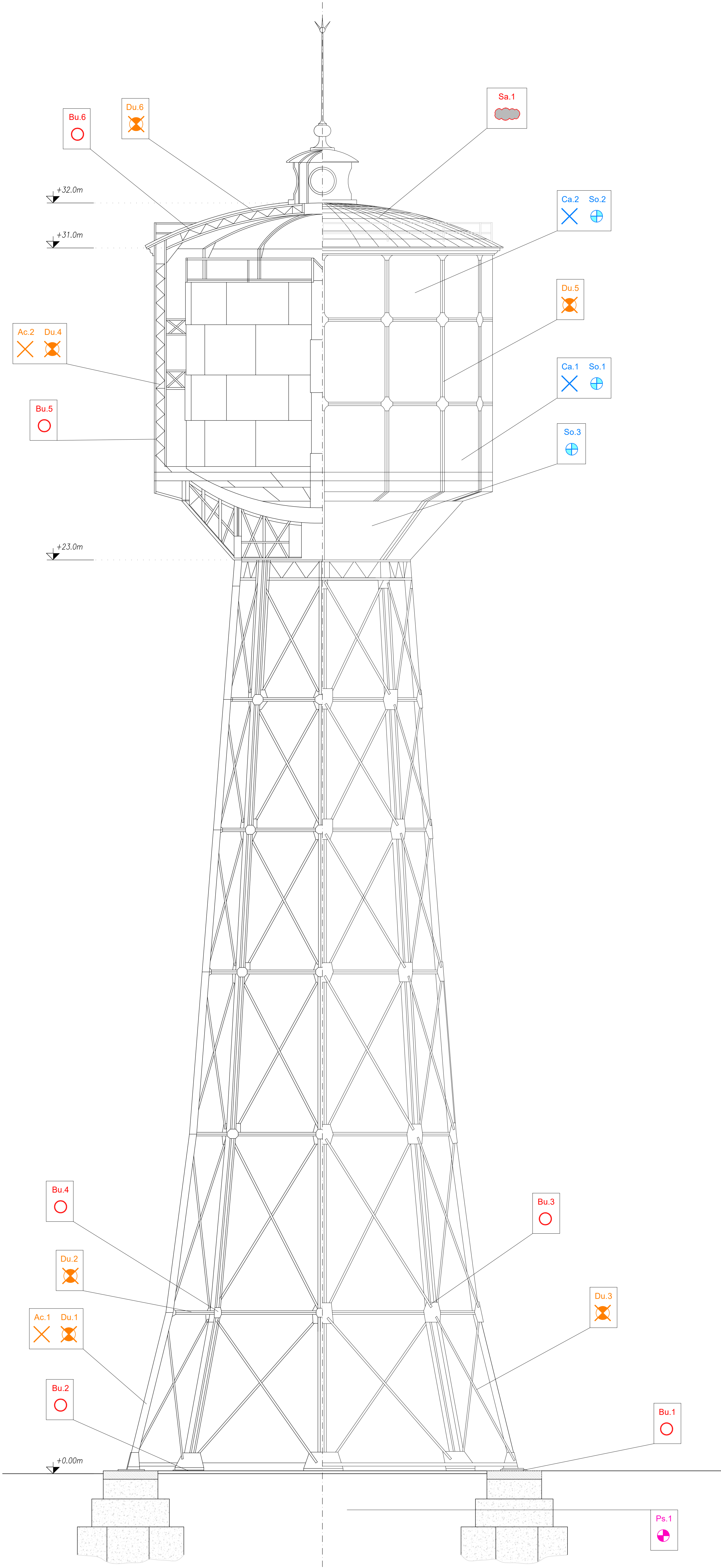


SEZIONE VERTICALE SERBATOIO



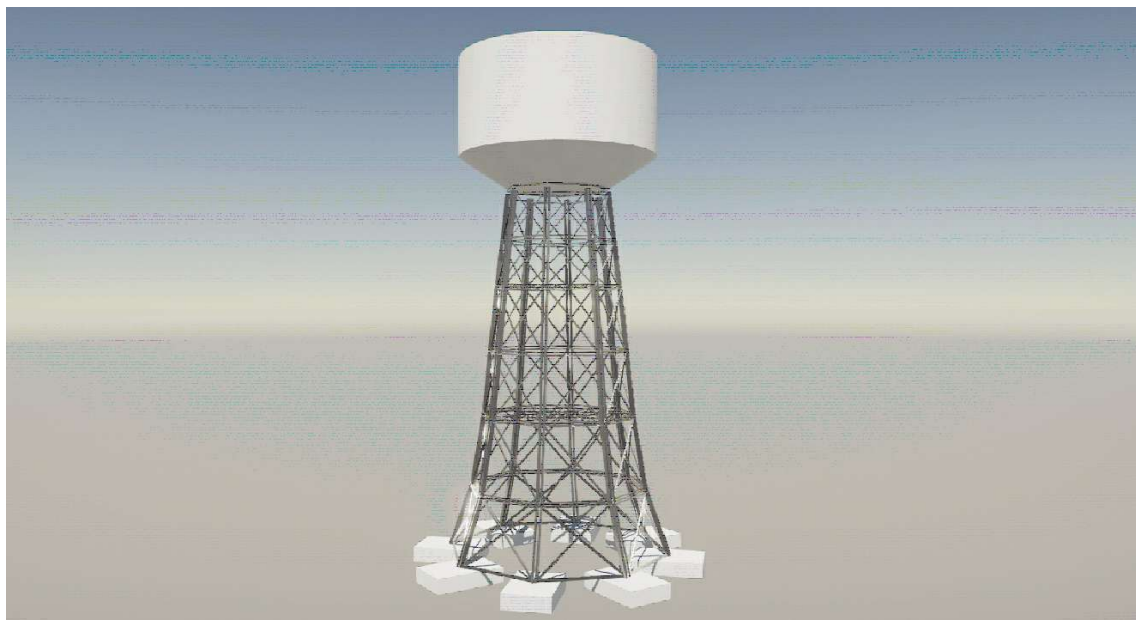
LEGENDA DEI SIMBOLI:

Q.TA'		
2		PRELIEVO CAMPIONE DI CLS E PROVA COMPRESSIONE
2		PRELIEVO CAMPIONE DI ACCIAIO DA STRUTTURA METALLICA E PROVA TRAZIONE
6		PROVA NON DISTRUTTIVA ACCIAIO (DUREZZA)
6		PRELIEVO BULLONE DA STRUTTURA METALLICA
3		CAROTAGGIO PARETE IN MURATURA/CLS ARMATO
1		SAGGIO SU SOLAIO/COPERTURA
1		CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO (MASW)

NOTA: PIANO DELLE INDAGINI FINALIZZATO AL RAGGIUNGIMENTO DI UN LIVELLO DI CONOSCENZA LC2.



PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI FIORENZUOLA D'ARDA



RIQUALIFICAZIONE E MESSA IN SICUREZZA DEL SERBATOIO PENSILE
IN VIA ROMA CUP E16E22000010004

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

ING. MARCO CASTELLANA Via Roncaglia 13 - Fontana Fredda di Cadeo (PC) Mob. : 333-3912283 E-mail : marcocastel@libero.it - PEC : marco.castellana@ingpec.eu		IL PROGETTISTA	
LAVORO RIQUALIFICAZIONE E MESSA IN SICUREZZA DEL SERBATOIO PENSILE			
TAVOLA STATO DI FATTO - PIANO DELLE INDAGINI CONOSCITIVE SEZIONE VERTICALE		SCALA -	TAVOLA N. [0]
REV.	DATA	DESCRIZIONE	
1	09.02.2024	REVISIONE	
0	17.01.2024	EMISSIONE	



4 EMME Service S.p.A.

Prove in sito – Laboratorio prove materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 – 39100 Bolzano (BZ) – ITALY www.4emme.it

Filiale di Piacenza: Strada ai Dossi di Le Mose, 18 – 29122 Piacenza (PC) – Tel. 0523-755849 piacenza@4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001: 2015 certificato RINA nr. 6441/01/S

INDAGINI SPERIMENTALI

SERBATOIO PENSILE

VIALE ROMA N. 1 – FIORENZUOLA D'ARDA (PC)

PROVA n. 4194/PC

12 aprile 2024

Committente

Comune di Fiorenzuola

Tecnico Incaricato:

Ing. Marco Castellana

Relatore:

Geom. Alessandro Astorri



Vista del serbatoio – 55

Rif.: PC/034/24

Piacenza, 14 maggio 2024

C.F./P.I. IT 01288130212

Cap. Soc. 500.000,00 Euro

R.E.A. - BZ 111601

CASSA CENTRALE RAIFFEISEN BZ IT49 B 03493 11600 000300027138

Bolzano 0471-543111
Bologna 051-6346808
Cagliari 070-490732
Como 031-305253

Firenze 055-461000
Genova 010-586195
La Spezia 0187-997756
Marche 0734-903279

Milano 02-40092545
Modena 059-395414
Padova 049-8020707
Palermo 091-6703629

Piacenza 0523-755849
Roma 06-71546992
Torino 011-7706023
Treviso 0438-990200

Verona 045-8004278
Laboratori Autorizzati
Bolzano 0471-543111
Milano 02-40092545

INDICE

1. PREMESSA	2
2. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE.....	3
3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI.....	9
☐ Indagini SonReb.....	10
☐ Prelievo carpenteria metallica.....	10
☐ Indagini Vickers.....	11
☐ Indagini stratigrafiche.....	12
☐ Caratterizzazione dinamica del sottosuolo	15

1. PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.a.*, specializzata in indagini sperimentali in sito su strutture, è stata incaricata dal Comune di Fiorenzuola, di eseguire indagini sperimentali presso il serbatoio pensile sito in Via Roma n. 1 a Fiorenzuola d'Arda (PC).

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre ad indagine, le modalità di rilevazione ed i punti di misura sono stati preventivamente concordati con il Tecnico Incaricato Ing. Marco Castellana.

Le indagini sono state eseguite il giorno 12 aprile 2024.

All'esecuzione delle indagini ha assistito:

Ing. Marco Castellana

Tecnico Incaricato

per la *4 EMME Service S.p.a.*:

Geom. Antonio Mangia

Geom. Marco Dainese

Geom. Alessandro Astorri

2. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

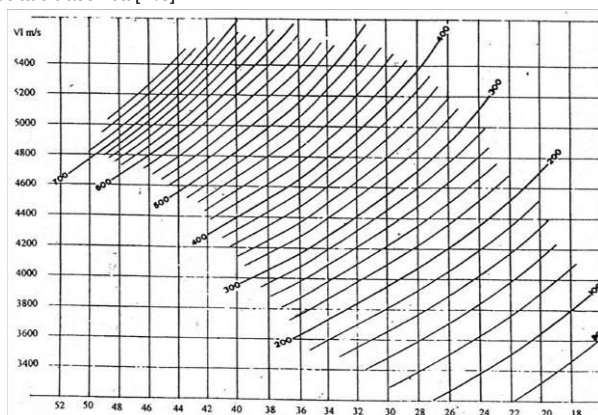
INDAGINI SUI CALCESTRUZZI

Valutazioni con metodo SonReb

Lo scopo della prova è calcolare la resistenza media a compressione del calcestruzzo combinando la velocità ultrasonica V , ottenuta con prove ultrasoniche, con l'indice di rimbalzo S ottenuto con prove sclerometriche, compensando gli errori di entrambe le prove. Il contenuto di umidità e l'età del calcestruzzo infatti influenzano in modo opposto entrambe le prove. Si utilizzano curve di correlazioni sperimentali o, in alternativa, di correlazioni analitiche. Esempio:

Curve di iso-resistenza (Rilem) R_c [N/mm²]

Velocità ultrasonica [m/s]



PROCEDURA

- Misurare la velocità ultrasonica media di un impulso all'interno del calcestruzzo in almeno 3 punti (Rif. 5.01).
- Misurare l'indice medio di rimbalzo del calcestruzzo in almeno 3 punti (Rif. 5.05).
- Utilizzare delle curve di correlazioni sperimentali secondo le raccomandazioni Rilem NDT 1 per identificare la curva di iso-resistenza relativa ai valori di V e S riscontrati nelle misurazioni o, in alternativa, di correlazioni analitiche, del tipo:

$$R_{cub} = a \cdot S^b \cdot V^c \quad [\text{MPa}]$$

dove:

 V = velocità ultrasonica [m/s] S = indice di rimbalzo sclerometrico

I valori dei coefficienti calcolati empirici sono:

$$a = 9,27 \cdot 10^{-11}$$

$$b = 1,4$$

$$c = 2,6$$

In alcuni test esistono anche altri valori per i coefficienti. In ogni caso nessuna forma ha validità generale, soprattutto se si tratta di calcestruzzi di bassa qualità.

Nel caso la rilevazione con metodo SonReb abbia una funzione di confronto coi dati rilevati mediante prove distruttive, i coefficienti con vengono assegnati secondo espressioni fornite in bibliografie, ma il modello viene tarato mediante regressione lineare con i valori di resistenza cubica R_c derivati dalla resistenza cilindrica a compressione f_c di alcune carote.

NOTE

Eseguire la prova in almeno 3 punti per ottenere risultati statisticamente attendibili e non soggetti a fenomeni puntuali.

RIFERIMENTI

Norma BS 1881-204, DIN 1045, CP110

INDAGINI SU ACCIAIO DA CARPENTERIA

Prelievo di profilati

Lo scopo del prelievo di profilati metallici è quello di ottenere un campione, sul quale eseguire delle prove di laboratorio volte a caratterizzare dal punto di vista meccanico i materiali, valutando la resistenza a trazione. Esempio:



PROCEDURA

- Per il prelievo del profilato, se non visibile deve essere individuato mediante pacometro.
- Si deve provvedere mediante martello demolitore all'eliminazione degli eventuali strati di materiale presente attorno all'elemento strutturale.
- Successivamente si deve tagliare mediante smerigliatore il profilato.
- Il prelievo va eseguito nel maggiore rispetto possibile dell'integrità del campione prelevato.
- Il campione prelevato sarà inviato al laboratorio materiali per l'esecuzione della prova di trazione.

INDAGINI SUGLI ACCIAI

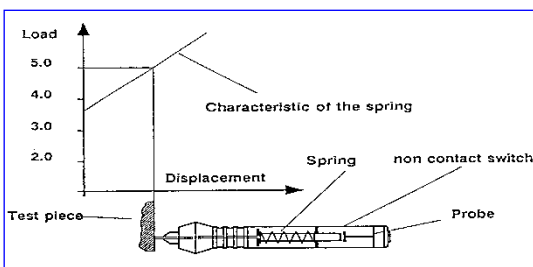
Descrizione prove con microdurometro Vickers

L'indagine tramite microdurometro Vickers ha lo scopo di ottenere una valutazione della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio, eseguendo un controllo della durezza mediante l'utilizzo di un microdurometro portatile. La valutazione dell'impronta Vickers viene effettuata per via elettronica con il metodo UCI. Esempio:



PROCEDURA

Il penetratore, costituito dalla piramide Vickers, è montato sull'estremità di una barretta metallica che viene eccitata a vibrare longitudinalmente con una frequenza di 78 kHz. Nel contatto tra il diamante Vickers e l'elemento, la frequenza subisce una variazione che dipende dalla superficie dell'impronta che, a sua volta, costituisce una misura della durezza del materiale in prova.



- Preparare l'area d'indagine eliminando la vernice e lucidandola con carta abrasiva di grana 400.

- Premere la punta di diamante sulla superficie dell'acciaio producendo un'impronta; in questo modo si carica progressivamente una molla elicoidale contenuta nel corpo della sonda. Quando il carico ha raggiunto un valore corrispondente a quello di misura lo strumento rileva automaticamente la misura dell'impronta e la memorizza.
- Attraverso i valori di durezza Vickers (HV) ottenuti, calcolare la resistenza a trazione:

$$R_t = Brinell \cdot 3,55 \quad \text{se Brinell} \leq 175$$

$$R_t = Brinell \cdot 3,338 \quad \text{altrimenti}$$

dove:

R_t = singole resistenze a trazione;
 $Brinell$ = durezza Brinell = 0,95HV.

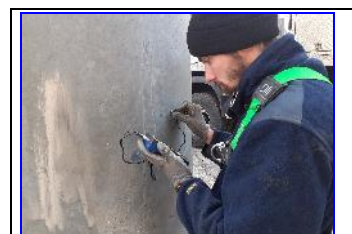
RIFERIMENTI

Norma UNI EN ISO 18265
 DIN 50157

INDAGINI SUI MATERIALI

verifica spessimetrica su materiali ferrosi e non ferrosi

Attraverso gli ultrasuoni si vogliono rilevare le caratteristiche di spessore, in particolar modo la sua omogeneità. Per l'esecuzione della prova la sonda viene posta sulla superficie dell'elemento da indagare (o sulla stessa faccia nel caso la superficie opposta non sia accessibile). La sonda emette impulsi che vengono registrati dall'apparecchiatura. Esempio:



PROCEDURA

- Individuare le aree da indagare e localizzarle su piante tecniche.
- Contrassegnare con precisione i punti da indagare.
- Pulire e levigare i punti dove si pone la sonda.
- Ubicare con precisione sulla faccia dell'elemento strutturale la sonda.
- Emettere l'impulso e rilevare il valore dopo aver frapposto tra sonda e materiali apposito gel.
- La misurazione si ottiene rilevando il valore medio di più letture con valori all'interno di una variabilità del $\pm 5\%$.

NOTE

Vanno eseguite almeno tre prove per ogni punto di indagine strutturale.

INDAGINI SULLE MURATURE

Indagini tramite endoscopio

L'indagine tramite endoscopio ha lo scopo di classificare dettagliatamente la consistenza e la natura del materiale costituente la struttura in esame, mediante rilievi visivi e fotografici. Allo scopo è utilizzata una sonda, rigida o flessibile, che viene inserita in alcuni fori nella muratura praticati mediante carotatrice o trapano elettrico.

La restituzione fotografica o VHS dell'ispezione permette di osservare eventuali anomalie all'interno della muratura. Esempio:



PROCEDURA

Questa metodologia prevede l'utilizzo di un endoscopio di lunghezza massima di 3,5 m.

- Praticare un foro da 20-30 mm, mediante un carotiere, al fine di lasciare la superficie interna pulita e di ottenere un campione del materiale estratto il più possibile integro.
- Spolverare il foro.
- Inserire la sonda e ispezionare visivamente quattro posizioni, usualmente a 0° 90° 180° 270°, per ogni intervallo di 5 cm in profondità.
- Impostare tempi, diaframmi e pellicola in base alla luminosità all'interno del foro e alla tipologia di pietra.
- Riprendere fotograficamente le anomalie riscontrate.

- Segnare sull'apposito modulo il numero di foto con il relativo tempo e diaframma utilizzato oltre alle note di commento sull'aspetto visivo.

NOTE

- Qualora non sia possibile effettuare un carotaggio, per l'impossibilità di offendere la struttura, il foro viene praticato mediante trapano elettrico non a percussione.
- Tutte le deformazioni vanno registrate in linea su nastro cartaceo o supporto informatico.

CARATTERIZZAZIONE TERRENO

Indagini MASW

L'analisi sismica "superficiale" di dettaglio ricavata dall'array sismico (MASW) unita alle prospezioni H/V (HVSR) per le elevate profondità e alle misure di vibrazione di sito, permette di caratterizzare dinamicamente il terreno dal punto di vista sismo-stratigrafico Esempio:



PROCEDURA

Tale metodologia sismica permette, tramite l'acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di Rayleigh generate da masse battenti, di elaborare un profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità. L'intero processo comprende tre fasi:

- acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali ("ground roll") mediante idonea strumentazione sismica;
- costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);

- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s che descrive la variazione di V_s con la profondità. Per ottenere un profilo V_s è necessario produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore

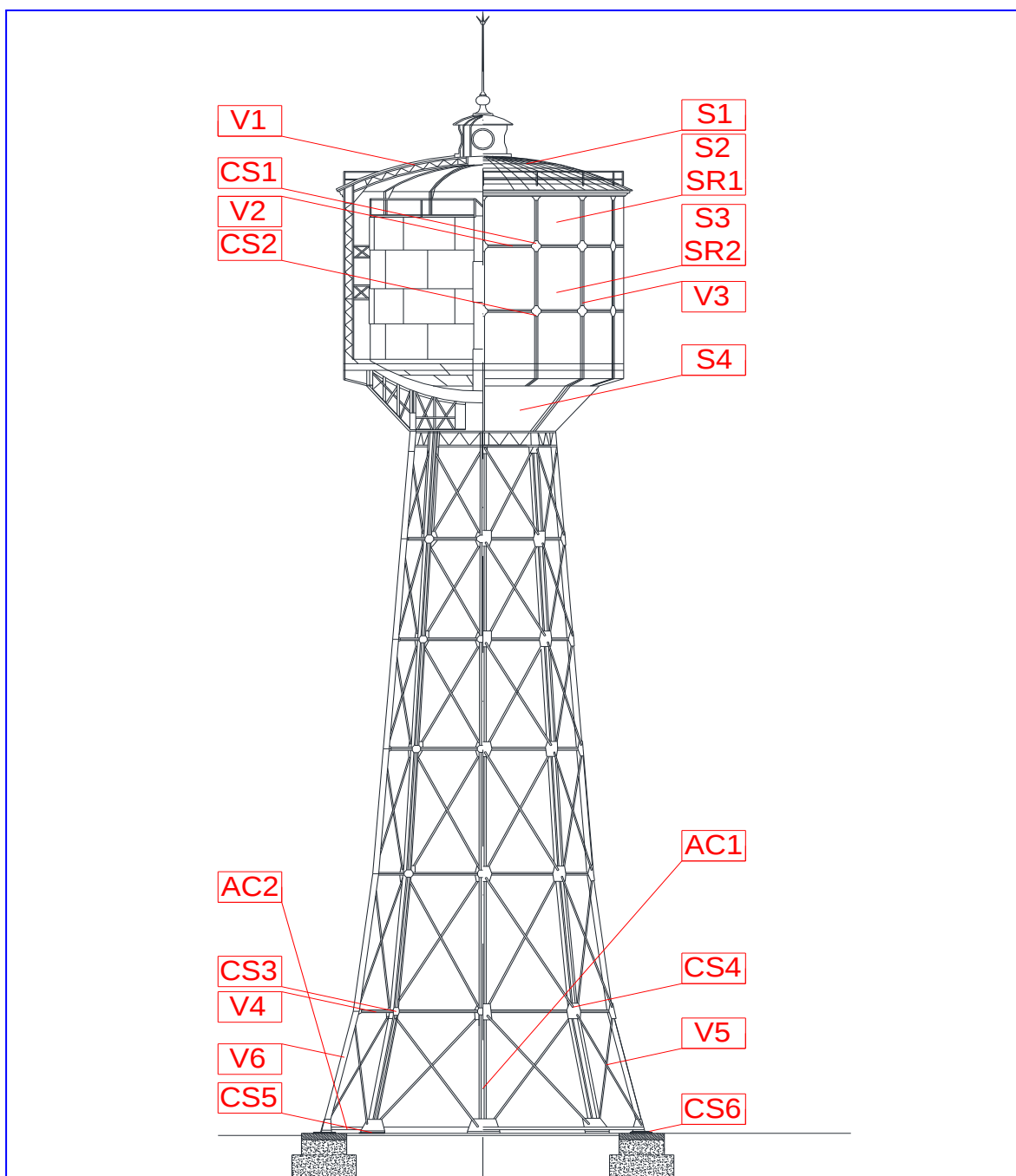
NOTE

Tutte le misure sono state eseguite utilizzando 1 tromografo digitale Microsismic 6S costituito da 1 terna accelerometrica e 2 terne geofoniche

3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

Sono state eseguite indagini sperimentali sulla qualità dei materiali. Di seguito è riportato un riassunto delle indagini eseguite e le loro localizzazioni.

- **SR** – Indagini SonReb;
- **AC** – Prelievo carpenteria metallica;
- **V** – Indagini Vickers;
- **CS** – Controllo spessimetrico;
- **S** – Indagine stratigrafica;



Localizzazione delle indagini eseguite

- **Indagini SonReb**

Sono state effettuate n. 2 indagini SonReb per rilevare le caratteristiche meccaniche e di omogeneità del calcestruzzo degli elementi strutturali della struttura.
Di seguito è riportata una tabella descrittiva delle indagini.

SONREB							
Punto	Elemento	Indice rimbalzo	Velocità ultrasuoni	Di Leo - Pascale Rc [Mpa]	Giacchetti - Lacquaniti Rc [Mpa]	Del Monte Rc[Mpa]	Media
SR1	Pannello in CLS	27,2	2699	9,8	6,5	11,5	9,26
SR2	Pannello in CLS	26,4	2616	8,8	5,8	10,5	8,36

- **Prelievo carpenteria metallica**

Sono state effettuati n. 2 prelievi di profilati metallici dalla struttura, con l'obiettivo di avviare i campioni al laboratorio per prova a trazione.



Vista degli elementi prelevati

Dati dichiarati			Risultati di prova							
Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	Larghezza b[mm]	Spessore a[mm]	Tipo	Sezione [mm ²]	f _y [N/mm ²]	f _t [N/mm ²]	Allungamento	Data prova
AC1-1	12/04/2024	Elemento orizzontale di base	34,0	8,4		285,6	281,8	382,7	20,0	10/05/2024
AC2-2	12/04/2024	Elemento verticale di base	46,9	7,3		342,4	254,1	382,1	23,8	10/05/2024

In allegato vengono forniti i certificati di laboratorio per le prove eseguite sui campioni prelevati, Lab. MI certificato n. 2751 del 13/05/2024.

- **Indagini Vickers**

Sono state effettuate n. 6 indagini Vickers con durometro sulle carpenterie della struttura. Di seguito è riportata una tabella descrittiva delle indagini.

Punto	Elemento	Indice di durezza Vickers (HV)			Durezza brinell (HB)	Tensione di rottura a trazione (f_t) Mpa
		Min	Max	Medio		
V1	Carpenteria	84	169	124	118	397
V2	Carpenteria	113	146	127	121	406
V3	Carpenteria	101	119	118	112	379
V4	Carpenteria	104	133	121	115	388
V5	Carpenteria	99	130	117	111	376
V6	Carpenteria	103	128	112	106	358

- **Controllo spessimetrico**

Sono stati eseguiti controlli per la verifica dello spessore del materiale, dei principali elementi che costituiscono la torre.

Norma di riferimento: UNI EN 14127

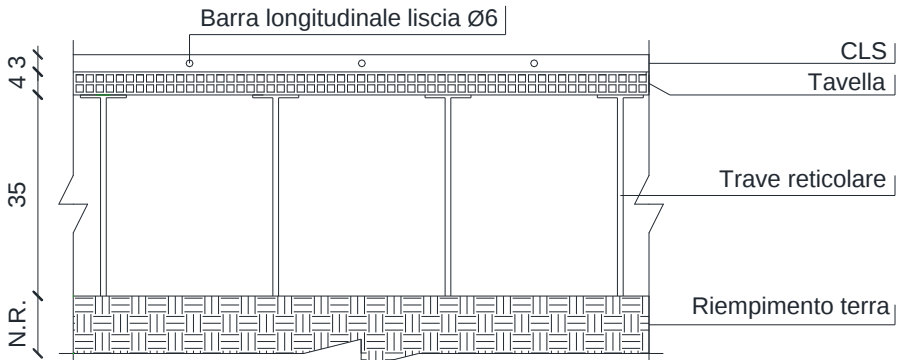
Attrezzatura: OLYMPUS MG45

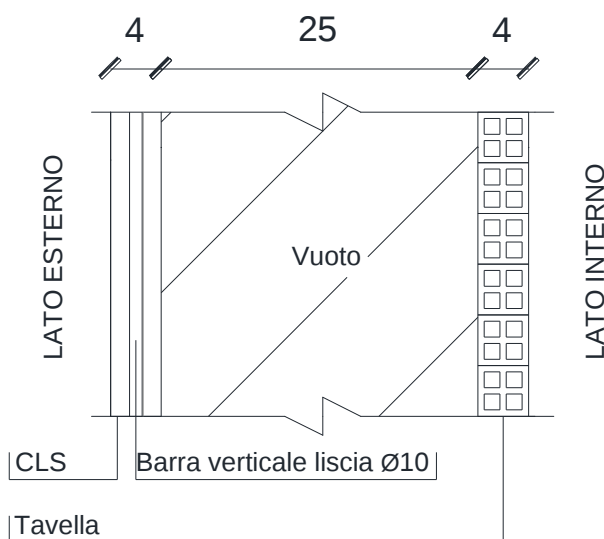
Elementi	RILEVAZIONI [mm]			
	1	2	3	Media
CS1	87,6	87,8	87,7	87.7
CS2	95,7	95,6	95,4	95.6
CS3	39,6	39,7	39,7	39.7
CS4	40,2	40,2	40,4	40.3
CS5	41,6	41,6	41,5	41.6
CS6	38,4	38,3	38,5	38.4

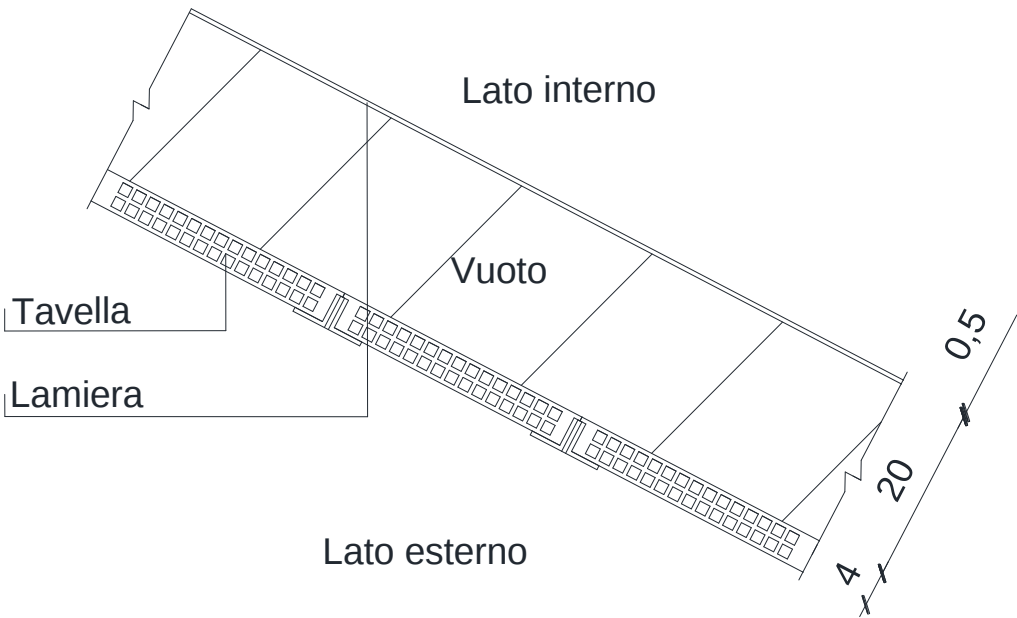
È stata confermata la continuità delle giunzioni chiodate.

- **Indagini stratigrafiche**

Sono state effettuate n. 4 indagini stratigrafiche per determinare la tipologia costruttiva nei punti stabiliti. Di seguito vengono restituiti i report fotografici.

S1	
	
CUPOLA SERBATOIO PENSILE	
STRUTTURA SOLAIO	STRATIGRAFIA SOLAIO
Tipologia	Rivestimento esterno in cls
Latero-cemento	3,0 cm
Tipologia travetti	Elementi di alleggerimento
Trave reticolare	Tavelle = 4,0 cm
Base = 8 cm Altezza = 35 cm (visible)	
Tipologia armatura	Trave reticolare
Armatura liscia	35,0 (visible)
Armatura	Spessore totale
Barre longitudinali Ø6	>42 cm
Copriferro	
± 10 mm	
Soletta	
Soletta – sp = 3 cm	
SCHEMA SEZIONE VERTICALE	
	
NOTA: Il disegno ha scopo illustrativo e non rappresentativo della tipologia costruttiva.	

S2 - S3	
	
RIVESTIMENTO LATERALE SERBATOIO PENSILE	
STRUTTURA RIVESTIMENTO	STRATIGRAFIA RIVESTIMENTO
Tipologia	Rivestimento esterno cls
Pannelli in cls	4,0 cm
Elementi accessori	Vuoto
Presenza di maglia in ferro	25,0 cm
Tipologia armatura	Elementi di alleggerimento
Armatura liscia	Tavelle = 4,0 cm
Armatura	Spessore totale
Barre longitudinali Ø10	33,5 cm
Copriferro	
± 10 mm	
SCHEMA SEZIONE VERTICALE	
	
NOTA: Il disegno ha scopo illustrativo e non rappresentativo della tipologia costruttiva.	

S4	
	
RIVESTIMENTO INFERIORE	
STRUTTURA SOLAIO	STRATIGRAFIA SOLAIO
Tipologia solaio	Elementi di alleggerimento
Acciaio-laterizio	<i>Tavelle</i> = 4 cm
Profilati acciaio tipo "L" accoppiati	Vuoto
Base = 8,5 cm Altezza = 4 cm	20 cm
Tipologia armatura	Lamiera serbatoio interno
Assente	0,5 cm
Soletta	Spessore totale
Assente	24,5 cm
SCHEMA SEZIONE VERTICALE	
	
NOTA: Il disegno ha scopo illustrativo e non rappresentativo della tipologia costruttiva.	

- **Caratterizzazione dinamica del sottosuolo**

Descrizione della strumentazione: Microsismic

Lo strumento è costituito da una terna accelerometrica ed una terna geofonica.

Le caratteristiche degli strumenti di misura sono le seguenti:

- fondo scala accelerometri: ± 3 g nella banda 0,5 Hz-1600 Hz per gli assi X - Y e 0,5 Hz- 550 Hz per l'asse Z (asse verticale);
- densità di potenza spettrale del rumore è $280 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X e Y e $350 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per l'asse Z.



Microsismic

Caratterizzazione dinamica del suolo - Modalità di indagine

L'analisi sismica "superficiale" di dettaglio ricavata dall'array sismico (MASW) unita alle prospezioni H/V (HVSR) per le elevate profondità e alle misure di vibrazione di sito, permette di caratterizzare dinamicamente il terreno dal punto di vista sismo-stratigrafico.

Analisi MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) si basa sull'analisi delle velocità delle onde di *Rayleigh* e permette una dettagliata ricostruzione della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde di taglio (onde S) nei primi metri del sottosuolo.

Tale metodologia sismica permette, tramite l'acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di *Rayleigh* generate da masse battenti, di elaborare un profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità. L'intero processo comprende tre fasi:

- acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali ("ground roll") mediante idonea strumentazione sismica;
- costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s che descrive la variazione di V_s con la profondità. Per ottenere un profilo V_s è necessario produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

L'inversione della curva di dispersione viene successivamente realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura dei minimi quadrati.

Metodo HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o dei rapporti spettrali H/V è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni e attraverso un uso congiunto con la tecnica MASW può essere utilmente impiegata per derivare il valore della V_s ,eq.

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale su terreno vengono ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica descritta per esempio nel progetto denominato SESAME - *Site EffectS Assessment using AMbient Excitations* - (2005) che si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array, si è certificata l'affidabilità delle misure spettrali per la ricostruzione sismica del sottosuolo.

Modalità di esecuzione

Tutte le misure sono state eseguite utilizzando 1 tromografo digitale Microsismic 6S costituito da 1 terna accelerometrica e 2 terne geofoniche.

Fondo scala accelerometri: ± 3 g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz-550 Hz per l'asse Z.

La densità di potenza spettrale del rumore è $280 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per gli assi X e Y e $350 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms per l'asse Z. La tipologia è MEMS®.

Per le MASW si è impiegato un array digitale collegato al Microsismic ed a un geofono verticale a frequenza propria di 4,5 Hz, in grado di registrare il segnale in continuo, senza limiti di tempo. La digitalizzazione del segnale avviene direttamente sul geofono migliorando il rapporto segnale-rumore.



Microsismic e stendimento MASW

L'apparecchio Microsismic è stato posizionato nel sito in maniera solidale al terreno con orientazione circa NNW-SSE. Il cavo trigger, a cui è collegato il geofono, è stato completamente disteso ottenendo uno stendimento di 30,0 m.

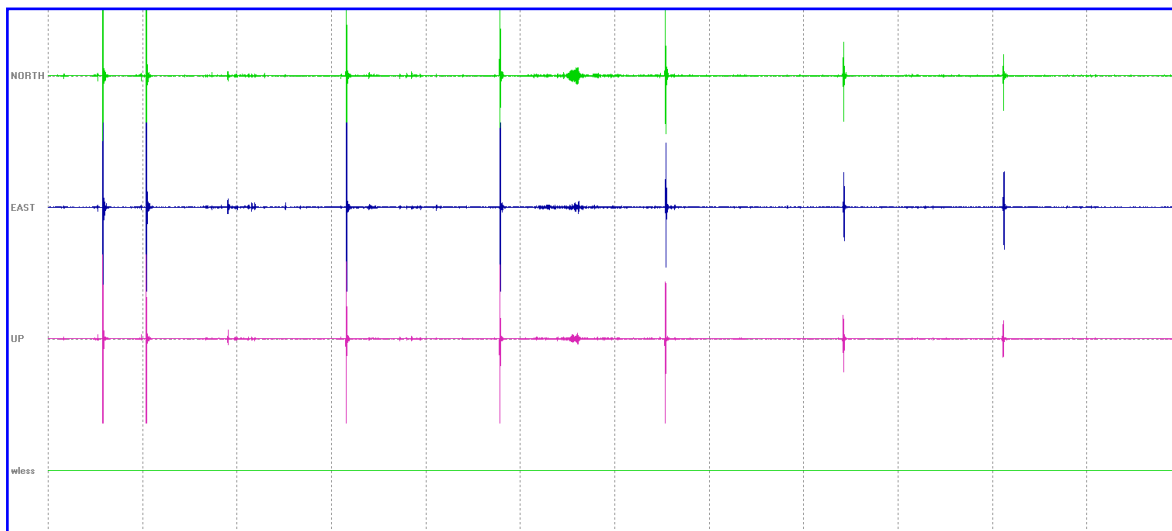
Partendo dall'apparecchio di misura, si è proceduto ad energizzare a fianco del geofono che è stato spostato di volta in volta allontanandosi di 3 m, effettuando nel complesso 10 postazioni di misura. La sorgente sismica utilizzata è stata ottenuta con la caduta di un grave (mazza battente).

L'acquisizione è stata impostata alla frequenza di campionamento di 256 Hz.

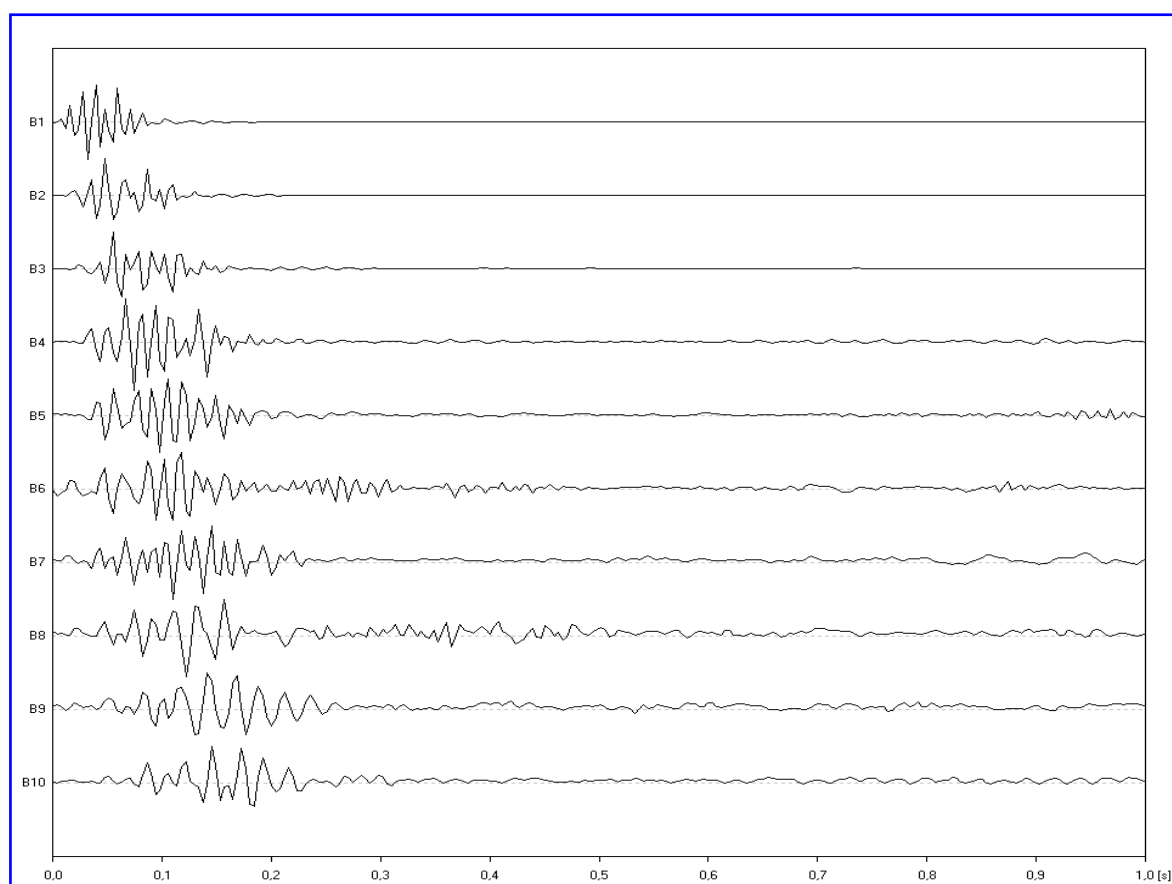
Prova MASW

Analisi dei dati

Si è eseguita la selezione delle 10 epoche di energizzazione permettendo la ricomposizione di un file multicanale per l'analisi MASW.



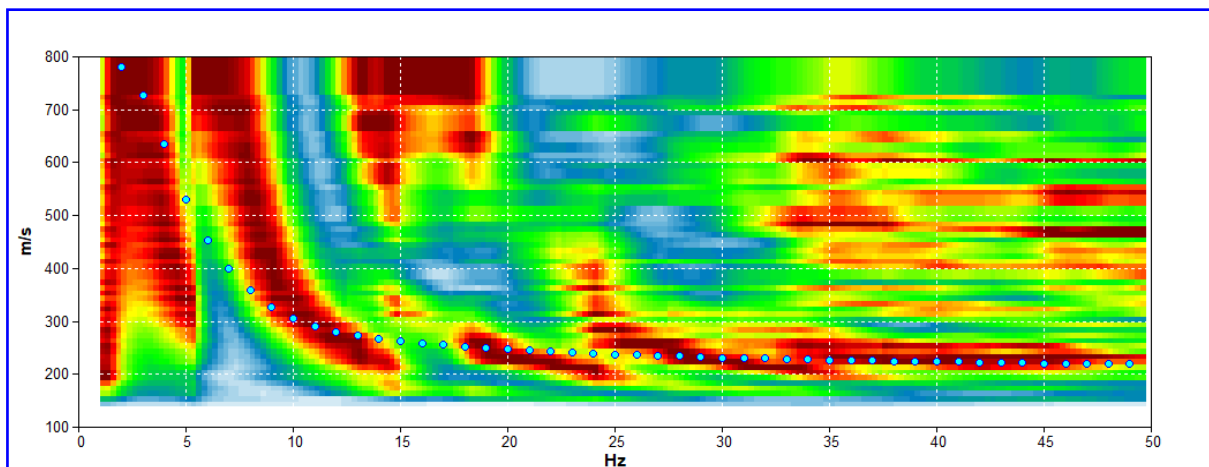
Epoche di energizzazione nel file di acquisizione.



File multicanale ricomposto.

Risultato della modellazione

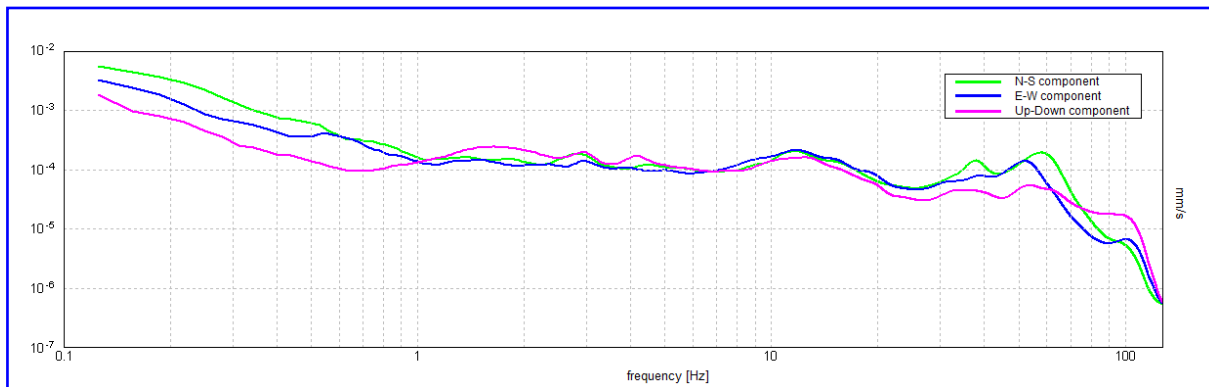
Dalla ricomposizione del segnale è possibile la ricostruzione della curva di dispersione delle velocità:



Curva di dispersione delle velocità.

Nella figura precedente è presente anche la curva ricavata nella calibrazione del modello di sottosuolo (pallini azzurri).

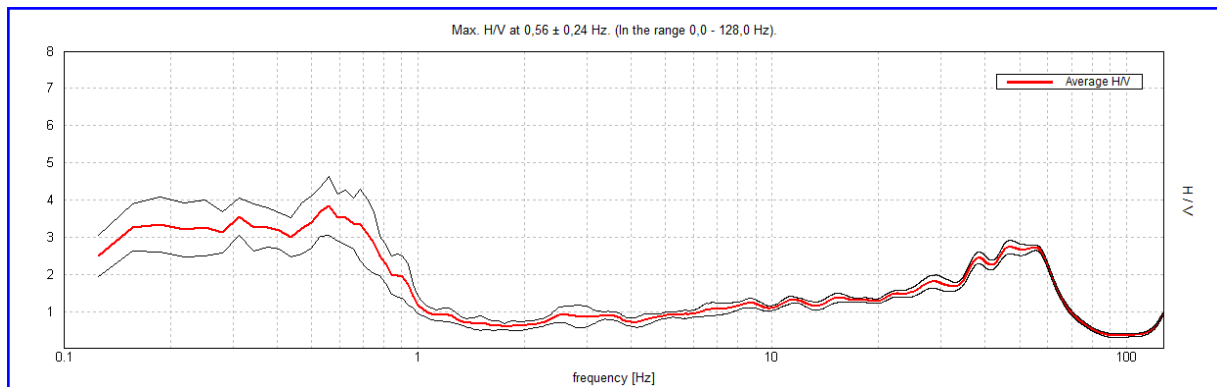
Dalla misura del microtremore naturale si ricavano gli spettri naturali del rumore sismico ambientale lungo le 3 componenti strumentali.



Spettro di ampiezza necessario per la valutazione delle H/V.

Da cui, attraverso la tecnica dei rapporti spettrali H/V è possibile elaborare l'andamento della curva H/V sperimentale (in rosso) la sua incertezza verticale (linea nera sottile). La curva permette di individuare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno in oggetto che rispettano i criteri SESAME.

Nella curva, in base allo spettro di ampiezza si possono riconoscere dei picchi di risonanza alla frequenza di **0,56 Hz** dovuta a dei riflettori naturali (legati alle superfici di contatto tra strati sovrapposti). Si rilevano inoltre altri picchi > a 20 Hz i quali non risultano non rilevanti ai fini ingegneristici.



Curva H/V.

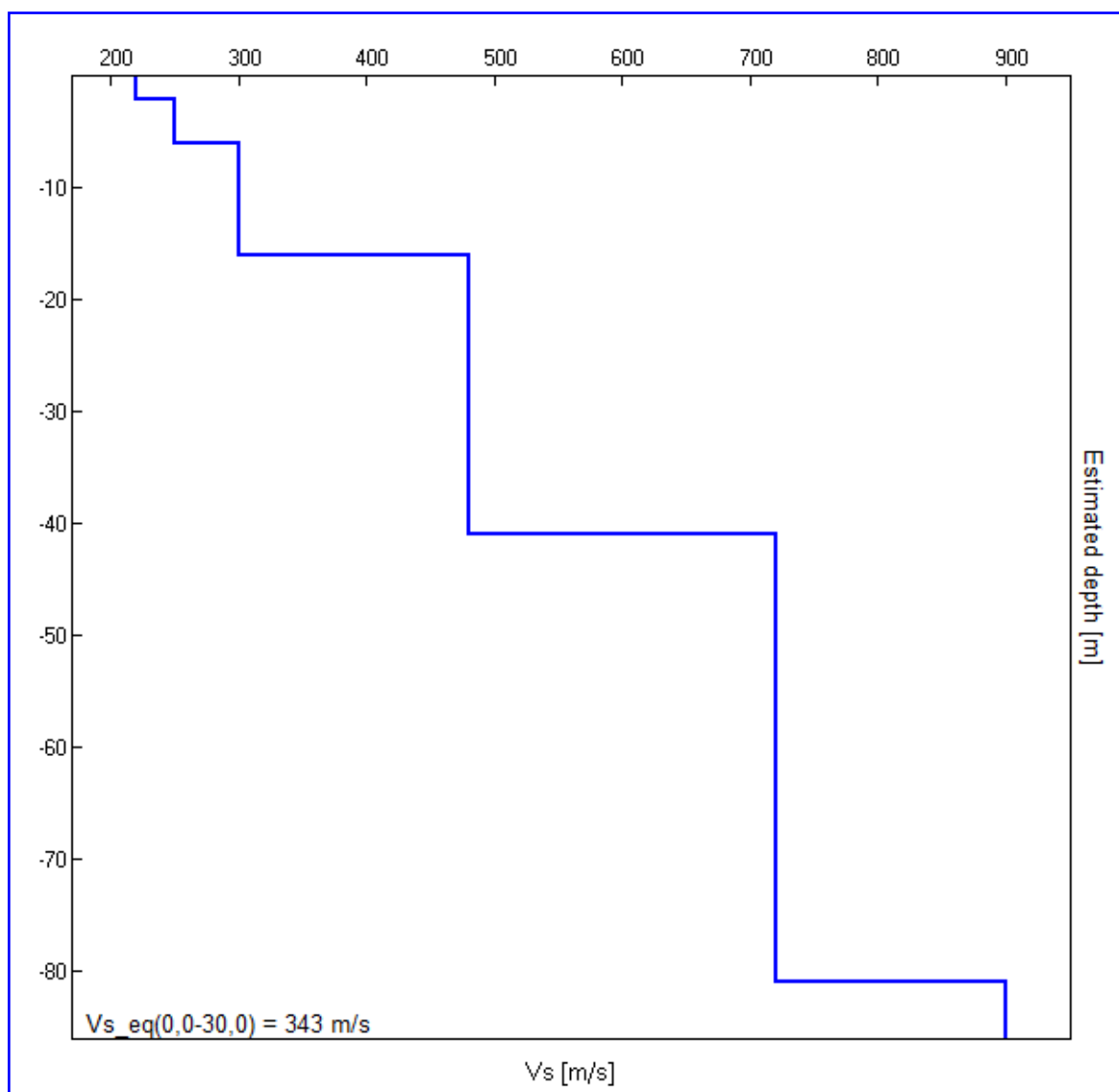
L'utilizzo delle due prove (MASW e H/V) permette di modellare il sottosuolo in termini di profilo di Vs fino alle profondità di interesse ingegneristico e al tempo di calcolare il valore di normativa di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente fino al substrato roccioso ($V_{s,eq}$ Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018) come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h e dalla velocità delle onde S Vs. Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} .

Spessore strato [m]	Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Poisson	Densità [t/m ³]
2	2	539	220	0,40	1,7
4	6	612	250	0,40	1,8
10	16	808	300	0,41	1,9
25	41	1292	480	0,42	2,1
40	81	2055	720	0,43	2,2
-	-	2560	900	0,43	2,3



Modello di sottosuolo medio.

Risulta quindi $V_{s,eq} = 343 \text{ m/s}$ a partire dal piano di fondazione; di conseguenza, secondo l'approccio semplificato delle NTC2018, il sito ricade nella categoria di sottosuolo di tipo "C" ("Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.").

Categorie di sottosuolo Decreto del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



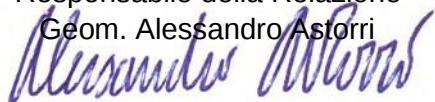
Posizione dell'indagine di sismica passiva HVSr e dello stendimento per la prova MASW.

L'elaborazione dei dati rappresenta solamente un sussidio da verificare ed approvare dal Tecnico Incaricato.

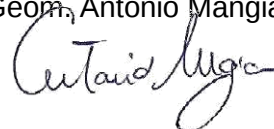
Piacenza, 14 maggio 2024

4 EMME Service S.p.A.

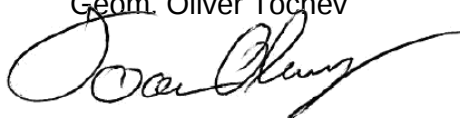
Responsabile della Relazione
Geom. Alessandro Astorri



Revisionata da Direttore di Centro
Geom. Antonio Mangia



Revisione dei dati
Geom. Oliver Tochev



PER INFORMAZIONI E DETTAGLI TECNICI,

www.4emme.it