimentali delle due prove.

I risultati numerici ottenuti sono elaborati attraverso un'analisi di tipo statistico: si calcola il valore medio degli indici di rimbalzo dei singoli campioni alle varie battute e a partire da questo si ricava il valore di resistenza caratteristica a compressione utilizzando la curva di correlazione presentata precedentemente. Al fine di controllare che la dispersione dei dati non sia troppo elevata è necessario calcolare anche il valore della deviazione standard

Nella seguente tabella sono riportati i risultati numerici di tali indagini.



Tabella 5 - Risultati delle prove sclerometriche

Elemento	Lato	Indice Di Rimbalzo N [-]										Media [-]	Dev.st [-]	R _{ck} [MPa]	
Pil 1	A	22	19	14	20	21	24	25	28	26	23	25.40	6.21	18.64	
	B	27	22	39	27	28	30	38	22	33	20				
Pil 2	A	24	30	26	28	33	30	32	26	26	30	28.00	3.84	22.8	
	B	22	30	28	29	26	38	22	29	24	27				
Pil 3	A	21	36	34	32	28	30	33	34	31	33	29.60	5.60	25.36	
	B	16	40	28	24	32	26	34	26	24	30				
Pil 4	A	24	30	29	34	28	24	28	24	28	33	27.70	3.16	22.32	
	B	32	22	29	25	26	30	26	26	28	28				
Pil 5	A	23	32	30	18	18	30	26	27	30	26	27.10	4.52	21.36	
	B	37	24	30	32	24	26	28	27	26	28				
Pil 6	A	22	22	24	24	24	25	28	25	22	30	24.65	2.37	17.44	
	B	24	24	24	28	24	27	26	26	24	20				
Pil 7	A	39	22	24	21	22	32	38	29	22	26	27.65	5.77	22.24	
	B	30	32	36	30	24	32	26	20	24	24				
Pil 8	A	27	27	26	26	34	37	34	35	37	27	31.95	4.20	29.12	
	B	36	35	30	30	35	30	27	37	32	37				
Pil 9	A	24	26	22	24	28	22	30	32	30	32	28.25	3.82	23.2	
	B	26	28	32	26	35	26	27	34	29	32				
Pil 10	A	24	32	30	26	28	34	30	23	28	28	27.50	3.07	22	
	B	24	24	28	26	30	25	28	29	23	30				
Pil 11	A	28	26	26	28	30	26	26	26	38	30	27.95	2.89	22.72	
	B	26	28	30	24	28	30	28	27	27	27				
Pil 12	A	24	28	30	24	28	30	35	28	26	28	27.85	3.00	22.56	
	B	24	26	28	28	28	32	32	28	27	23				
Pil 13	A	28	35	21	30	27	29	23	31	27	26	27.10	4.36	21.36	
	B	28	30	19	22	28	24	25	26	26	37				
Pil 14	A	28	28	28	28	28	32	34	45	27	36	28.80	5.36	24.08	
	B	24	22	26	26	27	27	35	22	27	26				
Pil 15	A	33	35	32	36	46	35	32	36	34	34	37.95	3.94	38.72	
	B	42	40	41	41	40	40	39	40	42	41				
Pil 16	A	42	44	44	24	45	20	20	46	44	42	38.35	9.24	39.36	
	B	40	42	20	46	38	40	38	42	44	46				
Pil 17	A	40	36	34	40	43	38	36	32	36	28	38.25	5.82	39.2	
	B	23	44	40	43	45	40	44	40	37	46				
Pil 18	A	33	40	39	43	36	36	12	34	40	34	39.15	9.50	40.64	
	B	46	46	43	20	50	46	48	47	46	44				
Pil 19	A	46	45	44	44	43	42	46	42	42	42	39.05	5.17	40.48	
	B	34	41	35	34	32	34	34	32	37	32				
media														27.0	



3.5. Metodo Sonreb

Questo metodo, grazie alla combinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici con l'indice di rimbalzo dello sclerometro, consente di determinare la resistenza a compressione del calcestruzzo attraverso una tabella sperimentale. Infatti, mentre l'indice sclerometrico è influenzato dalle proprietà dello strato superficiale, la velocità degli ultrasuoni dipende dalle proprietà della parte interna del materiale; inoltre la presenza di un significativo contenuto d'umidità nel materiale induce ad una stima della resistenza caratteristica del calcestruzzo che risulta per difetto usando l'indice sclerometrico, ed per eccesso usando le velocità degli ultrasuoni. La combinazione dei risultati desunti dalle due prove indirette, quindi, consente di ottenere valori più attendibili rispetto a quelli ottenuti dai singoli test in base alla documentazione presente in letteratura, con un errore del 15%. Detto metodo è normalizzato in seno alla commissione Rilem 43 CND e la relativa normativa UNI è in corso di definizione. La curva di correlazione fra le due prove ha la seguente forma:

$$R_{ck[1]} = 7.695 \cdot 10^{-11} \cdot N^{-1.4} \cdot V^{2.6} \quad [4]$$

dove: N = indice di rimbalzo;

V = velocità ultrasonica [m/s];

R_{ck} = resistenza cubica a compressione [MPa].

Oltre alla correlazione proposta dalla Rilem se ne possono considerare altre due:

$$R_{ck[2]} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot N^{-1.058} \cdot V^{2.446} \quad [5]$$

$$R_{ck[3]} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot N^{-1.246} \cdot V^{1.846} \quad [6]$$

Nelle tre formule, come si può notare, i parametri presenti, pur rimanendo gli stessi, presentano differenti valori degli indici esponenziali e ciò in base all'importanza conferita da ogni autore ai vari fattori perturbativi connessi all'impiego del metodo combinato Sonreb. Si propone di assumere un valore medio fra quelli ricavati con le tre formulazioni.

Nella seguente tabella si riportano i risultati numerici di tali indagini.



Tabella 6 - Valori di resistenza caratteristica a compressione ricavati con metodo Sonreb

Punto	N [-]	V [m/s]	$R_{c1} = 7,695 \cdot 10^{-10} \cdot N^{1,4} \cdot V^{2,6}$ [MPa]	$R_{c2} = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot N^{1,058} \cdot V^{2,446}$ [MPa]	$R_{c3} = 8,06 \cdot 10^{-8} \cdot N^{1,246} \cdot V^{1,85}$ [MPa]	R_{ck} [MPa]
Pil 1	25.4	2787	6.46	9.83	10.73	9.01
Pil 2	28.0	3438	12.79	18.21	17.86	16.28
Pil 3	29.6	3099	10.55	14.98	15.79	13.77
Pil 4	27.7	3324	11.54	16.57	16.55	14.89
Pil 5	27.1	2902	7.86	11.62	12.53	10.67
Pil 6	24.7	3028	7.69	11.66	12.04	10.46
Pil 7	27.7	2970	8.59	12.56	13.41	11.52
Pil 8	32.0	3051	11.27	15.62	16.87	14.59
Pil 9	28.3	2942	8.63	12.55	13.53	11.57
Pil 10	27.5	3063	9.23	13.46	14.09	12.26
Pil 11	28.0	3078	9.57	13.86	14.52	12.65
Pil 12	27.9	2816	7.55	11.11	12.26	10.30
Pil 13	27.1	2983	8.44	12.42	13.18	11.35
Pil 14	28.8	2355	4.97	7.43	9.18	7.20
Pil 15	38.0	3865	26.52	33.43	32.38	30.78
Pil 16	38.4	4065	30.70	38.26	36.02	34.99
Pil 17	38.3	3832	26.23	33.01	32.18	30.47
Pil 18	39.2	3666	24.15	30.36	30.53	28.35
Pil 19	39.1	4075	31.68	39.21	37.00	35.96
media	30.6	3228	13.92	18.74	18.98	17.21

3.6. Prove di compressione diretta

3.6.1. Carotaggi

Il carotaggio è la prima operazione necessaria per eseguire una prova di compressione diretta e consiste nell'estrazione di un campione su cui svolgere le prove in laboratorio. Il carotaggio è effettuato con un carotiere, dotato di una testata rotante diamantata, con il quale si ottiene il prelievo di carote aventi diametro ϕ dell'ordine di 80 - 100 mm e lunghezza fino a 400 mm (che può essere incrementata mediante prolunghe). Le dimensioni delle carote risultano fondamentali non solo per l'esecuzione di prove a compressione, ma anche per una calibrazione corretta e normalizzata degli altri metodi di indagine previsti.

Le modalità di prelevamento sono eseguite come descritto nella norma UNI EN 12504-1:2002, in modo da ridurre il danneggiamento sul campione. La norma prescrive inoltre che il diametro del provino estratto sia superiore a tre volte la dimensione massima dell'inerte e che nel rendiconto dei risultati sia indicata la direzione del prelievo.

Su tali elementi è quindi possibile svolgere:

- prove ultrasoniche con metodo diretto su ciascuna carota, in laboratorio;
- prove di schiacciamento sotto pressa in laboratorio per la stima della resistenza caratteristica a compressione secondo la vigente normativa e per la correlazione dei metodi di prova non distruttivi già eseguiti.



Tutti i carotaggi sono stati eseguiti con perforazione orizzontale.

3.6.2. Prova di rottura con provino verticale

I provini estratti sono stati sottoposti ad una prova di rottura a compressione per incremento di carico costante, eseguita presso il Laboratorio Ufficiale dei Materiali e delle Costruzioni del Dipartimento DICAT dell'Università degli Studi di Genova. Ciascun provino è posto tra i piatti della macchina di prova, uno dei quali è articolato e collegato ad un pistone mobile. La condizione di rottura è rappresentata dalla sostanziale perdita di proporzionalità tra incremento di carico e deformazione in atto, che rende impossibile qualsiasi ulteriore incremento di carico.

Dalle prove di laboratorio (in rispetto della Norma UNI 12390-3:2003), si è ottenuta la resistenza cilindrica a compressione e il valore del modulo elastico a partire dalle misurazioni dei tre estensimetri disposti parallelamente all'asse dei provini.

La resistenza a compressione del provino cilindrico è data dalla formula:

$$f_{cil} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad [7]$$

dove: f_{cil} è la resistenza alla compressione del provino cilindrico;

F è il carico massimo;

D è la dimensione nominale della sezione.

Dalle prove di laboratorio si ottiene la resistenza cilindrica a compressione che può essere correlata alla resistenza cubica tramite la relazione riportata nel D.M. 9 gennaio 1996:

$$R_{ck} = \frac{R_{cil}}{0.83} \quad [8]$$

In realtà il valore suddetto dovrebbe essere opportunamente rimodulato per tener conto di due aspetti fondamentali. In primo luogo si osserva che il grado di compattazione di un provino in calcestruzzo, sia che si tratti di un cubetto o di una carota, porta ad avere dei risultati di resistenza caratteristica che normalmente sono maggiori rispetto a quelli ottenibili da una prova su una carota estratta dalla struttura reale che presenta un grado di compattazione incompleta rispetto a quella generalmente ottenibile (compattazione a rifiuto) quando si confezionano i provini prelevati al momento del getto. Tale aspetto determina la presenza di macrovuoti che rendono il materiale più penetrabile, meno durabile e meccanicamente meno resistente; inoltre, nel caso di calcestruzzi con inerti di grosse dimensioni, l'operazione di carotaggio può presentare delle insidie legate al diametro della carota da estrarre e ad effetti di disturbo causati durante le operazioni di estrazione: anche se la normativa UNI 6131: 2002 raccomanda di estrarre carote con un diametro che superi di almeno 3 volte il diametro massimo dell'aggregato, tale operazione può diventare problematica nel caso di inerti con diametri di 40 -50 mm, in quanto in tali casi la perforazione rischierebbe di coinvolgere, e quindi tagliare, i ferri dell'armatura.

Per ricondurre il risultato alla resistenza cubica a 28 giorni si può utilizzare la seguente relazione:

$$R_{cub28gg} = (0.5 \div 0.8) \cdot (1.05 \div 1.25) \cdot R_{cil} \quad [9]$$

Nel caso di rapporti di snellezza delle carote inferiori a 2 si adottano i fattori di correzione proposti nelle British Standard 1881: 1970:

$$R_{cubs} = R_{\lambda} \cdot \frac{D}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} \quad [10]$$



dove: R_{cubs} = resistenza cubica del calcestruzzo della struttura;
 R_{λ} = valore della resistenza a compressione del calcestruzzo misurato sperimentalmente con carote avente rapporto altezza / diametro pari a λ ;
 D = costante con valore 2.5 per carotaggio orizzontale e 2.3 per carotaggio verticale.



Figura 48 – Piano seminterrato cemento armato – Punto d'indagine 2



Figura 49 – Piano seminterrato cemento armato – Punto d'indagine 3



Figura 50 – Piano seminterrato cemento armato – Punto d'indagine 4



Figura 51 – Piano seminterrato cemento armato – Punto d'indagine 11



Figura 52 – Piano primo cemento armato – Punto d'indagine 16



Figura 53 – Piano primo cemento armato – Punto d'indagine 19

Di seguito si riportano i risultati delle prove di compressione effettuate sulle carote.

Tabella 7 - Risultati delle prove di rottura a compressione sulle carote

Punto	D [mm]	L [mm]	F [KN]	f_c [MPa]	Rcub [Mpa]
Pil 1	80	162	84	16.7	20.1
Pil 2	80	173	64	12.7	15.3
Pil 3	80	167	44	8.8	10.5
Pil 4	80	154	56	11.1	13.8
Pil 8	80	170	88	17.5	21.1
Pil 11	80	158	52	10.3	12.9
Pil 16	80	159	158	31.4	39.2
Pil 19	80	166	162	32.2	38.8

**3.7. Resistenza a compressione del calcestruzzo armato**

Nella tabella seguente si riportano i valori della resistenza a compressione ottenuta a seguito delle diverse prove diagnostiche condotte sugli elementi in calcestruzzo armato dell'edificio

Tabella 8 - Valori di resistenza a compressione del calcestruzzo ricavati con le diverse prove

Punto	Carotaggio						Ultrasuoni		Sclerometro	Sonreb
	D [mm]	L [mm]	$\lambda=h/D$	F [KN]	f_c [MPa]	R_{cub} [N/mm ²]	Rck [3] da E	Rck [2] da V	Rck [MPa]	Rck [MPa]
Pil 1	80	162	2.025	84	16.7	20.1	8.67	3.80	18.64	9.01
Pil 2	80	173	2.1625	64	12.7	15.3	20.07	13.90	22.8	16.28
Pil 3	80	167	2.0875	44	8.8	10.5	13.25	7.31	25.36	13.77
Pil 4	80	154	1.925	56	11.1	13.8	17.53	11.28	22.32	14.89
Pil 5							10.19	4.87	21.36	10.67
Pil 6							12.07	6.33	17.44	10.46
Pil 7							11.18	5.62	22.24	11.52
Pil 8	80	170	2.125	88	17.5	21.1	12.44	6.63	29.12	14.59
Pil 9							10.76	5.30	23.2	11.57
Pil 10							12.63	6.79	22	12.26
Pil 11	80	158	1.975	52	10.3	12.9	12.89	7.01	22.72	12.65
Pil 12							9.03	4.04	22.56	10.30
Pil 13							11.36	5.77	21.36	11.35
Pil 14							4.42	1.34	24.08	7.20
Pil 15							32.04	28.64	38.72	30.78
Pil 16	80	159	1.9875	158	31.4	39.2	39.23	39.17	39.36	34.99
Pil 17							30.96	27.16	39.2	30.47
Pil 18							25.94	20.66	40.64	28.35
Pil 19	80	166	2.075	162	32.2	38.8	39.59	39.72	40.48	35.96
media tot						21.5	17.6	12.9	27.0	17.2
media – da Pil1 a Pil 14						15.6	12.9	7.2	22.5	12.5
media – da Pil5 a Pil 19						39.0	33.9	31.7	39.9	32.4

In relazioni a tali risultati si può notare come esistano chiaramente due tipologie di conglomerato diverso, relative alle differenti fasi costruttive. Per i primi due livelli si può concludere che il calcestruzzo in opera possa essere assimilato ad una classe di resistenza C16/20; mentre per la sopraelevazione il calcestruzzo in opera possa essere assimilato ad una classe di resistenza C35/45.



3.8. Resistenza a trazione sui ferri d'armatura

Al fine di identificare la resistenza delle barre di armatura, i quattro provini estratti (due al piano seminterrato e due al primo piano) sono stati sottoposti ad una prova di trazione. Per eseguire la prova, ai provini d'armatura estratti in sito, sono stati saldati due spezzoni di barre di acciaio di diametro maggiore rispetto ai provini.

Tabella 9 - Valori di resistenza a trazione delle barre di armatura

Punto	Diametro [mm]	Sez resistente [cm ²]	Carico snervamento		Carico rottura	
			[Kg]	[N/mm ²]	[Kg]	[N/mm ²]
P1	12	1.13	4500	397.89	6650	587.99
P1	12	1.13	4550	402.31	6600	583.57
P8	16	2.01	7200	358.10	10800	537.15
P8	16	2.01	7500	373.02	11800	586.88

Le barre d'armatura estratte sono lisce e in relazioni ai risultati della prova si può concludere che siano classificabili come Feb32k.

4. Indagini sulla porzione in muratura

4.1. Rilievo conoscitivo

Come già descritto, la porzione strutturale in muratura è formata da due corpi rettangolari costruiti in epoche diverse. Tale ipotesi risulta confermata dalle indagini diagnostiche realizzate le quali hanno messo in luce, non solo una diversità della tipologia muraria e una mancanza di ammorsamento tra i due corpi, ma anche una diversa tipologia degli orizzontamenti (§5). Da un primo esame visivo si è rilevata la presenza di alcune travi in acciaio e altre in cemento armato negli orizzontamenti della porzione centrale in muratura (Mur A), che dall'indagine video-endoscopica sono risultati essere a struttura lignea. La stessa indagine ha inoltre permesso di identificare come i solai della rimanente porzione muraria (Mur B) siano invece in latero-cemento.

Un ulteriore modifica della struttura originaria è riconoscibile al piano terra del corpo centrale (Mur A) dove si rileva la presenza di due profili metallici affiancati messi in opera in conseguenza di una probabile demolizione di un muro portante.



Figura 54 – Piano terra muratura (A) – travi in acciaio e calcestruzzo



Figura 55 – Piano terra muratura (A) – travi in acciaio accoppiate



Figura 56 – Piano primo muratura (A) – travi in acciaio



Figura 57 – Piano secondo muratura (A) – travi in acciaio

La disomogeneità tra le due porzioni strutturali prosegue anche in copertura dove si riconosce una struttura lignea a falde inclinate per la porzione centrale (Mur A) e una copertura piana adibita a terrazzo per la rimanente parte (Mur B).



Figura 58 – Copertura muratura (A)



Figura 59 – Copertura muratura (A)



Figura 60 – Copertura piana muratura (B)



4.2. Individuazione tipologica della muratura

Al fine di individuare la tipologia muraria degli elementi verticali dell'edificio, requisito fondamentale e preliminare per ogni livello di conoscenza ai sensi dell'OPCM 3274/03 e ss.mm. sono stati individuati 12 pannelli murari (dimensioni 100 x 100 cm ad esclusione del pannello 5) rappresentativi della muratura portante dell'edificio.



Figura 61 – Pannello P1/A (Piano terra, Mur A)



Figura 62 – Pannello P1/B (Piano terra, Mur A)



Figura 63 – Pannello P2/A (Piano terra, Mur A)



Figura 64 – Pannello P2/B (Piano terra, Mur A)



Figura 65 – Pannello P3/A (Piano terra, Mur A)



Figura 66 – Pannello P3/B (Piano terra, Mur A)



Figura 67 – Pannello P4/A (Piano terra, Mur B)



Figura 68 – Pannello P4/B (Piano terra, Mur B)



Figura 69 – Pannello P5/A (Piano primo, Mur A)



Figura 70 – Pannello P5/B (Piano primo, Mur A)



Figura 71 – Pannello P6/A (Piano primo, Mur A)



Figura 72 – Pannello P6/B (Piano primo, Mur A)



Figura 73 – Pannello P7/A (Piano primo, Mur A)



Figura 74 – Pannello P7/B (Piano primo, Mur A)



Figura 75 – Pannello P8/A (Piano primo, Mur B)



Figura 76 – Pannello P8/B (Piano primo, Mur B)



Figura 77 – Pannello P9/A (Piano primo, Mur B)



Figura 78 – Pannello P9/B (Piano primo, Mur B)



Figura 79 – Pannello P11/A (Piano secondo, Mur A)



Figura 80 – Pannello P11/B (Piano secondo, Mur A)



Figura 81 – Pannello P12/A (Piano secondo, Mur A)



Figura 82 – Pannello P12/B (Piano secondo, Mur A)



Figura 83 – Pannello P13/A (Piano secondo, Mur B)



Figura 84 – Pannello P13/B (Piano secondo, Mur B)

Dall'esame visivo dei pannelli analizzati, è possibile individuare tre diverse tipologie murarie. In particolare si può osservare come la muratura presente sia di tipologia omogenea a tutti i livelli in corrispondenza del corpo centrale in muratura (denominato Muratura A), mentre nella restante porzione strutturale (Muratura B) la tipologia rilevata si mantiene costante solo per i primi due livelli. La differenza nella tessitura muraria rilevata nelle due porzioni strutturali (Muratura A e B) conferma l'ipotesi di una differenza di epoca di costruzione.



In relazione alla Tabella 11.D.1 dell'Allegato 11.D. (*TIPOLOGIE E RELATIVI PARAMETRI MECCANICI DELLE MURATURE*) dell'OPCM 3274/03 e ss.mm. la muratura presente, in funzione della tessitura ed apparecchiatura muraria rilevata, può essere associata alle seguenti tipologie:

- a) Muratura A: Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	110 155	3,5 5,1	1020 1440	170 240	20

- b) Muratura B: Muratura in pietre a spacco con buona tessitura

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150 200	5,6 7,4	1500 1980	250 330	21

In corrispondenza dei pannelli murari investigati in questa porzione strutturale, si rileva inoltre la presenza di una listatura di mattoni; in relazione alla Tabella 11.D.2 dell'Allegato 11.D. dell'OPCM 3274/03 e ss.mm. le caratteristiche meccaniche di tale tipologia possono essere modificate considerando un fattore moltiplicativo pari a 1.1 ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0)

- c) Muratura A pilastri murari e Muratura B ultimo livello: Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180 280	6,0 9,2	1800 2400	300 400	18



4.3. Verifiche degli ammorsamenti

Al fine di verifica il reale grado di ammorsamento tra le pareti in muratura sono stati effettuati alcuni scrostamenti dell'intonaco interno in corrispondenza dei cantonali fra le pareti (5 al piano primo e 2 al piano secondo).



Figura 85 –Ammorsamento A1(Piano primo,Mur A)



Figura 86 –Ammorsamento A2(Piano primo,Mur A)



Figura 87 –Ammorsamento A3(Piano primo,Mur B)



Figura 88 –Ammorsamento A4(Piano primo,Mur B)



Figura 89 –Ammorsamento A5(Piano primo,Mur B)



Figura 90 – Ammorsamento A6 (Piano secondo, Mur A)



Figura 91 – Ammorsamento A7(Piano secondo, Mur A)

Nelle immagini precedenti sono riportate le fotografie della tessitura muraria in corrispondenza dei diversi cantonali. Nel dettaglio:

A1 – ammorsamento mancante tra le pareti ortogonali;

A2 – nel muro perimetrale è presente un solo concio lapideo che procede anche dopo l'intersezione con il pannello perpendicolare: ammorsamento scarso;

A3 – il muro perimetrale si addossa a quello perpendicolare, in cui sono presenti 3 conci che proseguono nello spessore murario; addossamento del muro perimetrale (relativo alla parte



aggiunta in un secondo tempo) alla struttura originaria in muratura (pannello con conci che proseguono nello spessore);

A4 – buon ammorsamento;

A5 – prosecuzione di un solo muro nello spessore: ammorsamento scarso;

A6 – buon ammorsamento;

A7 – prosecuzione di un solo muro nello spessore.

Si può notare come siano presenti alcuni elementi trasversali in grado di connettere le pareti perimetrali tra loro. Tuttavia le dimensioni delle morse e la loro regolarità è molto limitata, determinando un grado di ammorsamento generale limitato

4.4. Indagini sclerometriche sugli elementi lapidei

Le prove sclerometriche consentono di determinare la durezza superficiale di un elemento mediante la misura del rimbalzo di un'asta all'interno dello strumento (sclerometro), proiettata sulla superficie della struttura stessa. I valori dell'indice di rimbalzo N, ottenuti con tale prova, in generale sono confrontabili con la resistenza caratteristica cubica a compressione del materiale attraverso delle curve di correlazione che tengono conto della durezza dell'elemento lapideo, della compattazione dello strato corticale, della inclinazione tra lo strumento e la superficie di battuta.

Le prove sclerometriche sono state eseguite al fine di valutare la resistenza caratteristica degli elementi lapidei in maniera indiretta per poter poi stimare, tramite la conoscenza della qualità della malta di allettamento, la resistenza a rottura della muratura. I risultati numerici ottenuti sono elaborati attraverso un'analisi di tipo statistico: per ogni pannello di muratura individuato sono state effettuate da 3 a 5 serie (ognuna costituita da 10 battute) su altrettanti elementi lapidei rappresentativi del pannello investigato. Per controllare che la dispersione dei dati non fosse troppo elevata è stata calcolata anche il valore della deviazione standard. Nelle seguenti tabelle di riportano i risultati numerici di tali indagini

Tabella 10 – Risultati indagini sclerometriche sugli elementi lapidei

Pannello 1														
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A	lap 1	28	32	34	36	24	30	32	22	24	30	29.2	4.64	24.72
	lap 2	22	46	50	55	44	48	46	54	50	52	46.7	9.38	52.72
	lap 3	38	40	42	32	30	42	37	34	28	38	36.1	4.91	35.76
Lato B	lap 1	48	37	52	54	50	42	36	44	42	32	43.7	7.30	47.92
	lap 2	36	32	50	32	24	20	30	32	38	34	32.8	8.07	30.48
	lap 3	38	32	30	38	36	32	36	34	46	40	36.2	4.66	35.92
media														37.92





Pannello 2														
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A	lap 1	24	14	12	15	15	22	24	18	12	24	18	5.06	6.8
	lap 2	15	15	22	15	20	18	14	16	18	18	17.1	2.56	5.36
	lap 3	20	50	44	54	48	20	26	40	48	47	39.7	12.84	41.52
Lato B	lap 1	14	10	10	10	12	12	18	14	14	20	13.4	3.41	-
	lap 2	22	30	18	32	28	32	24	32	32	26	27.6	4.97	22.16
	lap 3	18	34	45	52	48	52	54	40	36	42	42.1	10.90	45.36
media														24.24



Note: Nel pannello 2 alcuni elementi lapidei sono in calcarenite (colore giallo), in particolare sul Lato A lap 1 e 2 e sul lato B lap 1.

Pannello 3														
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A	lap 1	44	42	36	58	46	52	54	50	40	44	46.6	6.80	52.56
	lap 2	34	34	22	30	36	32	32	34	26	22	30.2	5.12	26.32
	lap 3	28	12	23	26	20	18	24	22	24	26	22.3	4.67	13.68
Lato B	lap 1	36	32	34	30	24	42	46	48	32	30	35.4	7.66	34.64
	lap 2	38	50	26	54	52	54	54	48	22	56	45.4	12.40	50.64
	lap 3	20	48	38	38	42	40	27	20	42	30	34.5	9.70	33.2
media														35.17



Pannello 4														
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A	lap 1	38	36	30	38	20	40	32	32	32	40	33.8	6.07	32.08
	lap 2	20	20	27	26	20	18	20	20	20	20	21.1	2.92	11.76
	lap 3	20	20	22	48	40	40	42	42	36	44	35.4	10.63	34.64
Lato B	lap 1	47	44	44	38	32	46	46	47	46	32	42.2	5.98	45.52
	lap 2	38	32	32	32	40	34	32	40	30	36	34.6	3.66	33.36
	lap 3	36	38	36	30	34	32	32	22	24	34	31.8	5.20	28.88
media														31.04





Pannello 5													
Punti	Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
lap 1	18	32	20	32	32	36	38	28	36	34	30.6	6.74	26.96
lap 2	30	30	30	22	34	32	32	30	36	34	31	3.80	27.6
lap 3	20	22	22	24	20	36	34	32	32	20	26.2	6.49	19.92
media													24.83



Pannello 6													
Punti	Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A lap 1	42	44	22	26	30	22	28	18	15	30	27.7	9.45	22.32
lap 2	32	32	30	27	34	28	28	28	30	30	29.9	2.23	25.84
lap 3	34	30	38	12	30	30	28	26	32	36	29.6	7.17	25.36
Lato B lap 1	18	36	40	42	36	44	42	32	22	30	34.2	8.77	32.72
lap 2	20	38	28	22	26	40	38	28	32	22	29.4	7.31	25.04
lap 3	14	32	16	32	18	18	30	20	42	20	24.2	9.16	16.72
media													24.67



Pannello 7													
Punti	Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A lap 1	40	38	20	32	40	40	42	32	32	32	34.8	6.61	33.68
lap 2	38	34	40	38	26	24	44	22	28	36	33	7.50	30.8
lap 3	22	20	18	22	24	22	24	20	18	14	20.4	3.10	10.64
Lato B lap 1	28	32	24	28	28	12	32	28	22	24	25.8	5.85	19.28
lap 2	18	26	20	48	52	32	42	22	18	48	32.6	13.66	30.16
lap 3	30	22	14	12	18	26	22	18	18	20	20	5.33	10
media													22.43



Pannello 8													
Punti	Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A lap 1	12	22	26	30	32	30	24	24	22	20	24.2	5.85	16.72
lap 2	20	30	20	18	20	20	20	36	32	22	23.8	6.36	16.08
lap 3	12	18	22	24	22	28	14	26	26	32	22.4	6.24	13.84
Lato B lap 1	52	48	40	36	48	54	26	44	24	42	41.4	10.20	44.24
lap 2	18	42	20	42	22	18	18	26	28	22	25.6	9.28	18.96
lap 3	12	22	34	30	28	32	32	28	34	34	28.6	6.93	23.76
media													22.27



Note: Lato B lap3 mattone pieno



Pannello 9														
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
Lato A	lap 1	37	40	40	22	38	32	44	40	22	44	35.9	8.09	35.44
	lap 2	50	60	58	48	50	56	58	50	42	58	53	5.83	62.8
	lap 3	32	34	44	32	28	26	28	38	42	24	32.8	6.75	30.48
Lato B	lap 1	46	42	50	52	56	52	36	52	54	40	48	6.67	54.8
	lap 2	20	20	22	24	20	20	20	18	18	20	20.2	1.75	10.32
	lap 3	26	38	30	22	26	30	20	30	28	26	27.6	4.97	22.16
media														36.00



Note: Lato B lap2 mattone pieno

Pannello 11															
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]	
Lato A	lap 1	16	16	14	12	22	20	18	20	18	16	17.2	3.01	5.52	
	lap 2	24	18	10	32	30	26	27	32	18	16	23.3	7.48	15.28	
	lap 3	20	24	22	14	20	14	16	18	16	20	18.4	3.37	7.44	
Lato B	lap 1	26	50	20	28	56	52	52	50	52	48	43.4	13.23	47.44	
	lap 2	50	50	42	48	38	36	38	50	36	44	43.2	5.98	47.12	
	lap 3	22	26	28	24	28	18	20	26	32	24	24.8	4.13	17.68	
media														23.41	



Pannello 12															
Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Res [N/mm ²]	
Lato A	lap 1	28	52	40	28	52	56	42	44	42	50	43.4	9.66	47.44	
	lap 2	40	22	26	30	30	38	20	22	26	36	29	7.07	24.4	
	lap 3	20	20	36	20	44	20	44	22	40	22	28.8	10.76	24.08	
Lato B	lap 1	18	16	28	32	32	36	22	18	16	24	24.2	7.39	16.72	
	lap 2	26	26	24	18	24	24	24	20	26	30	24.2	3.33	16.72	
	lap 3	50	40	32	44	46	28	40	20	28	20	34.8	10.72	33.68	
media														27.17	



Pannello 13														
Punti	Risultati delle battute sclerometriche											Media	Dev.St	Res [N/mm ²]
lap 1	20	20	22	18	20	32	18	16	16	32	21.4	5.89	12.24	
lap 2	32	20	18	32	20	20	18	32	30	28	25	6.27	18	
lap 3	32	26	24	28	24	28	24	38	20	22	26.6	5.25	20.56	
media														16.93





I valori di resistenza ottenuti dalla prova sclerometrica sugli elementi lapidei variano da un minimo di 16.9 N/mm^2 , per la muratura in mattoni pieni del pannello 13 al secondo piano, ad un massimo di 37.9 N/mm^2 per la muratura del pannello 1 a piano terra.

Tale dispersione è da ritenersi comunque limitata soprattutto se si confrontano i valori ottenuti a ciascun livello e per ciascuna porzione strutturale. Anche all'interno di ciascun pannello la dispersione dei valori di resistenza non è molto elevata salvo la presenza di alcuni valori ritenuti poco rappresentativi delle condizioni medie del pannello.

Si ritiene quindi di poter stimare un valore di resistenza media a compressione rappresentativo degli elementi lapidei dei diversi pannelli pari a circa 28 N/mm^2 (valore ottenuto escludendo la resistenza ottenuta per il pannello 13).

Tabella 11 – Risultati indagini sclerometriche sugli elementi lapidei - resistenza media per pannello

Pannello	Localizzazione			Res [N/mm ²]
1	Piano terra	Mur A	muro perimetrale	37.92
2	Piano terra	Mur A	muro interno	24.24
3	Piano terra	Mur A	muro perimetrale	35.17
4	Piano terra	Mur B	muro interno	31.04
5	Piano primo	Mur A	pilastro interno	24.83
6	Piano primo	Mur A	muro perimetrale	24.67
7	Piano primo	Mur A	muro interno	22.43
8	Piano primo	Mur B	muro perimetrale	22.27
9	Piano primo	Mur B	muro interno	36.00
11	Piano secondo	Mur A		23.41
12	Piano secondo	Mur A		27.17
13	Piano secondo	Mur B		16.93
media				27.2
dev.st				6.5
min				16.9
max				37.9

4.5. Indagini sclerometriche sulla malta

L'indagine sclerometrica della malta è stata eseguita utilizzando uno sclerometro da malta Schmidt modello PM. Lo strumento misura la resistenza alla compressione e l'omogeneità del materiale, il martello dello sclerometro colpisce il materiale con un'energia predefinita e costante, la massa rimbalza in funzione della durezza e il valore dell'indice di rimbalzo è indicato su una scala graduata, tale indice permette la valutazione qualitativa della malta. La norma di riferimento per tale prova è la UNI 9189, è opportuno far notare che in essa è specificato che tale metodo da solo non è sufficiente per la determinazione della resistenza a compressione, ma ne fornisce una stima con una precisione del 15-20% perché influenzata dalla non omogeneità e isotropicità del materiale.

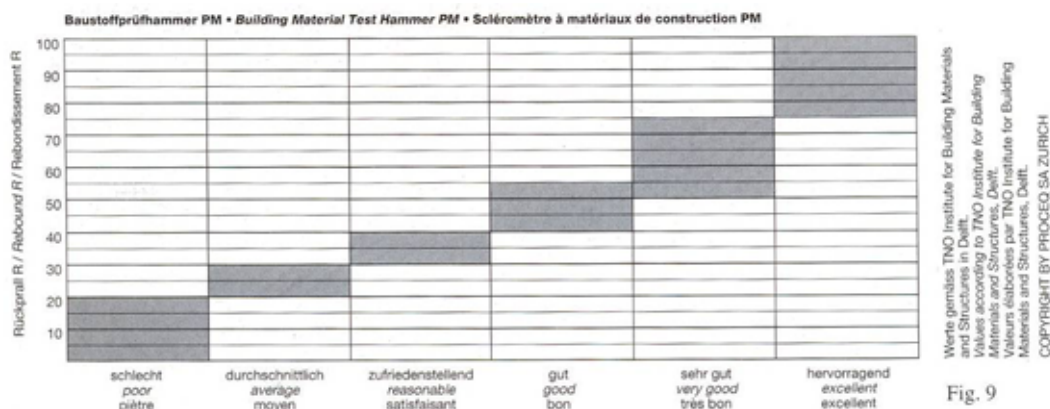


Figura 92 - Tabella di correlazione tra indice di rimbalzo e qualità della malta

Tabella 12 – Risultati prova sclerometrica sulla malta

Punti		Risultati delle battute sclerometriche										Media	Dev.St	Giudizio
Pannello 1	Lato A	31	36	10	15	18	15	20	14	15	15	18.90	8.20	scarsa
	Lato B	20	27	23	22	18	-	-	-	-	-	22.00	3.39	media
Pannello 2	Lato A	14	14	16	22	15	15	10	22	14	16	15.80	3.68	scarsa
	Lato B	22	20	18	30	14	8	10	16	22	13	17.30	6.53	scarsa
Pannello 3	Lato A	18	17	14	26	22	24	18	14	7	24	18.40	5.82	scarsa
	Lato B	15	17	15	22	18	4	17	12	12	20	15.20	5.05	scarsa
Pannello 4	Lato A	24	36	14	18	16	17	17	22	15	16	19.50	6.57	scarsa
	Lato B	15	17	15	22	18	4	17	12	12	20	15.20	5.05	scarsa
Pannello 5	Lato A	20	14	20	15	22	22	18	16	15	20	18.20	3.01	scarsa
	Lato B	16	12	14	4	14	18	20	22	22	24	16.60	5.97	scarsa
Pannello 6	Lato A	15	22	30	26	-	-	-	-	-	-	23.25	6.40	media
	Lato B	9	15	16	-	-	-	-	-	-	-	13.33	3.79	scarsa
Pannello 7	Lato A	24	26	25	26	24	28	20	22	22	20	23.70	2.67	media
	Lato B	20	20	20	4	22	24	12	-	-	-	17.43	7.00	scarsa
Pannello 8	Lato A	10	18	20	20	20	22	14	-	-	-	17.71	4.23	scarsa
	Lato B	22	14	10	14	22	18	14	-	-	-	16.29	4.54	scarsa
Pannello 9	Lato A	10	17	17	12	22	-	-	-	-	-	15.60	4.72	scarsa
	Lato B	15	15	14	12	20	12	15	16	20	-	15.44	2.92	scarsa



I risultati ottenuti e riportati in Tabella 12 mostrano, in funzione della tabella di correlazione, una qualità della malta mediamente scarsa nei diversi pannelli indagati, che può essere associata in funzione del D.M. 20 gennaio 1987 ad una malta di classe M4.

4.6. Resistenza a compressione indiretta della muratura

In relazione alle tabelle A e D del D.M. del 20 gennaio 1987 è possibile, in funzione della resistenza dei componenti, stimare la resistenza a compressione della muratura.

I dati ottenuti dalle diverse prove hanno evidenziato la presenza di una malta di scarsa qualità classificabile cautelativamente come M4. Per quanto riguarda gli elementi lapidei, si può assumere come valore medio di resistenza rappresentativo dei pannelli analizzati un valore di circa 28 N/mm². Sulla base di questi valori medi è possibile stimare una resistenza caratteristica a compressione della muratura pari a 7 N/mm². Tale valore deve essere considerato solo come un valore di riferimento.

Tabella 13 – Valutazione della resistenza a compressione della muratura (D.M. 20 gennaio 1987)

Piano	Zona	Tipologia Elementi	Elementi Res media [N/mm ²]	Malta M4	Res muratura	
					fk [N/mm ²]	fd [N/mm ²]
0	Mur A	lapidei	29.6	scarsa	7.2	2.39
0	Mur B	lapidei e mattoni	31.0	scarsa	7.2	2.40
1	Mur A	pilastro mattoni	24.8	scarsa	6.6	2.21
1	Mur A	lapidei	23.5	scarsa	6.5	2.16
1	Mur B	lapidei e mattoni	29.1	scarsa	7.1	2.37
2	Mur A	lapidei	25.3	scarsa	6.7	2.23
2	Mur B	mattoni	16.9	scarsa	5.5	1.83

4.7. Indagini soniche

Le prove soniche sono indagini non distruttive che consentono di caratterizzare e descrivere qualitativamente la muratura. Lo strumento utilizzato durante il rilievo diagnostico è una apparecchiatura BOVIAR CMS V.3.1.

Il principio dell'indagine sonica si basa su alcune relazioni che legano la velocità di propagazione delle onde elastiche in un mezzo materiale, alle proprietà elastiche del mezzo stesso. La velocità di propagazione delle onde elastiche è direttamente correlabile alle caratteristiche meccaniche e fisiche del materiale se il materiale è elastico, omogeneo ed isotropo, secondo la relazione:

$$E_d = v^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1+v)(1-2v)}{(1-v)} \quad [11]$$

dove: ρ = densità del materiale; E = modulo di Young; ν = modulo di Poisson.

Le onde elastiche (frequenza pari a 20 - 20.000 Hz), per indagini non distruttive, sono generate da un trasduttore (martello strumentato) che, nell'impatto col materiale, produce vibrazioni rilevate da un ricevitore.

La prova consiste nel sollecitare una porzione di muratura precedentemente individuata utilizzando un martello a mano, opportunamente strumentato a livello di cella di carico, che colpendo la muratura in punti prestabiliti genera delle onde elastiche che si propagano nello spessore murario. L'intensità dell'impulso generato ed il suo contenuto in frequenza, dipendono dalla durezza della punta del martello e dell'area d'impatto. La propagazione dell'onda elastica nella struttura muraria è rilevata da un accelerometro posizionato, nel caso



specifico, sulla superficie opposta di quella dove viene impartito il colpo (prova diretta o in trasparenza). Più in generale, le indagini soniche possono essere effettuate secondo tre diverse modalità per trasparenza, in superficie o per trasmissione radiale che si differenziano a seconda del posizionamento del trasmettitore e del ricevitore sulle superficie murarie (su lati opposti, sullo stesso lato e su lati adiacenti della muratura).

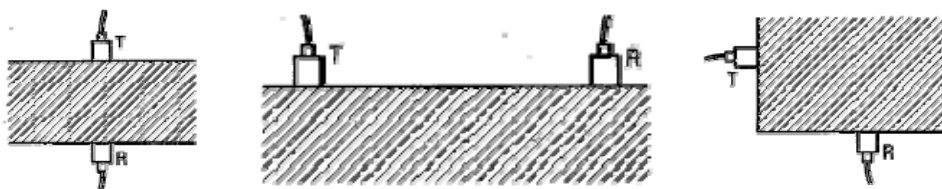


Figura 93 - Modalità di esecuzione della prova sonica

La velocità di propagazione dell'onda elastica è poi determinata dividendo lo spessore della sezione muraria per il tempo di percorrenza.

Si rileva una diminuzione della velocità di propagazione quando nel materiale sono presenti zone aventi diverso grado di aggregazione, vuoti o cavità e quando la densità del materiale è diminuita da fenomeni di degrado. La propagazione dell'onda nella muratura dipende dalla morfologia della tessitura muraria e dallo stato di conservazione.

Nel caso specifico, sono state eseguite indagini soniche in trasparenza in corrispondenza dei 12 pannelli murari precedentemente individuati.

Il metodo di trasmissione per trasparenza consiste nella scelta di punti di emissione e di ricezione dei segnali, posizionati su due lati opposti della muratura, alla stessa altezza dal piano di calpestio e in modo che la loro congiungente sia perpendicolare alle superfici.

Sulla superficie di prova, si è impostata una griglia regolare di punti di misura indicati direttamente sul materiale. Le distribuzioni di velocità sono mappate attraverso grafici di superficie, associando ad ogni velocità un colore ed interpolando linearmente i valori della maglia di prova.

I risultati ottenuti sono riportati nelle schede riassuntive riportate di seguito.

I valori di modulo elastico riportati per ciascun pannello sono stati ottenuti considerando un valore costante del coefficiente di Poisson $\nu = 0.25$ e di densità $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ per tutti i pannelli con elementi lapidei. Per i due pannelli interamente in mattoni è stato considerato un valori di densità pari a $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$.

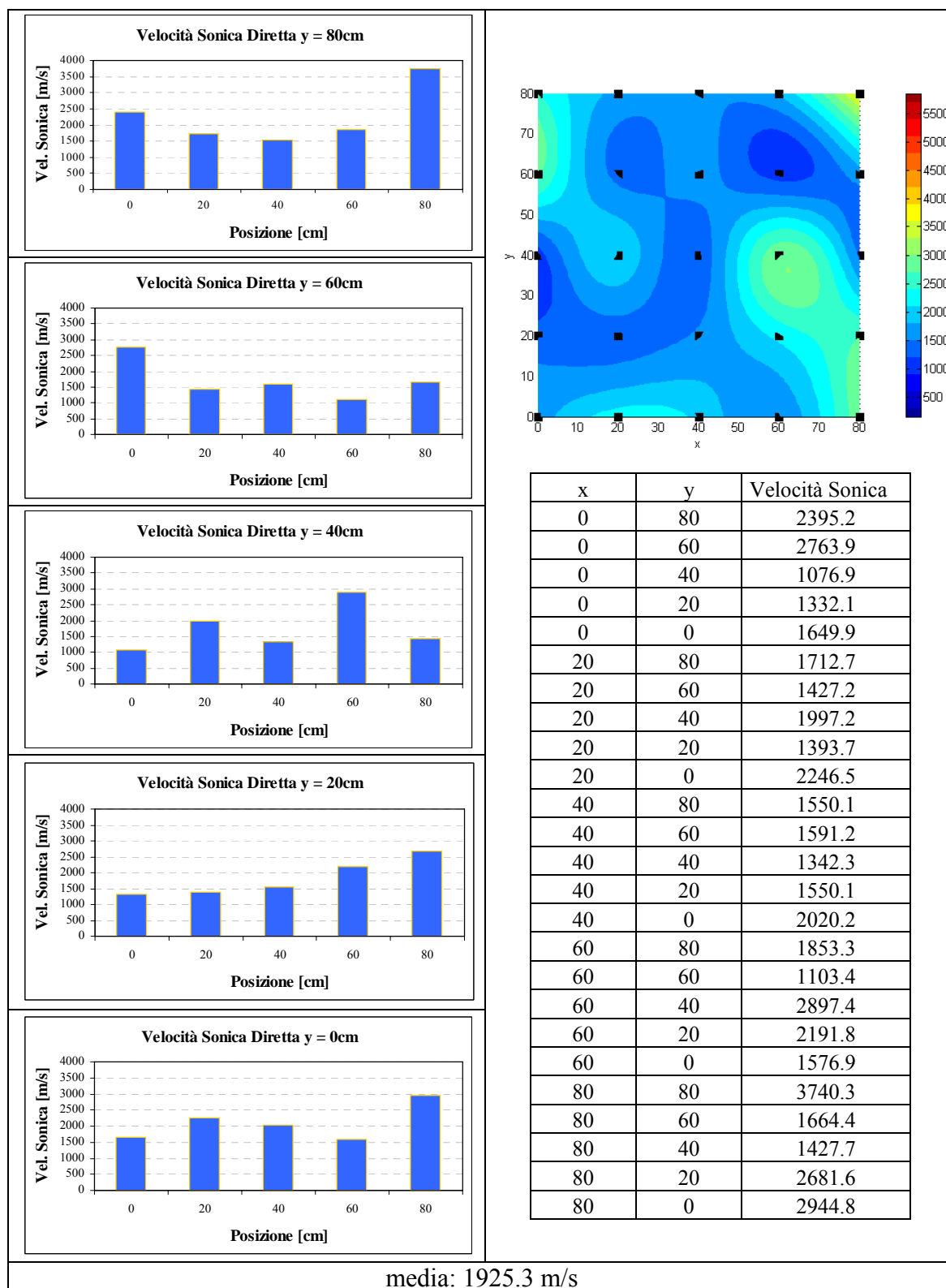


Figura 94 – Prove soniche dirette Pannello 1

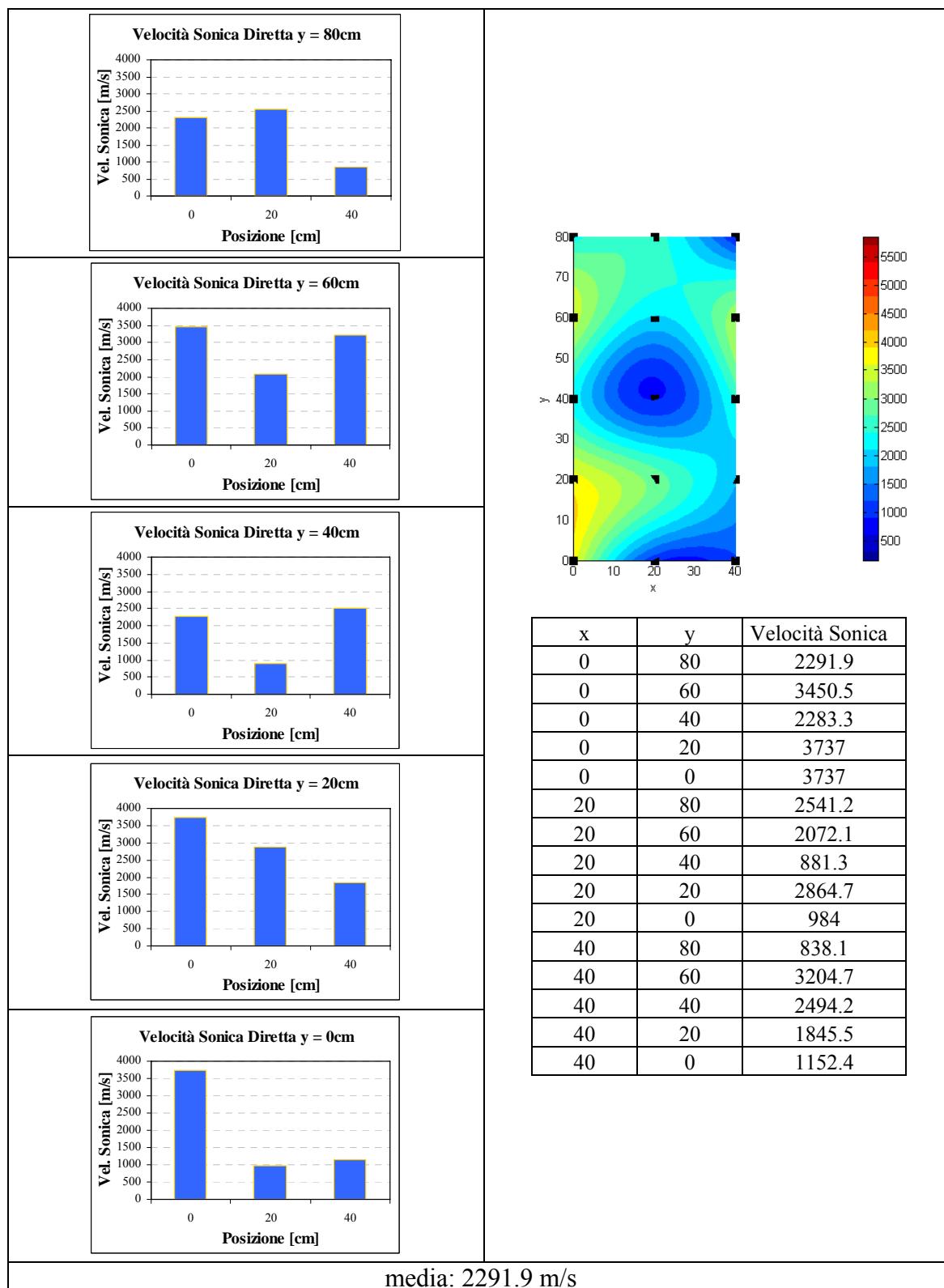


Figura 95 – Prove soniche dirette Pannello 2

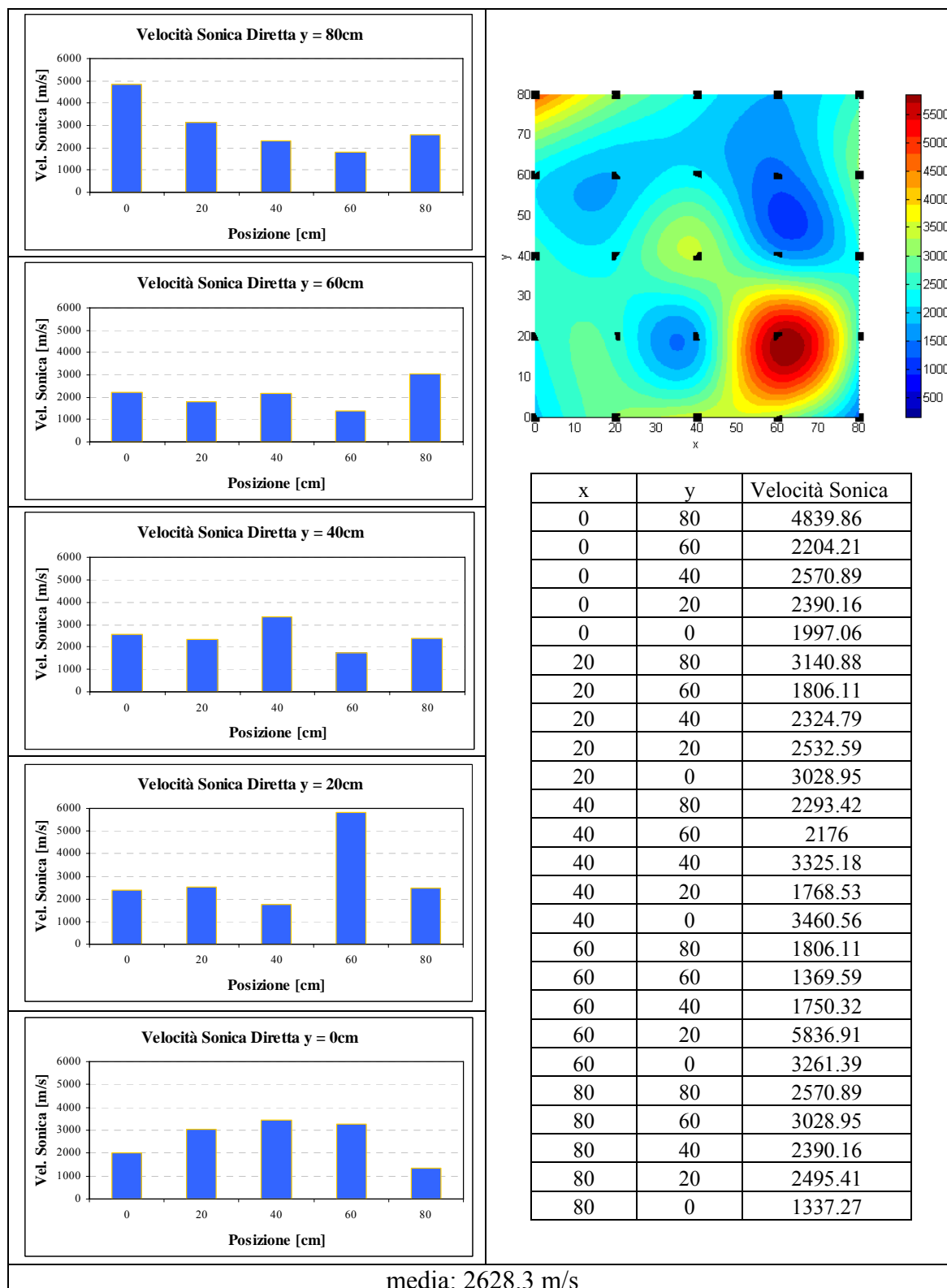


Figura 96 – Prove soniche dirette Pannello 3

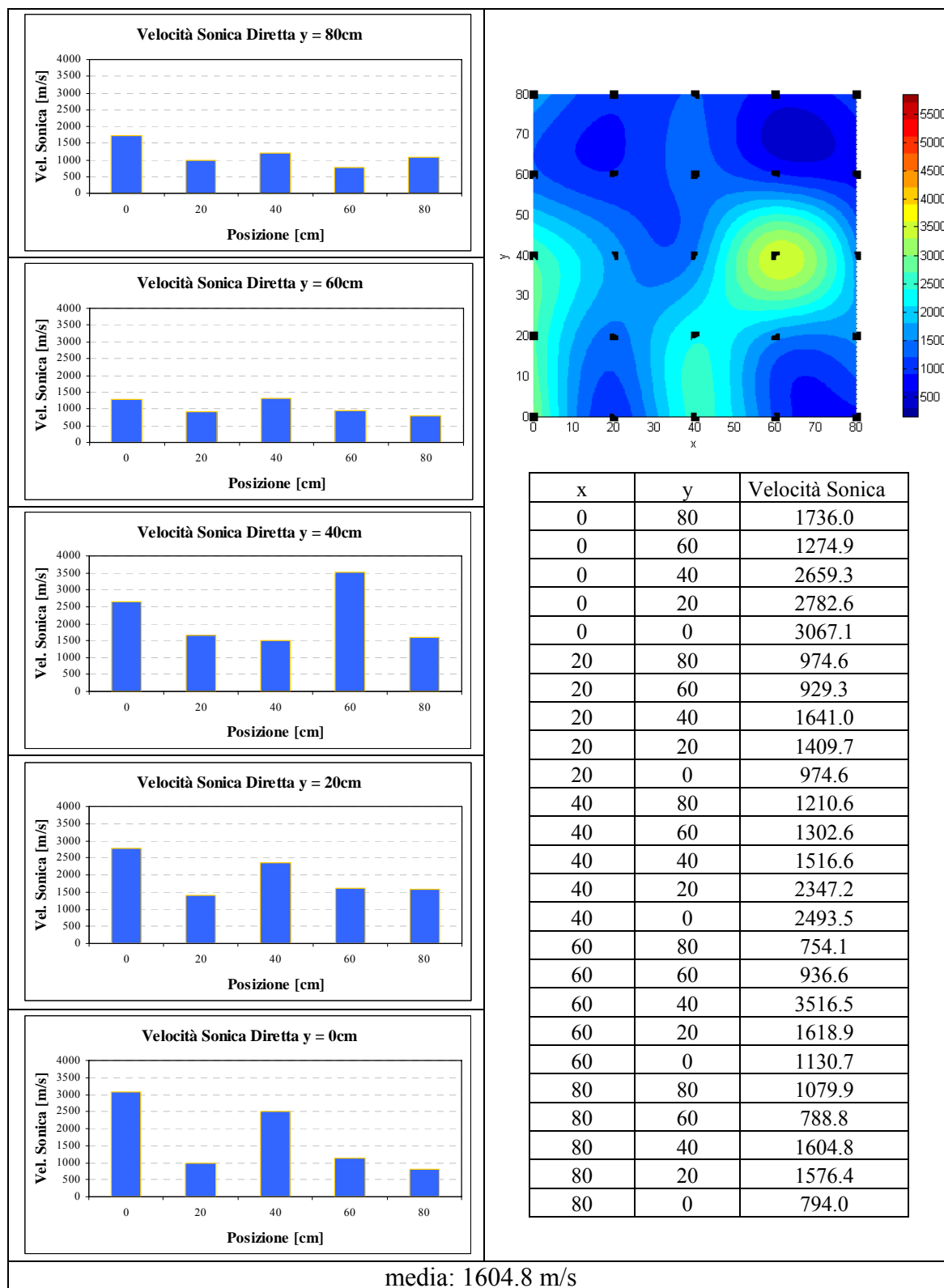


Figura 97 – Prove soniche dirette Pannello 4

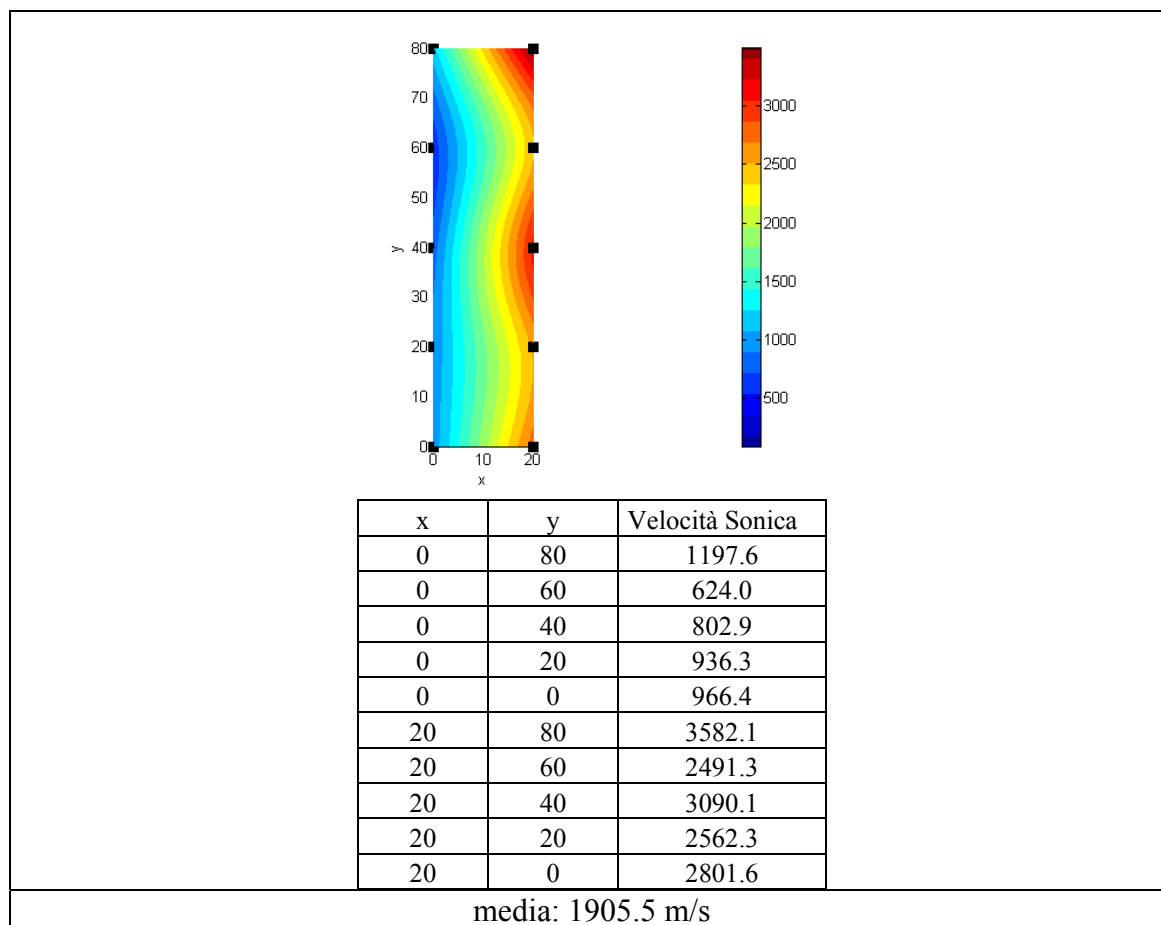


Figura 98 – Prove soniche dirette Pannello 5

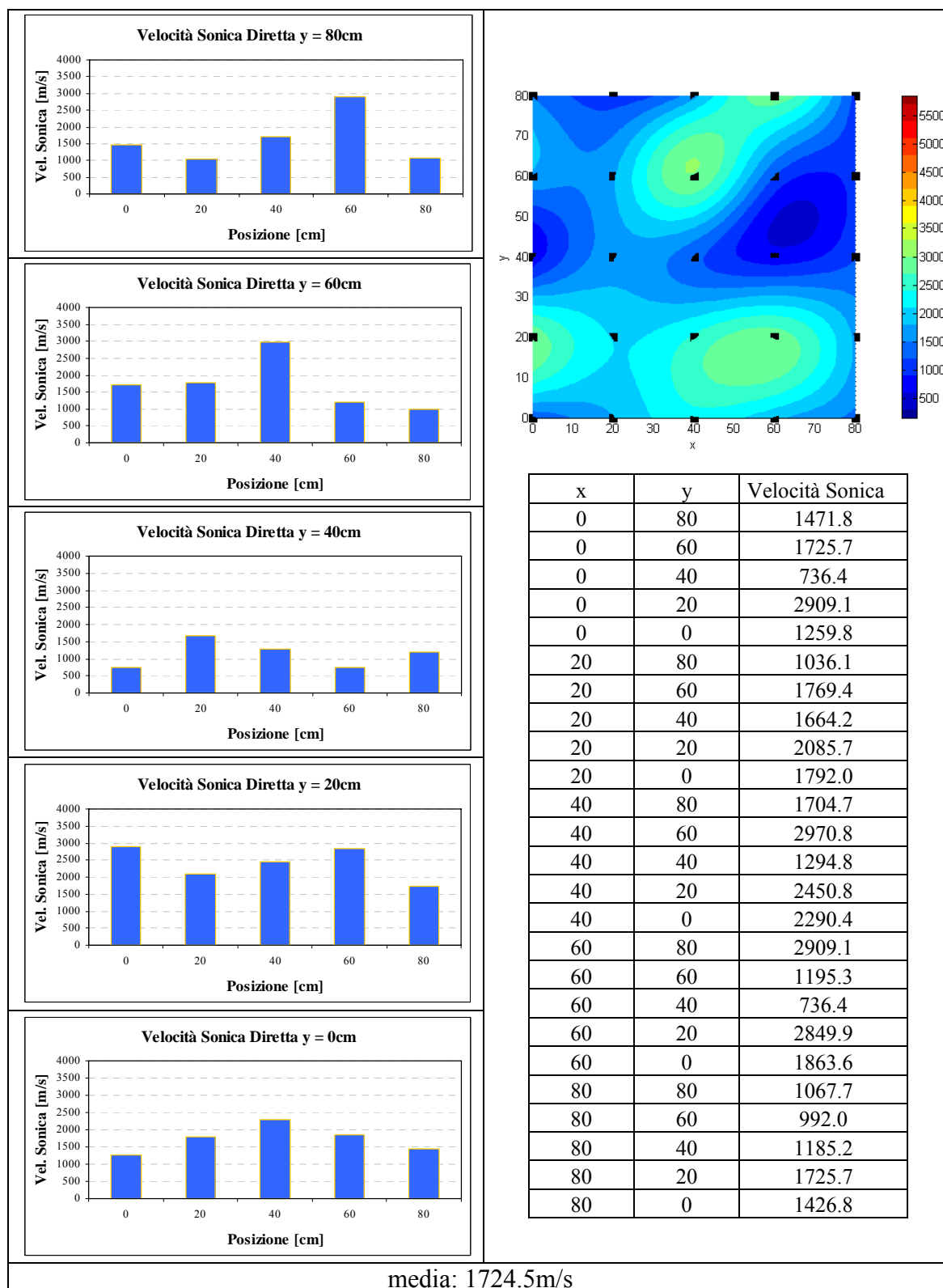


Figura 99 – Prove soniche dirette Pannello 6

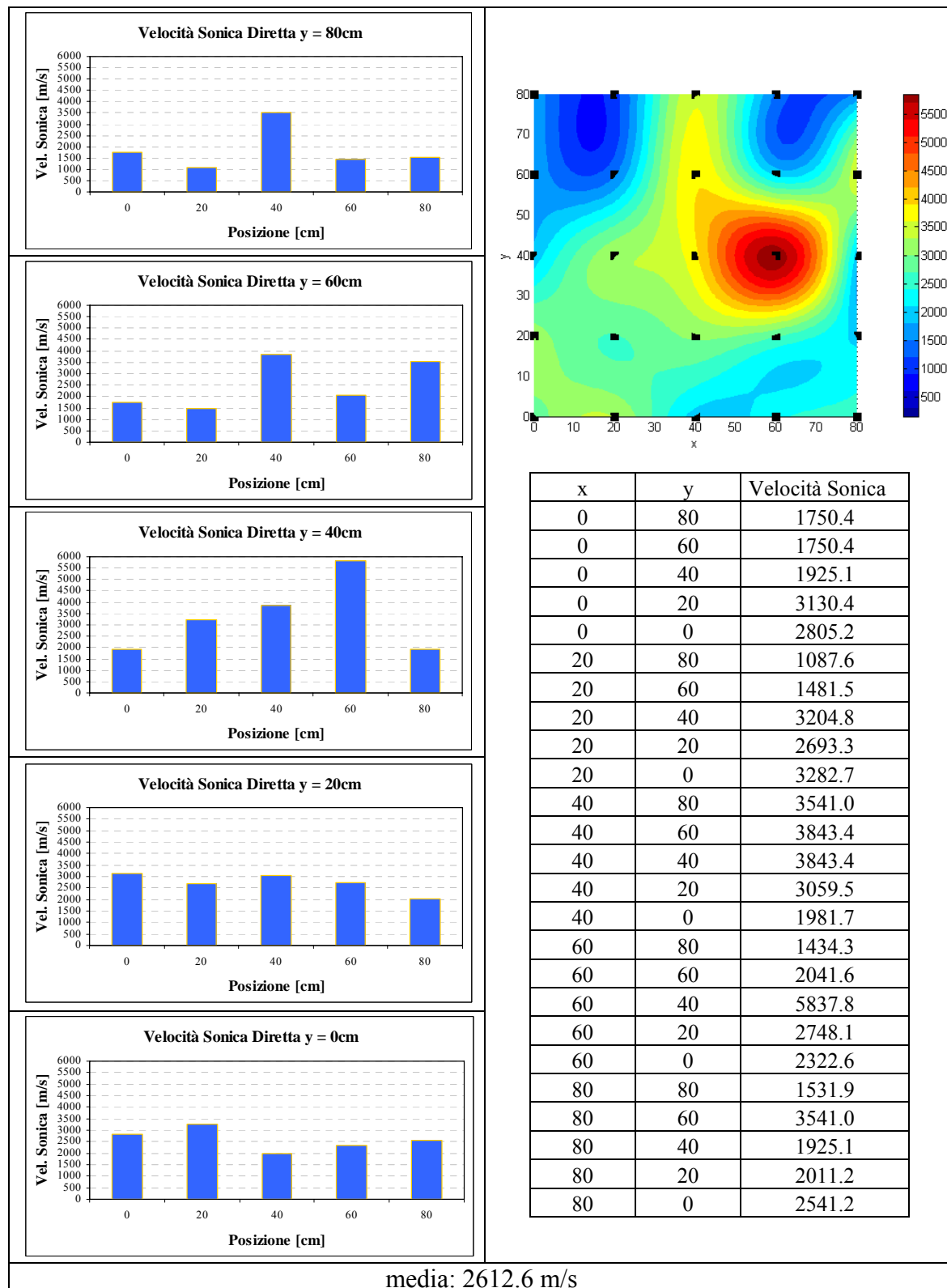


Figura 100 – Prove soniche dirette Pannello 7

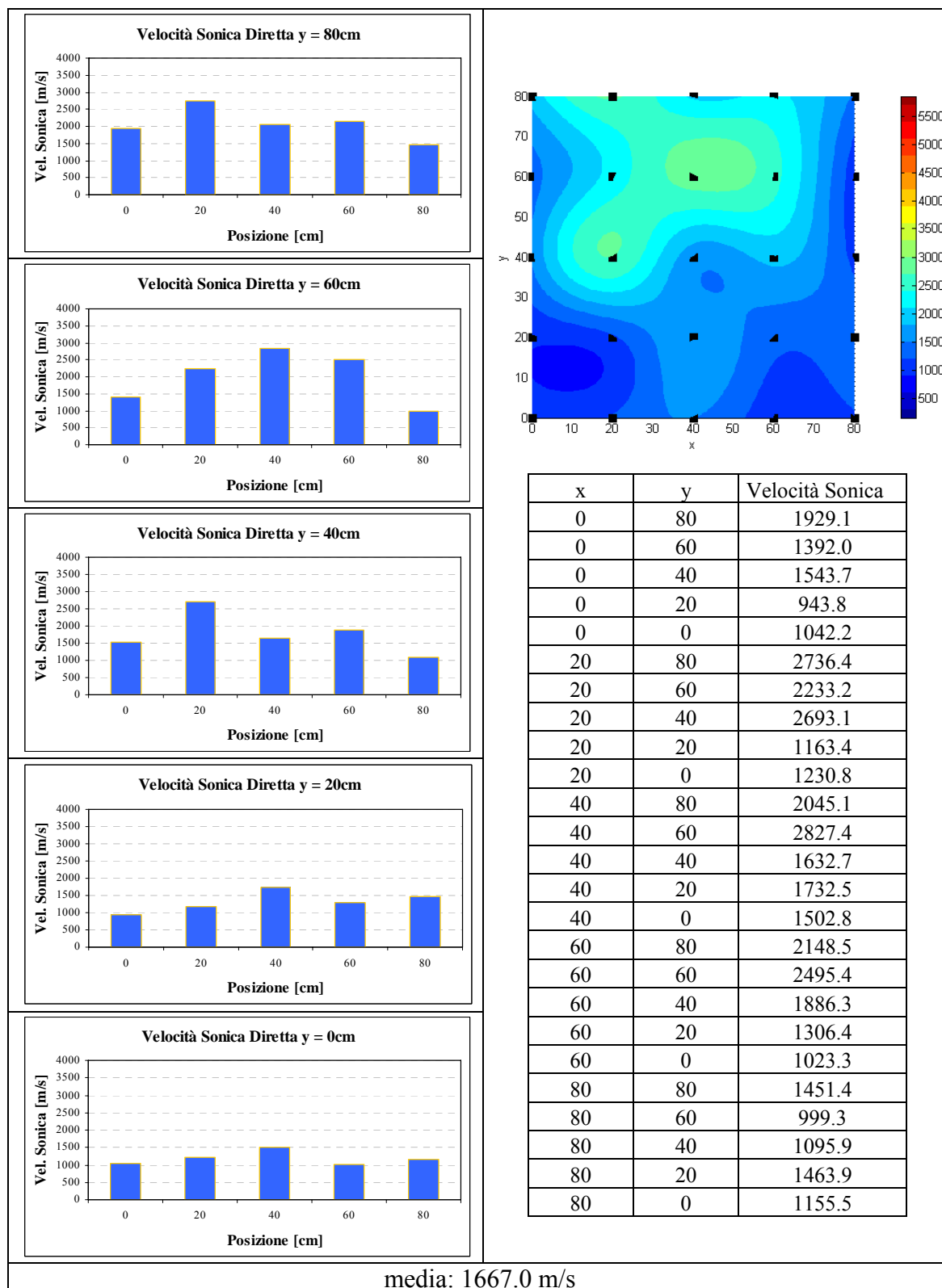


Figura 101 – Prove soniche dirette Pannello 8

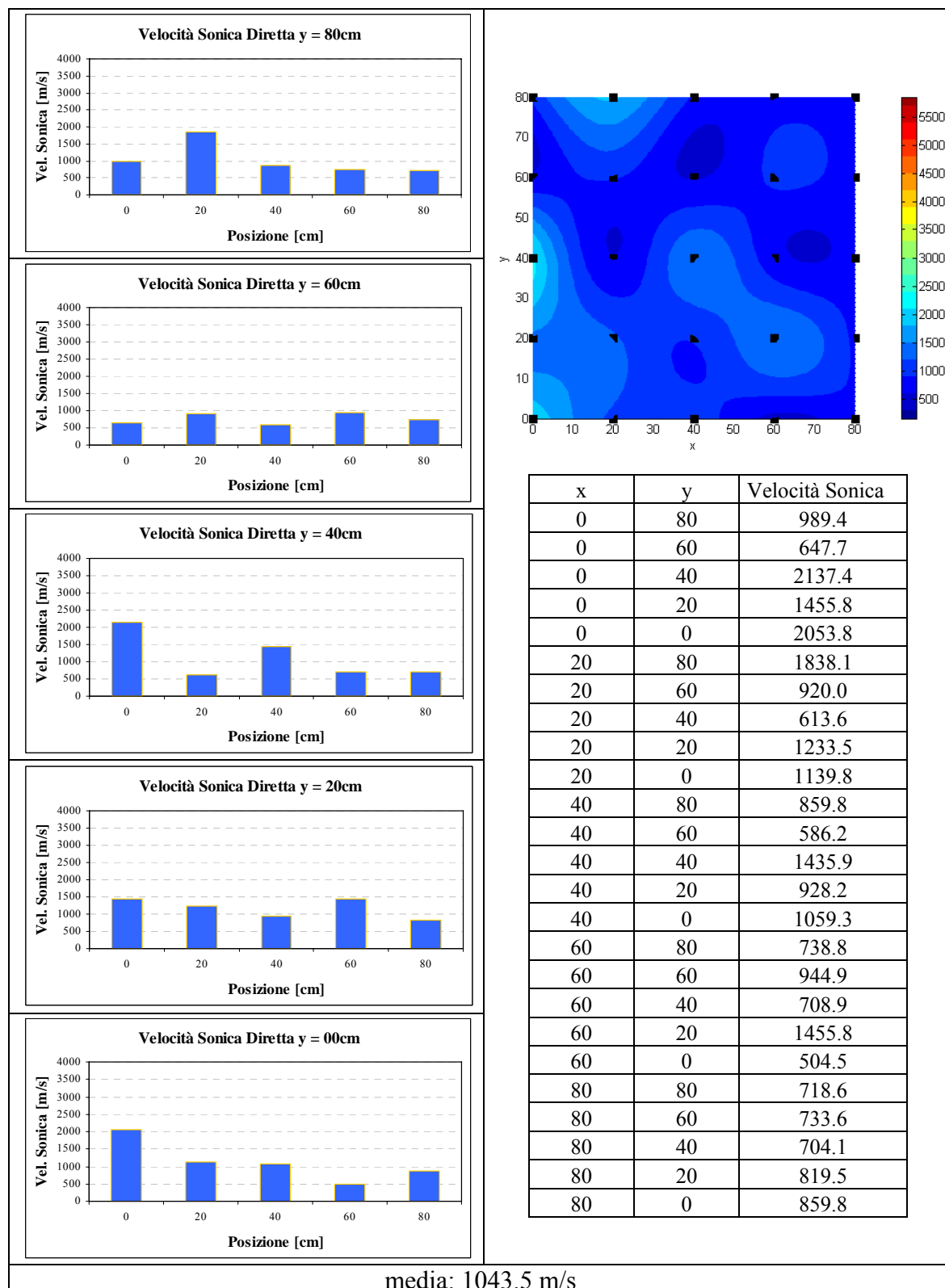


Figura 102 – Prove soniche dirette Pannello 9

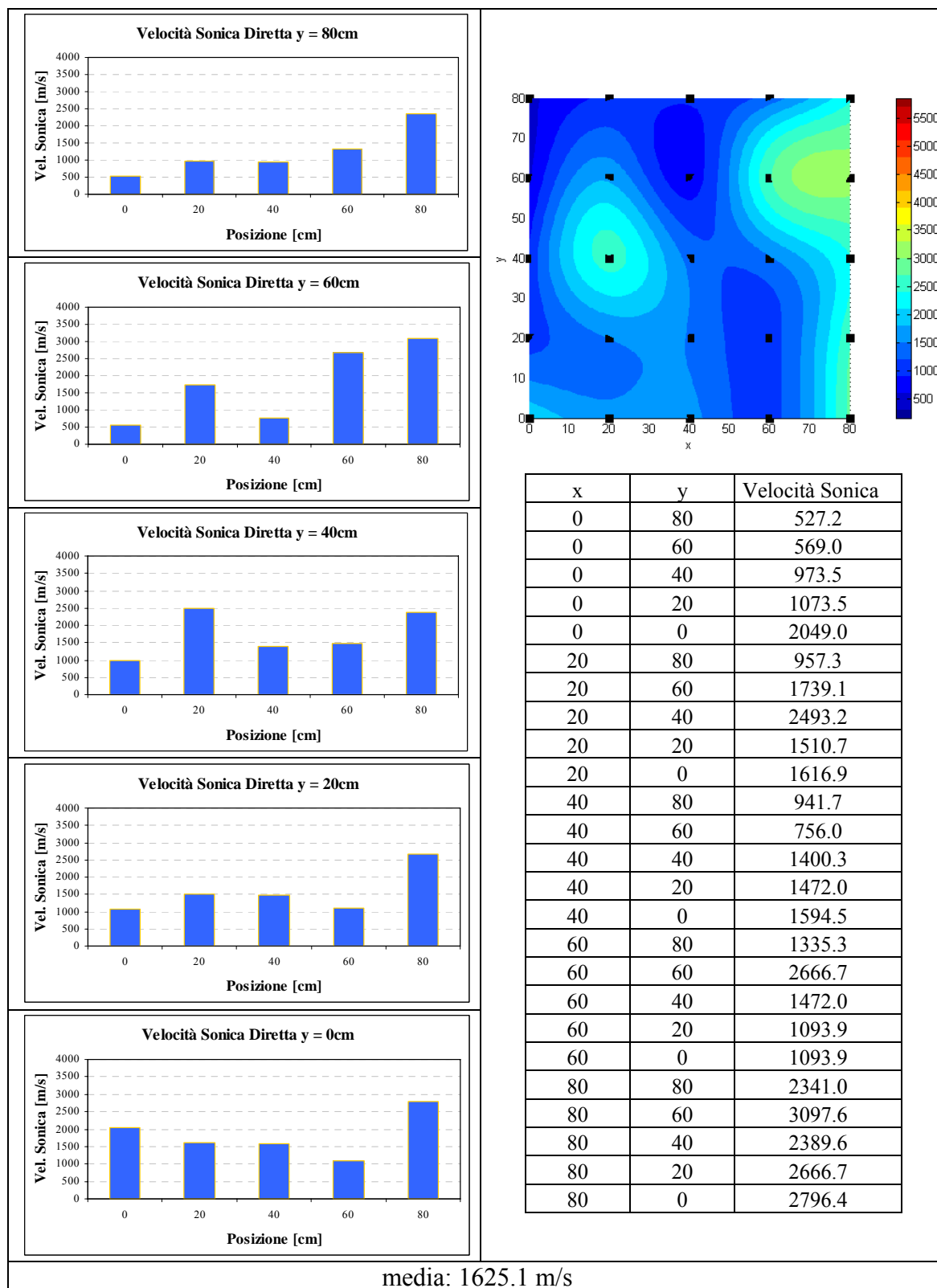


Figura 103 – Prove soniche dirette Pannello 11

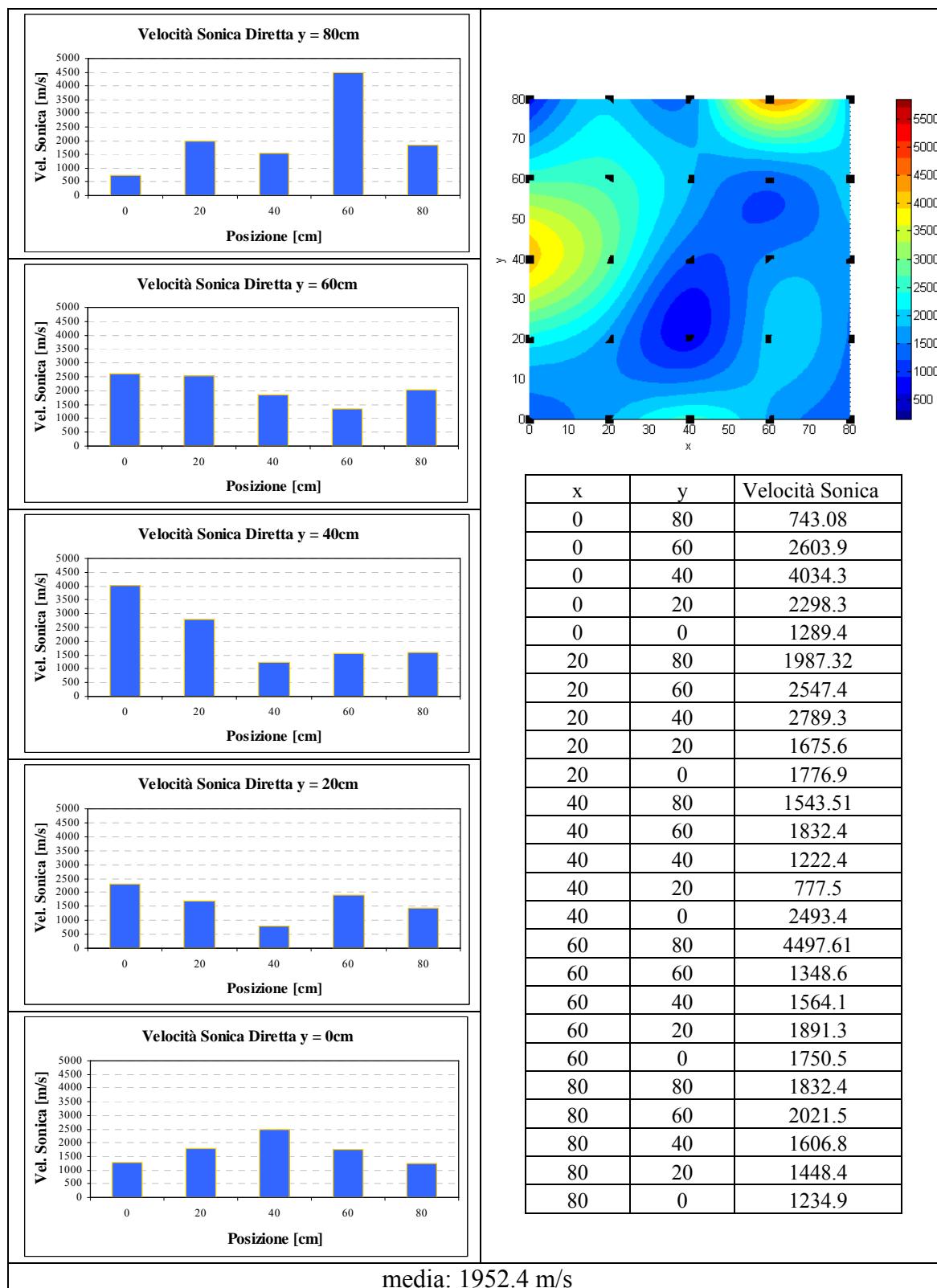


Figura 104 – Prove soniche dirette Pannello 12

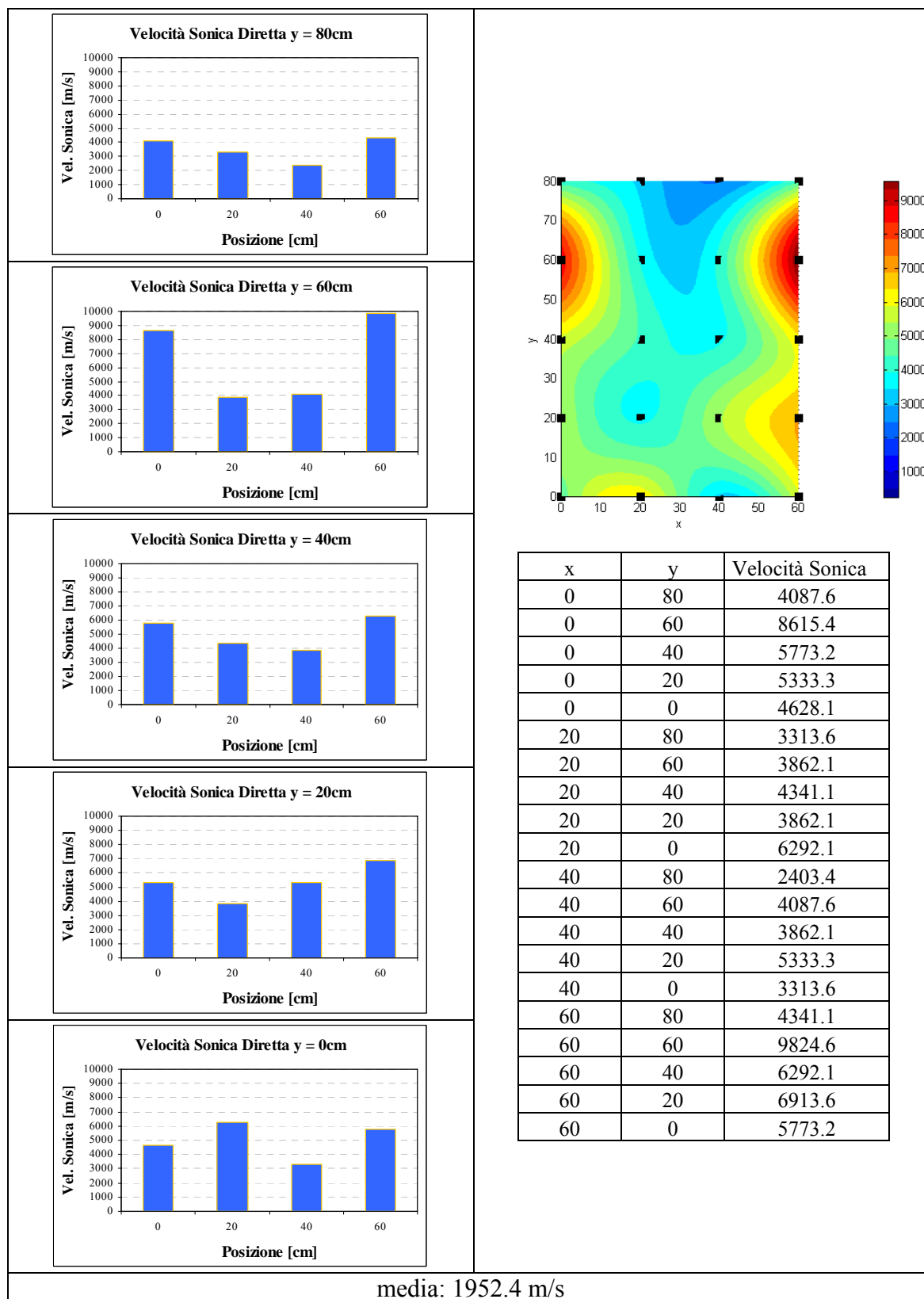


Figura 105 – Prove soniche dirette Pannello 13



4.8. Prova con martinetti piatti (*S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno*)

La prova con doppio martinetto piatto viene eseguita facendo riferimento alle normative :

- ASTM C1197-91 - Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using flatjack method;
- RILEM Lum 90/2 LumD3 - In situ strength and elasticity tests based on the flatjack.

Per lo svolgimento della prova vengono eseguiti nella muratura due tagli paralleli ad una distanza di circa 50 cm, mediante apposita sega tagliamuri con corona diamantata, in modo che una porzione omogenea di muratura risulti compresa tra i due tagli.

In entrambi i tagli viene inserito un martinetto; entrambi sono collegati alla medesima pompa a mano dotata di manometro di precisione e trasduttore di pressione collegato ad una centralina di acquisizione che a sua volta è collegata ad un computer dotato di apposito software di gestione.

Sulla porzione muraria compresa tra i 2 martinetti vengono quindi posti dei sensori elettronici (n°3 in posizione verticale e n° 1 in posizione orizzontale) anch'essi collegati alla centralina e quindi al pc, in modo da acquisire in continuo le sollecitazioni applicate e le relative deformazioni indotte nella muratura sia in direzione orizzontale che verticale. Il carico è applicato ad incrementi di 1 bar in vari cicli di carico/scarico. Dai dati acquisiti si ricavano i grafici tensioni-deformazioni in cui è diagrammata la deformazione letta dal sensore orizzontale e la deformazione verticale ottenuta dalla media dei 3 sensori.

Dall'analisi di tali grafici si ricavano il valore del modulo elastico E ed il coefficiente di Poisson della muratura.

Nel caso specifico sono state eseguite prove con martinetti piatti in corrispondenza di due pannelli murari (P2 e P4) al piano terra dell'edificio (Figura 11).



Figura 106 – Punti di indagine prova con martinetti piatti – Piano terra

Prova M1

E' stata eseguita su una muratura portante interna in pietra a corsi parzialmente regolari (Punto d'indagine 2).

Sono stati posizionati n°3 sensori in direzione verticale e uno (il n°4) in direzione orizzontale come evidenziato nella foto sottostante.



Figura 107 – Prova con martinetti piatti M1 (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

Durante la prova sono stati applicati tre cicli di carico, il primo a 10 bar ($8,6 \text{ daN/cm}^2$), il secondo a 20 bar ($17,2 \text{ daN/cm}^2$) e il terzo a 29 bar ($24,94 \text{ daN/cm}^2$) durante il quale si sono rilevate delle fessurazioni su alcuni elementi del paramento murario. Per tale motivo il carico applicato non è stato ulteriormente incrementato.

L'eccessiva deformazione della muratura ha causata la perdita del sensore n° 1 durante la prova.

Dall'analisi dei dati e del grafico carico/deformazione ottenuto si è ricavato un valore del modulo elastico E pari a 13266 daN/cm^2 e del coefficiente di Poisson pari a $0,112$.

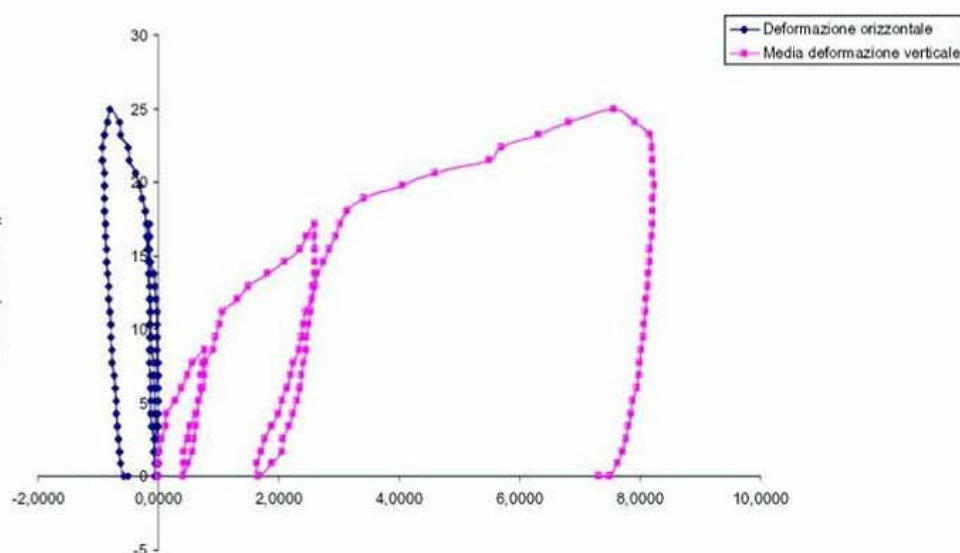


Figura 108 – Grafico carico/deformazione prova M1



Figura 109 – Prova M1 strumentazione utilizzata



Figura 110 – Prova M1, fessurazioni originatesi durante la prova

Prova M2

E' stata eseguita su una muratura portante interna in pietra e mattoni, con presenza di filari regolari di mattoni (Punto d'indagine 4).

Sono stati posizionati n°3 sensori in direzione verticale e uno (il n°4) in direzione orizzontale come evidenziato nella foto sottostante.



Figura 111 – Prova con martinetti piatti M2 (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

Durante la prova sono stati applicati tre cicli di carico, il primo a 10 bar ($8,6 \text{ daN/cm}^2$), il secondo a 11 bar ($9,46 \text{ daN/cm}^2$) e il terzo a 15 bar ($12,9 \text{ daN/cm}^2$); a tale valore sono state rilevate su alcuni elementi del paramento murario delle fessurazioni e si è riscontrato un notevole rigonfiamento dello stesso per cui si è ritenuto opportuno non incrementare ulteriormente il carico applicato.

Dall'analisi dei dati e del grafico carico/deformazione ottenuto si è ricavato un valore del modulo elastico E pari a 9267 daN/cm^2 e del coefficiente di Poisson pari a 0,646.

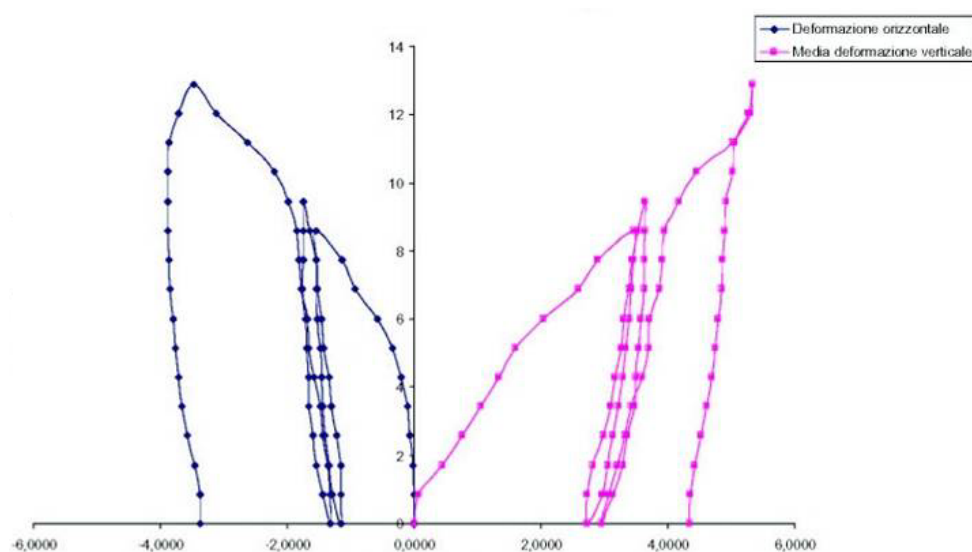


Figura 112 – Grafico carico/deformazione prova M2



Figura 113 – Prova M2, disassamento dei sensori a causa del rigonfiamento della muratura



Figura 114 – Prova M2, fessurazioni originatesi durante la prova



5. Video-endoscopie (S.T.D. Arch. Gerolamo Stagno)

Al fine di verificare la tipologia degli orizzontamenti di piano sono state eseguite indagini videoendoscopiche con una telecamera per videoispezioni di condotti e cavità modello RI 23 26 collegata ad un visore e acquirettore immagini digitale modello AV320 della Archos.

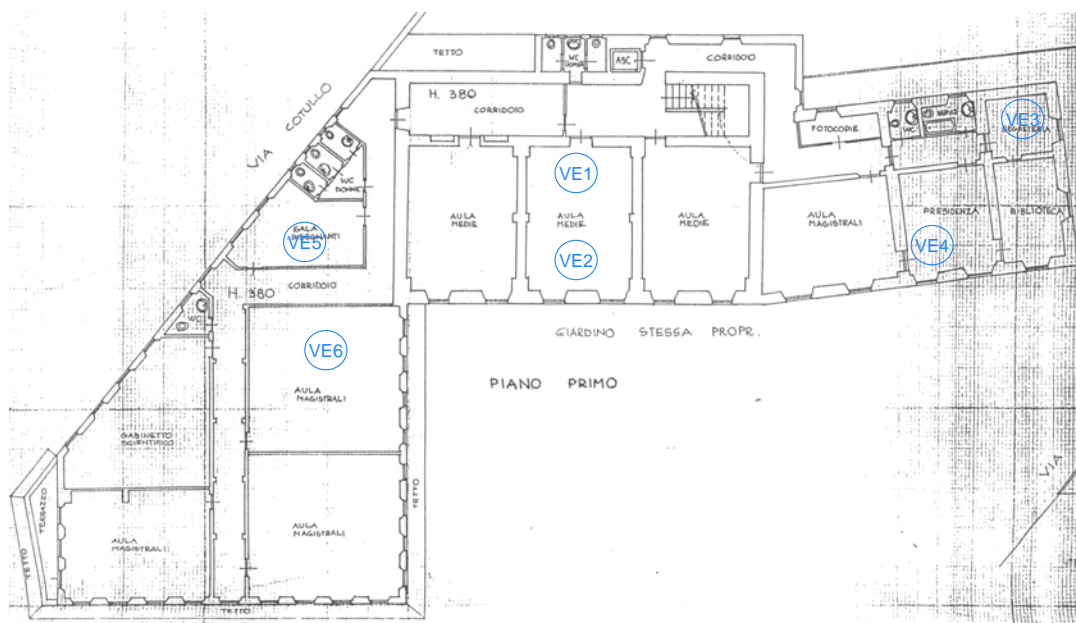


Figura 115 – Punti di indagine video-endoscopie – Piano primo

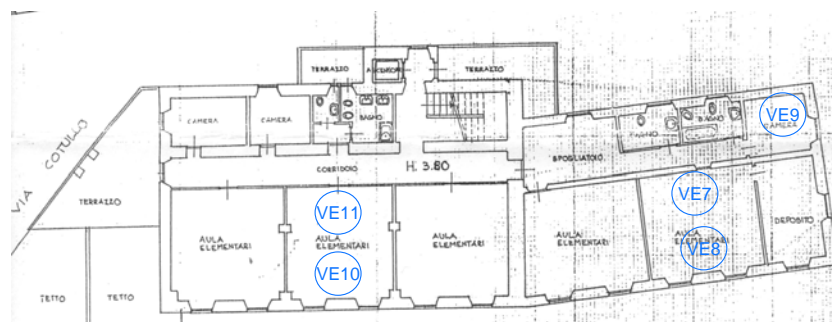


Figura 116 – Punti di indagine video-endoscopie – Piano secondo



Figura 117 – Punti di indagine video-endoscopie – Piano terzo



Figura 118 –Video-endoscopia

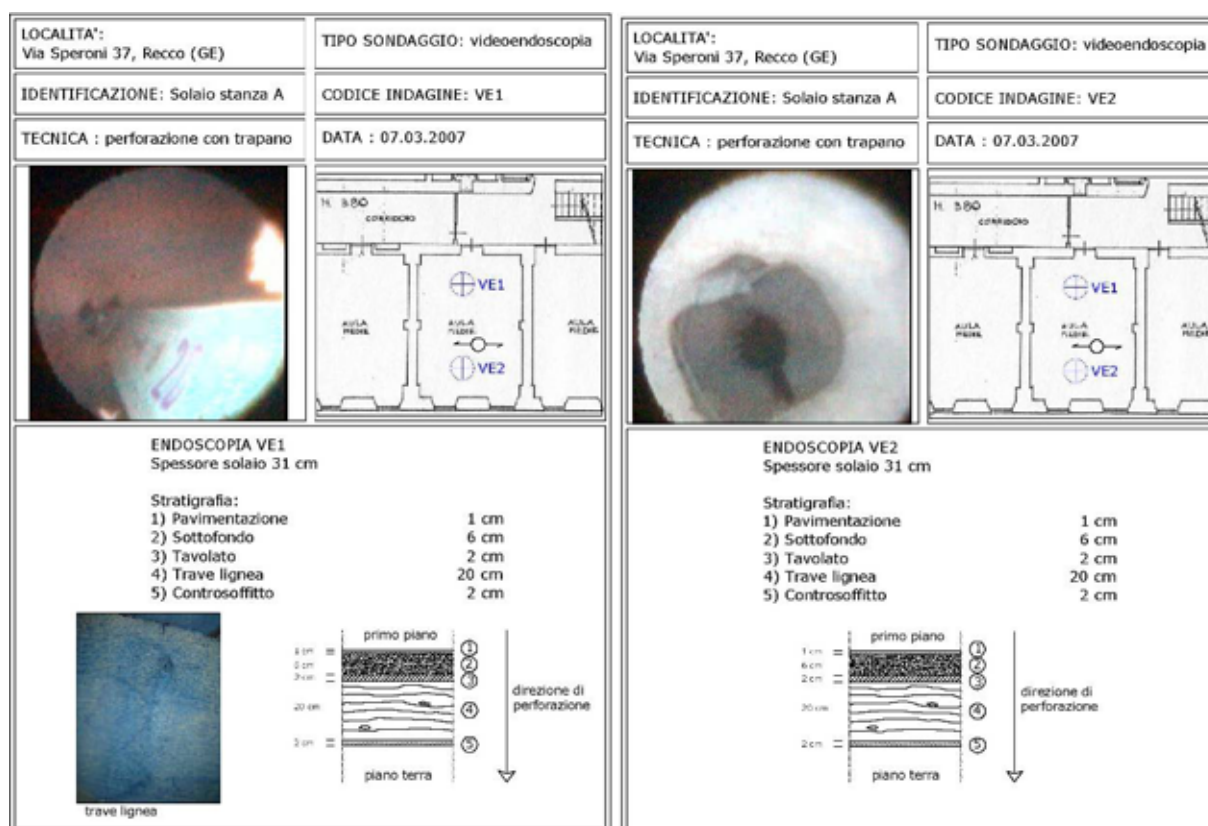


Figura 119 –Video-endoscopia

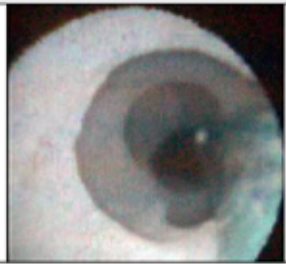

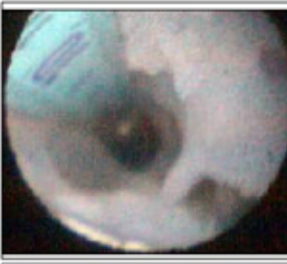

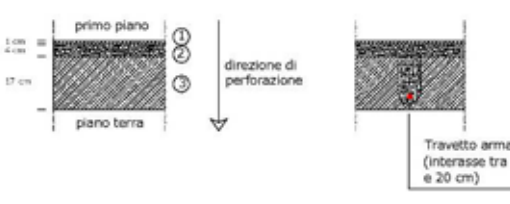
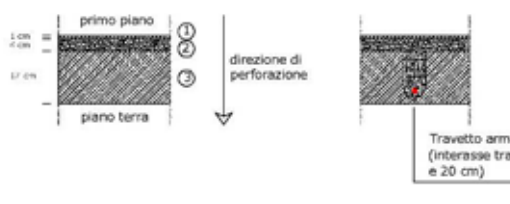
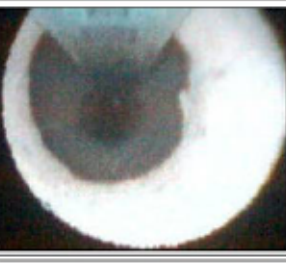
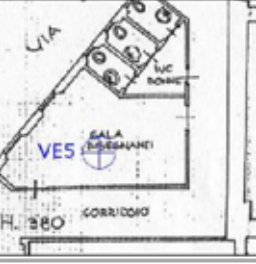

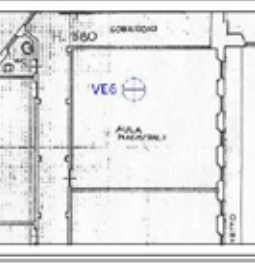
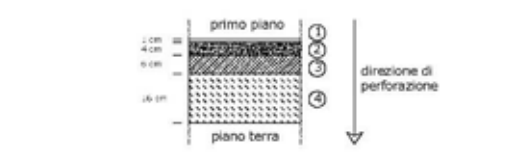
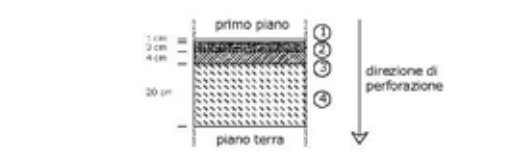
La tecnica utilizzata è la seguente:

- esecuzione di un foro di diametro pari a 25-30 mm con trapano a rotazione a basso numero di giri;
- pulizia del foro a mezzo di compressore ad aria;
- introduzione della sonda e ricostruzione della stratigrafia rilevando gli spessori riconoscibili;
- documentazione fotografica delle procedure eseguite.

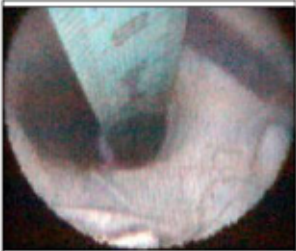
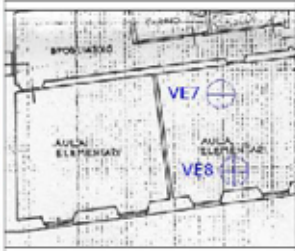

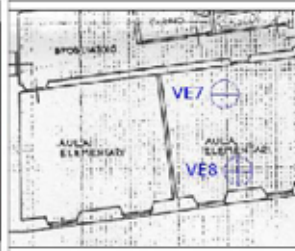
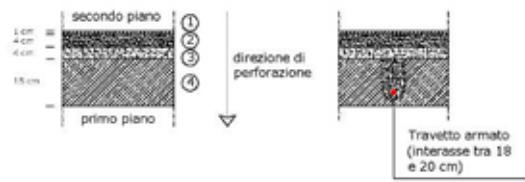

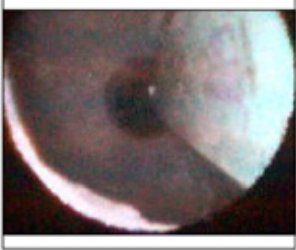
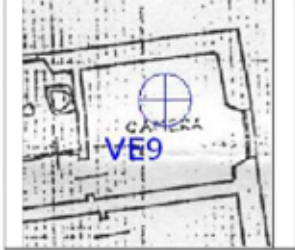
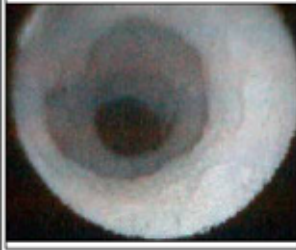
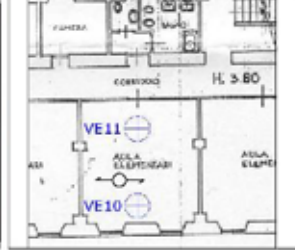

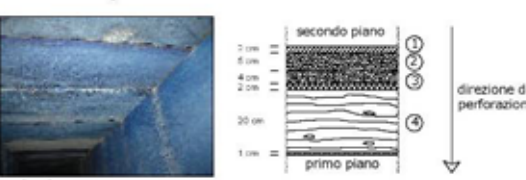
Il risultati ottenuti sono specificati nelle schede riportate di seguito.



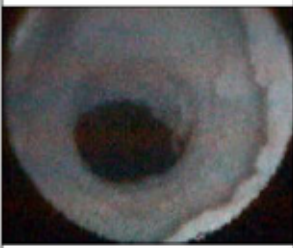
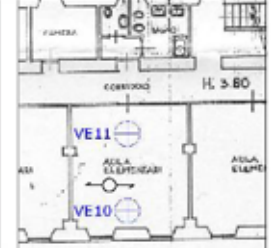
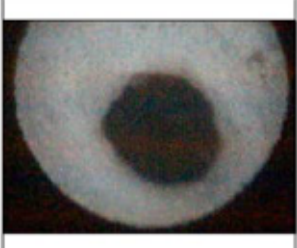

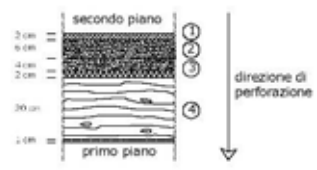
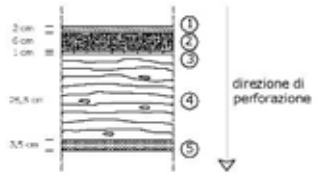





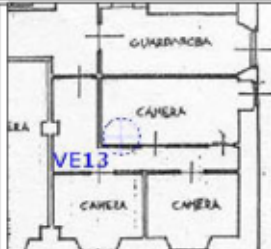

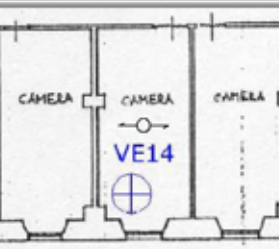
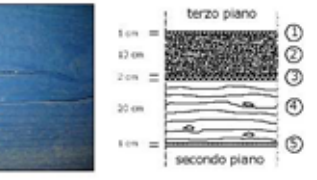

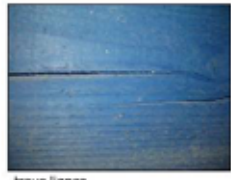
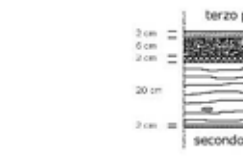
LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia
IDENTIFICAZIONE: Solai stanza C	CODICE INDAGINE: VE3	IDENTIFICAZIONE: Solai stanza D	CODICE INDAGINE: VE4
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007
			
ENDOSCOPIA VE3 Spessore solaio 22 cm Stratigrafia: 1) Pavimentazione 1 cm 2) Sottofondo 4 cm 3) Pignatte 17 cm 		ENDOSCOPIA VE4 Spessore solaio 22 cm Stratigrafia: 1) Pavimentazione 1 cm 2) Sottofondo 4 cm 3) Pignatte 17 cm 	
LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia
IDENTIFICAZIONE: Solai stanza E	CODICE INDAGINE: VE5	IDENTIFICAZIONE: Solai stanza F	CODICE INDAGINE: VE6
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007
			
ENDOSCOPIA VE5 Spessore solaio 27 cm Stratigrafia: 1) Pavimentazione 1 cm 2) Sottofondo 4 cm 3) Calcestruzzo 6 cm 4) Solaio in tavelloni con travetti armati posti ad interasse di 37-38 cm 16 cm 		ENDOSCOPIA VE6 Spessore solaio 28 cm Stratigrafia: 1) Pavimentazione 1 cm 2) Sottofondo 3 cm 3) Calcestruzzo 4 cm 4) Solaio in tavelloni con travetti armati posti ad interasse di 37-38 cm 20 cm 	



LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia																		
IDENTIFICAZIONE: Solaio stanza G	CODICE INDAGINE: VE7	IDENTIFICAZIONE: Solaio stanza G	CODICE INDAGINE: VE8																		
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007																		
																					
<p>ENDOSCOPIA VE7 Spessore solaio 24 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>1 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>3) Calcestruzzo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>4) Solaio (pignatte)</td><td>15 cm</td></tr></table>  <p>Travetto armato (interasse tra 18 e 20 cm)</p>		1) Pavimentazione	1 cm	2) Sottofondo	4 cm	3) Calcestruzzo	4 cm	4) Solaio (pignatte)	15 cm	<p>ENDOSCOPIA VE8 Spessore solaio 24 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>1 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>3) Calcestruzzo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>4) Solaio (pignatte)</td><td>15 cm</td></tr></table>  <p>Travetto armato (interasse tra 18 e 20 cm)</p>		1) Pavimentazione	1 cm	2) Sottofondo	4 cm	3) Calcestruzzo	4 cm	4) Solaio (pignatte)	15 cm		
1) Pavimentazione	1 cm																				
2) Sottofondo	4 cm																				
3) Calcestruzzo	4 cm																				
4) Solaio (pignatte)	15 cm																				
1) Pavimentazione	1 cm																				
2) Sottofondo	4 cm																				
3) Calcestruzzo	4 cm																				
4) Solaio (pignatte)	15 cm																				
LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia																		
IDENTIFICAZIONE: Solaio stanza H	CODICE INDAGINE: VE9	IDENTIFICAZIONE: Solaio stanza I	CODICE INDAGINE: VE10																		
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007																		
																					
<p>ENDOSCOPIA VE9 Spessore solaio 20 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>1 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>3) Solaio (pignatte)</td><td>15 cm</td></tr></table>  <p>Travetto armato (interasse tra 18 e 20 cm)</p>		1) Pavimentazione	1 cm	2) Sottofondo	4 cm	3) Solaio (pignatte)	15 cm	<p>ENDOSCOPIA VE10 Spessore solaio 35 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>6 cm</td></tr><tr><td>3) Calcestruzzo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>4) Tavolato</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>5) Trave lignea</td><td>20 cm</td></tr><tr><td>6) Controsoffitto</td><td>1 cm</td></tr></table>  <p>solaio ligneo</p>		1) Pavimentazione	2 cm	2) Sottofondo	6 cm	3) Calcestruzzo	4 cm	4) Tavolato	2 cm	5) Trave lignea	20 cm	6) Controsoffitto	1 cm
1) Pavimentazione	1 cm																				
2) Sottofondo	4 cm																				
3) Solaio (pignatte)	15 cm																				
1) Pavimentazione	2 cm																				
2) Sottofondo	6 cm																				
3) Calcestruzzo	4 cm																				
4) Tavolato	2 cm																				
5) Trave lignea	20 cm																				
6) Controsoffitto	1 cm																				



LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia																						
IDENTIFICAZIONE: Solai stanza I	CODICE INDAGINE: VE11	IDENTIFICAZIONE: Solai vano scala	CODICE INDAGINE: VE12																						
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 13.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 21.03.2007																						
																									
ENDOSCOPIA VE11 Spessore solaio 35 cm Stratigrafia: <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>6 cm</td></tr><tr><td>3) Calcestruzzo</td><td>4 cm</td></tr><tr><td>4) Tavolato</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>5) Trave lignea</td><td>20 cm</td></tr><tr><td>6) Controsoffitto</td><td>1 cm</td></tr></table> 		1) Pavimentazione	2 cm	2) Sottofondo	6 cm	3) Calcestruzzo	4 cm	4) Tavolato	2 cm	5) Trave lignea	20 cm	6) Controsoffitto	1 cm	ENDOSCOPIA VE12 Spessore solaio 40 cm Stratigrafia: <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>6 cm</td></tr><tr><td>3) Tavolato</td><td>1 cm</td></tr><tr><td>4) Trave lignea</td><td>26,5 cm</td></tr><tr><td>5) Soffitto in canniccio</td><td>3,5 cm</td></tr></table> 		1) Pavimentazione	2 cm	2) Sottofondo	6 cm	3) Tavolato	1 cm	4) Trave lignea	26,5 cm	5) Soffitto in canniccio	3,5 cm
1) Pavimentazione	2 cm																								
2) Sottofondo	6 cm																								
3) Calcestruzzo	4 cm																								
4) Tavolato	2 cm																								
5) Trave lignea	20 cm																								
6) Controsoffitto	1 cm																								
1) Pavimentazione	2 cm																								
2) Sottofondo	6 cm																								
3) Tavolato	1 cm																								
4) Trave lignea	26,5 cm																								
5) Soffitto in canniccio	3,5 cm																								
 trave lignea fessurata		 trave lignea fessurata																							

LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia	LOCALITA': Via Speroni 37, Recco (GE)	TIPO SONDAGGIO: videoendoscopia																				
IDENTIFICAZIONE: Solai stanza N	CODICE INDAGINE: VE13	IDENTIFICAZIONE: Solai stanza O	CODICE INDAGINE: VE14																				
TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 21.03.2007	TECNICA : perforazione con trapano	DATA : 21.03.2007																				
																							
ENDOSCOPIA VE13 Spessore solaio 37 cm Stratigrafia: <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>1 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>13 cm</td></tr><tr><td>3) Tavolato</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>4) Trave lignea</td><td>20 cm</td></tr><tr><td>5) Controsoffitto</td><td>1 cm</td></tr></table> 		1) Pavimentazione	1 cm	2) Sottofondo	13 cm	3) Tavolato	2 cm	4) Trave lignea	20 cm	5) Controsoffitto	1 cm	ENDOSCOPIA VE14 Spessore solaio 32 cm Stratigrafia: <table><tr><td>1) Pavimentazione</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>2) Sottofondo</td><td>6 cm</td></tr><tr><td>3) Tavolato</td><td>2 cm</td></tr><tr><td>4) Trave lignea</td><td>20 cm</td></tr><tr><td>5) Controsoffitto</td><td>2 cm</td></tr></table> 		1) Pavimentazione	2 cm	2) Sottofondo	6 cm	3) Tavolato	2 cm	4) Trave lignea	20 cm	5) Controsoffitto	2 cm
1) Pavimentazione	1 cm																						
2) Sottofondo	13 cm																						
3) Tavolato	2 cm																						
4) Trave lignea	20 cm																						
5) Controsoffitto	1 cm																						
1) Pavimentazione	2 cm																						
2) Sottofondo	6 cm																						
3) Tavolato	2 cm																						
4) Trave lignea	20 cm																						
5) Controsoffitto	2 cm																						
 trave lignea		 trave lignea																					



6. Conclusioni

Le indagini effettuate in situ hanno innanzitutto permesso di evidenziare come la struttura abbia subito notevoli trasformazioni ed ampliamenti. La porzione originaria dell'edificio è, infatti, con buona probabilità riconducibile al solo nucleo centrale in muratura.

Il rilievo conoscitivo e le indagini diagnostiche hanno inoltre consentito di identificare la tipologia della struttura portante e di definire le caratteristiche meccaniche dei materiali in sito per entrambe le porzioni strutturali: muratura e cemento armato.

In particolare il rilievo conoscitivo è stato fondamentale per la localizzazione degli elementi in calcestruzzo armato altrimenti in gran parte non riconoscibili da un semplice esame visivo.

Per quanto riguarda la muratura, le indagini diagnostiche, hanno consentito di identificare la tipologia muraria presente ai sensi dell'Ordinanza sismica 3274 e ss.mm, e per il cemento armato di stimare le classi di resistenza.

In relazione al livello di conoscenza LC2, che si ritiene sia stato raggiunto a seguito delle indagini svolte, si sottolinea la necessità di adottare nelle verifiche un fattore di confidenza pari a 1.2 applicato ai parametri di resistenza.

Le informazioni dedotte dalle indagini in situ, sono state adottate nella definizione del modello numerico su cui sono state effettuate le verifiche di sicurezza sismica come da oggetto della convenzione di ricerca.

Genova, 5 Novembre 2007

IL RESPONSABILE SCIENTIFICO

(Prof. Sergio Lagomarsino)