dott. geol. Mattia Lucchi via Orfani 5, 26029 Soncino (CR) tel. 0374/837046 cell. 3288685420

COMUNE DI CREMA

Provincia di Cremona

MESSA IN SICUREZZA DI PORZIONE DI EDIFICIO
LOCALITA' CA' DELLE MOSCHE

COMMITTENTI:

RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA

(ACCORPAMENTO R1 E R2)

IL GEOLOGO
dott. Mattia Lucchi

NOVEMBRE 2025

PREMESSA

Nel presente rapporto sono presi in esame le problematiche connesse con le opere di fondazione per la messa in sicurezza di una porzione di edificio in Comune di Crema, località
Ca' delle Mosche , la cui ubicazione è riportata in allegato "Inquadramento geografico" scala 1:10.000.

Sulla base dei risultati della campagna d'indagine, nei capitoli seguenti sono esposti:

- la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del sottosuolo dell'area in esame,
- le verifiche d'interesse geotecnico delle soluzioni fondazionali previste,
- la valutazione dell'azione sismica e dell'amplificazione topografica,
- le raccomandazioni esecutive
- le interferenze con le acque superficiali e sotterranee.

Allo scopo di caratterizzare i terreni dell'area in oggetto sono state analizzate due prove penetrometriche dinamiche eseguite il 29/10/2024 che hanno permesso la definizione approssimata della successione litostratigrafica dei terreni e la caratterizzazione meccanica degli stessi, in vista delle previste verifiche fondazionali. L'ubicazione è riportata in allegato estratto di foto aerea.

Per la definizione della categoria sismica di sottosuolo si allega la relazione geofisica con descritta l'indagine MASW di Riferimento posta a circa 1000 m a nord - est dell'area di intervento ed ubicata in estratto di mappa.

La seguente perizia è eseguita ai sensi del *D.M. 14 gennaio 2008 e successivo aggirnamento Decreto 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni",* le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico si confermano in questa parte del territorio, collocato nella fascia centro settentrionale della pianura cremonese, i depositi alluvionali quaternari che hanno, nel corso del tempo , colmato le irregolarità morfologiche del substrato, generando durante le fasi deposizionali connesse con gli eventi glaciali, il ripiano generale della pianura medesima.
La geologia di superficie è strettamente influenzata dall'alternanza delle azioni di deposito ed erosione dei corsi d'acqua, connessi ai complessi fenomeni climatici che si sono susseguiti dal Pleistocene ai nostri giorni.

Nella pianura cremasca sono attualmente riconoscibili una serie di terrazzi fluviali la cui successione altimetrica risponde ad una precisa regola: la quota è tanto maggiore quanto più antica è l'età del terrazzo; inoltre tanto più antica è l'età del terrazzo più ridotta sarà la sua estensione areale, in quanto sottoposto all'azione erosiva negli stadi interglaciali successivi.La successione dei terrazzi nella pianura cremasca è la seguente:

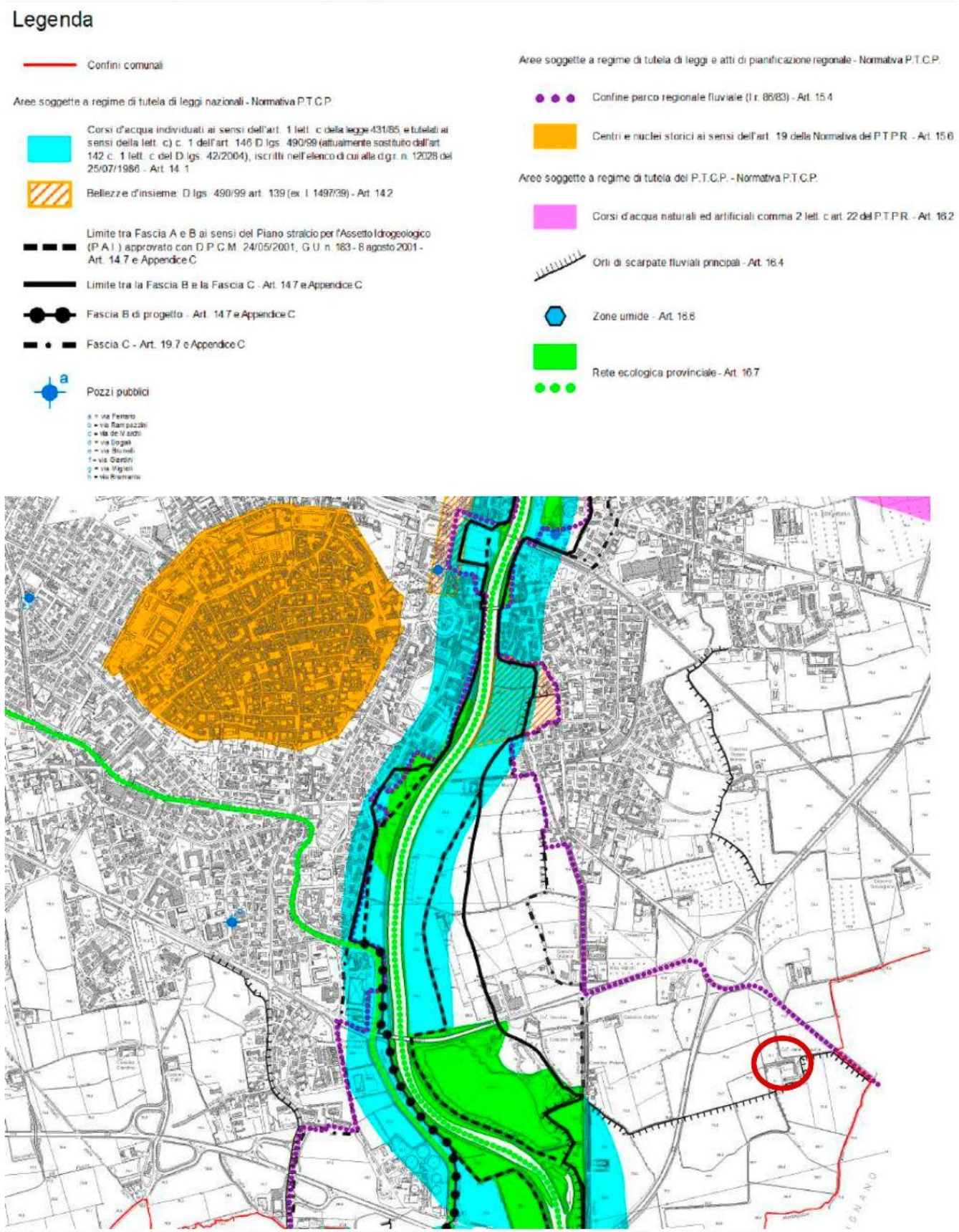
Fluviale Mindel: superfici più antiche e poste a quote maggiori,
Fluviale Riss: superfici intermedie per quota ed età,
Fluviale Würm : superfici più recenti e disposte a quote inferiori.

Quest'ultima costituisce il "Livello fondamentale della pianura o piano generale terrazzato (PGT) ", risultato dell'ultima fase di esteso colmamento della pianura. Successivamente a tale colmamento alluvionale, nel corso del cataglaciale (fase di ripresa termica dopo il periodo freddo) würmiano, ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo protrattosi nell'Olocene, che ha
determinato la formazione delle alte scarpate morfologiche che, incidendo il PGT, delimitano le valli dei principali fiumi occupate, a loro volta, dai successivi depositi alluvionali medio recenti.
La porzione del territorio di Crema in cui si interverrà, presenta caratteri geologici tipici della pianura cremasca che è costituita esclusivamente e fino a profondità di 200 m circa, da depositi di presunta facies continentale, del pleistocene superiore (Wurm).
L'esecuzione delle prove penetrometriche, i cui risultati vengono allegati alla presente relazione, hanno evidenziato una certa omogeneità su tutta l'area dell'intervento, sia in senso orizzontale che verticale con presenza di litologie prevalentemente sabbiose con passate ghiaiose.

2. VINCOLI DI NATURA GEOLOGICA E NATURALISTICA E FATTIBILITA' GEOLOGICA

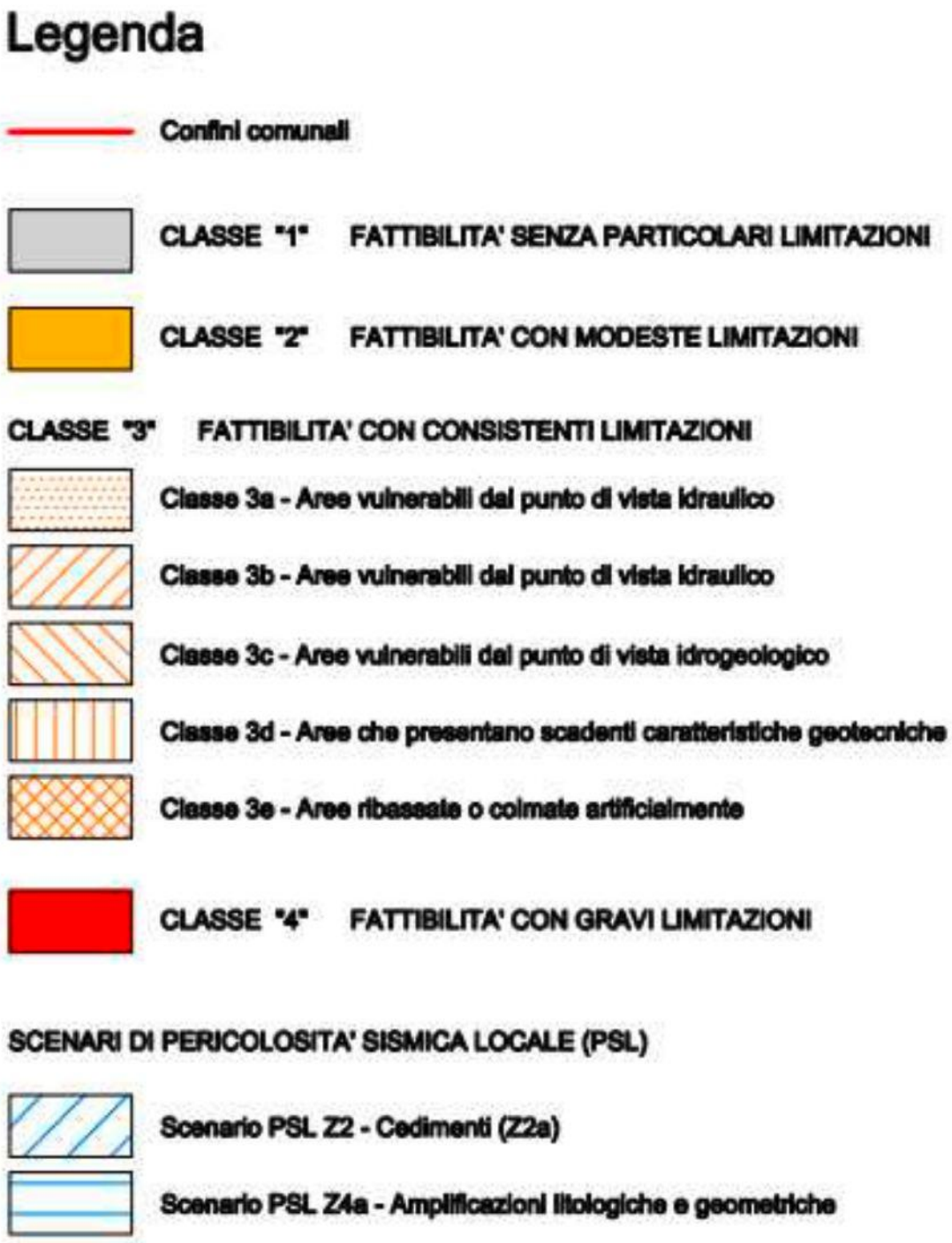
Attraverso l'utilizzo delle carte tematiche del PGT comunale si espongono di seguito gli stralci della zona oggetto di intervento con individuazione dei vincoli geologici .

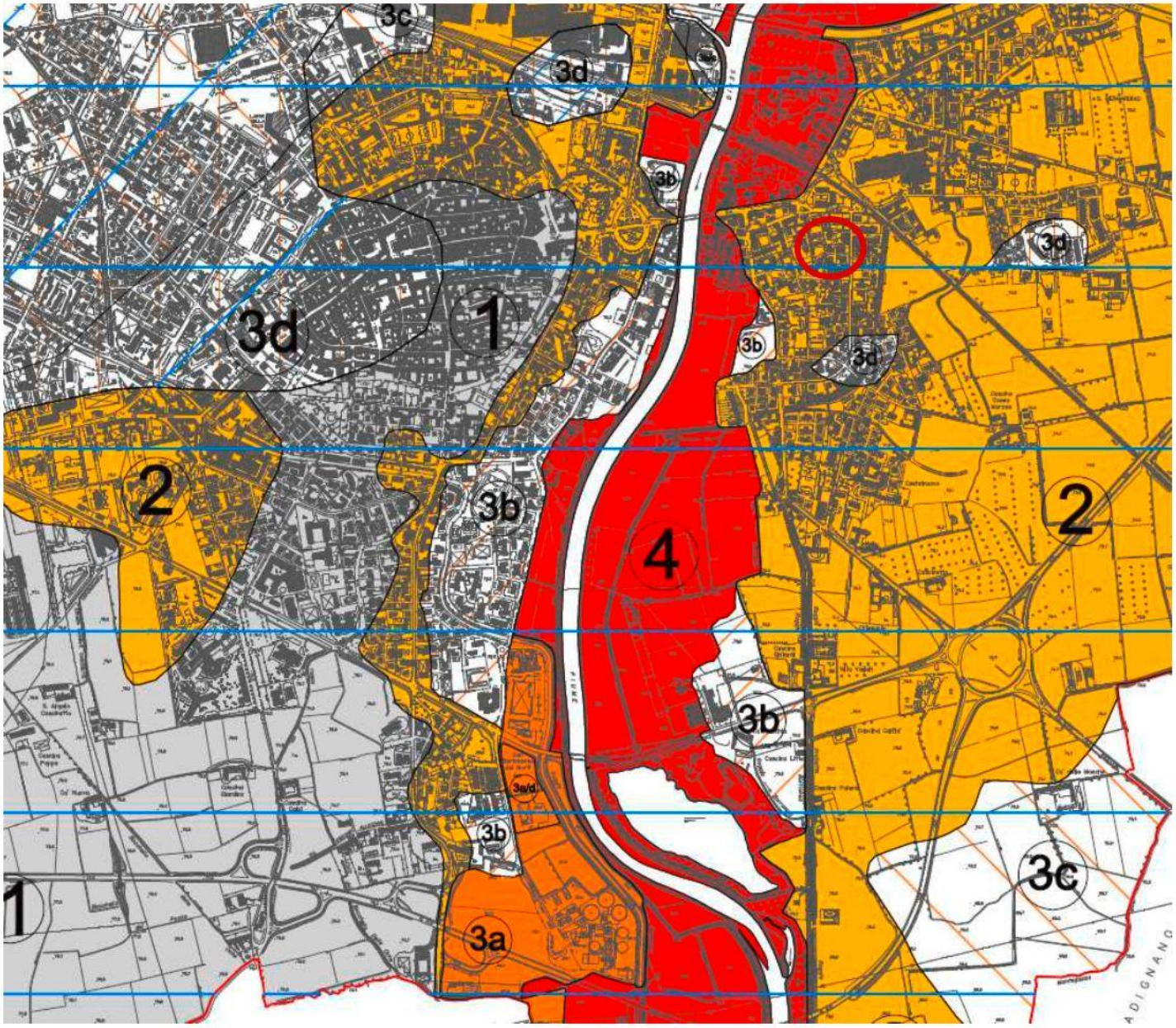
Carta dei vincoli (fonte PGT vigente)



PER L'AREA OGGETTO DI INTERVENTO NON SONO RILEVATI VINCOLI GEOLOGICI

Carta di FATTIBILITA' GEOLOGICA (fonte PGT vigente)





L'AREA OGGETTO DI INTERVENTO PRESENTA UNO SCENARIO SISMICO DI TIPO Z4 A.
PER L'AREA OGGETTO DI INTERVENTO È RILEVATA LA CLASSE DI FATTIBILITA' 3C CON CONSISTENTI LIMITAZIONI DI TIPO IDROGEOLOGICO .

L'intervento che prevede la messa in sicurezza di una porzione di edificio storico è fattibile sia dal punto di vista della vulnerabilità idrogeologica che della classe di fattibilità geologica.

Si sottolinea la presenza di falda acquifera a circa -1,10 m da p.c e sottosuolo con scadenti qualità geotecniche.

3. ANALISI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Per definire le caratteristiche geotecniche della porzione di area influenzata dalle fondazioni esistenti, si sono analizzzate n.2 prove penetrometriche dinamiche, eseguita il 29-10-2025 e che si è spinta alla profondità max di m 6,30 dal p.c.

La realizzazione delle prove ha rigorosamente seguito le indicazioni ed i criteri stabiliti dalle norme internazionali I.S.S.M.F.E. 1988 e le caratteristiche dello strumento utilizzato, che rispondono alla nuova categoria di standard europeo.

Durante il recupero delle aste è stata rilevata la presenza di falda acquifera a circa -1,10 m da piano campagna .

Si ritiene pertanto che la non falda rappresenti un elemento in grado di interferire direttamente con la zona interessata dall'imposta delle fondazioni per le opere di progetto.

Lo sviluppo del diagramma di avanzamento ha condotto infatti all'identificazione di differenti orizzonti caratterizzati da specifici valori geomeccanici e conseguenti diverse litologie che possono essere così riassunte:

SCPT 1

Profondità in metri	*Sedimenti*	*Resistenza penetrometrica media, Nscpt*
0.00 – 0.60	*Terreno agrario e di riporto ad addensamento basso di natura prevalentemente limosa*	*3 - 4*
0.60 - 2.40	*Limo sabbioso argilloso prevalente, a bassa consistenza e qualità geotecniche molto scarse*	*Da 2 a 3*
2.40 - 4.20	*strato prevalentemente argilloso torboso leggermente sabbioso a consistenza molto bassa e pessime qualità geotecniche .*	*da 1 a 2*
4.20 - 5.10	*Limo sabbioso argilloso prevalente, a bassa consistenza e qualità geotecniche molto scarse*	*Da 2 a 3*
5.10 - 6.30	*sabbia con ghiaietto ad addensamento medio alto.*	*da 9 a 11*

SCPT 2

Profondità in metri	*Sedimenti*	*Resistenza penetrometrica media, Nscpt*
0.00 – 0.60	*Terreno agrario e di riporto ad addensamento basso di natura prevalentemente limosa*	*3 - 4*
0.60 - 3.00	*strato prevalentemente argilloso torboso leggermente sabbioso a consistenza molto bassa e pessime qualità geotecniche .*	*da 1 a 2*
3.00 - 4.50	*Limo sabbioso argilloso prevalente, a bassa consistenza e qualità geotecniche molto scarse*	*Da 3 a 4*
4.50 - 6.30	*sabbia con ghiaietto ad addensamento medio alto.*	*da 10 a 12*

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL PRIMO SOTTOSUOLO:

STRATO DA QUOTA – 0,60 mt. A QUOTA – 2,40 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S1	1,85 t/m^3 0,85 t/m^3 imm 1,95 t/m^3 sat	20°	0,40 – 0,45 Kg/cmq	Modulo elastico long: 150kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 50 (indicativo)	K winkler = 2,40 kg/cm^3	Poisson=*0,35 (indicativo)*

STRATO DA QUOTA – 2,40 mt. A QUOTA – 4,20 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S1	1,90 t/m^3 0,90 t/m^3 imm 1,95 t/m^3 sat	9°	0,20 Kg/cmq	Modulo elastico long: 100kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 45 (indicativo)	K winkler = 2,05 kg/cm^3	Poisson=*0,38 (indicativo)*

pessime qualità geotecniche

STRATO DA QUOTA – 4,20 mt. A QUOTA – 5,10 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S1	1,85 t/m^3 0,85 t/m^3 imm 1,95 t/m^3 sat	20°	0,40 – 0,45 Kg/cmq	Modulo elastico long: 150kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 50 (indicativo)	K winkler = 2,40 kg/cm^3	Poisson=*0,35 (indicativo)*

STRATO DA QUOTA 5,10 mt. A QUOTA – 6,30 mt.:						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S1	1,75 t/m^3 0,75 t/m^3 imm 1,85 t/m^3 sat	29,0°	Terreni non coesivi	Modulo elastico long: 600 kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 80 (indicativo)	K winkler = 3,1 kg/cm^3	Poisson= *0,31 (indicativo)*

STRATO DA QUOTA – 0,60 mt. A QUOTA – 3,00 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S1	1,90 t/m^3 0,90 t/m^3 imm 1,95 t/m^3 sat	9°	0,20 Kg/cmq	Modulo elastico long: 100kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 45 (indicativo)	K winkler = 2,05 kg/cm^3	Poisson=*0,38 (indicativo)*

pessime qualità geotecniche

STRATO DA QUOTA – 3,00 mt. A QUOTA – 4,50 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S2	1,85 t/m^3 0,85 t/m^3 imm 1,95 t/m^3 sat	20°	0,40 – 0,45 Kg/cmq	Modulo elastico long: 150kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 50 (indicativo)	K winkler = 2,40 kg/cm^3	Poisson=*0,35 (indicativo)*

STRATO DA QUOTA 4,50 mt. A QUOTA – 6,30 mt.:						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	ϕ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	
S2	1,75 t/m^3 0,75 t/m^3 imm 1,85 t/m^3 sat	29,5°	Terreni non coesivi	Modulo elastico long: 600 kg/cm^2 (indicativo) Modulo Edometrico: 80 (indicativo)	K winkler = 3,1 kg/cm^3	Poisson= *0,31 (indicativo)*

4. VALUTAZIONE IPOTESI DI MIGLIORAMENTO AREA DI FONDAZIONE

E' in progetto la messa in sicurezza di una porzione di edificio esistente che presenta fenomeni di cedimento locali e presenza di crepe.

La natura di tale situazione può essere dovuta alla concomitanza di essenzialmente due criticità, la prima legata alla presenza di falda acquifera superficiale a circa -1,10 m da piano prova geognostica e la seconda dalle qualità geotecniche del primo sottosuolo che presenta valori di resistenza penetrometrica molto bassi e litologie prevalentemente argilloso limose forse con locali lenti torbose a consistenta molto bassa.

Questo tipo di suoli, sono suscettibili di fenomeni di cedimento ed in alcuni casi rigonfiamento.

In considerazione dell'opera di progetto e delle caratteristiche dei terreni indagati si consiglia un opera di "bonifica" o di miglioramento geotecnico .

Potranno essere valutate iniezioni cementizie o altri metodi di miglioramento dei parametri geotecnici del primo sottosuolo come pali o micropali.

La scelta definitiva non spetta allo scrivante ma al progettista strutturale che potrà valutare la migliore soluzione in funzione dei carichi al piede dell'edificio.

In fase di scavo dovranno essere valutati direttamente i fronti della trincea per una migliore comprensione dei terreni e delle litologie affioranti in corrispondenza delle quote di fondazione esistenti.

5. COMPATIBILITA' CON I CORPI IDRICI

Per quanto concerne il rapporto con i corpi idrici si sono presi in considerazione due elementi:
a) interferenza con le acque superficiali
b) interferenza con le acque sotterranee
Nel primo caso, nell'immediato ambito della zona di prevista costruzione è stato individuato un reticolo idrico minore legato alla presenza di un canale irriguo regimato artificialmente. In ogni caso non si sono mai verificate problematiche legate a esondazioni procurate da tale situazione; si escludono inoltre pericoli di infiltrazioni laterali. Nel secondo caso, dall'analisi di precedenti indagini, confermate dalle attuali si è constatata la presenza di di falda freatica a profondità di circa – 1,10 m dal piano prova .
La quota di imposta delle fondazioni è da verificare in quanto l'edificio esistente è molto antico ed evidenzia fenomeni di cedimento e crepe importatnti. Necessita pertanto una messa in sicurezza che verrà valutata dal progettista strutturale.
Con riferimento al periodo di esecuzione delle indagini si ritiene che quanto rilevato possa riferirsi ad un livello prossimo alla minima soggiacenza. Si precisa inoltre che l'area è posta in zona esterna alla fascia C del P.A.I.

6. LIQUEFACIBILITA' DELLE SABBIE

Questo tipo di analisi rappresenta una fase peculiare delle indagini in zona sismica in seguito alla notevole importanza ai fini della stabilità statica dell'edificio. Per una verifica della suscettibilità alla liquefazione esistono vari metodi che sono concordi nell'ammettere la possibilità di liquefazione solo nei livelli che presentino le seguenti caratteristiche:

- *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1 g*
- *siano costituiti da sabbie o sabbie limose;*
- *profondità media stagionale della falda inferiore a 15 m dal piano campagna, per p.c.c sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica < 30 $(N_1)_{60}$ normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa.*
- ***distribuzione del fuso granulometrico delle sabbie compreso tra 0.01 mm e 1 mm. (presupposto assente)***

Secondo la normativa vigente la verifica può essere omessa quando non si manifesti almeno una delle condizioni sopra esposte.

L'analisi effettuata sui dati di campagna prendendo in considerazione la prove eseguite nell'area di intervento rileva l'assenza di livelli potenzialmente liquefacibili per l' assenza di un fuso granulometrico liquefacibile in quanto la litologia prevalente è caratterizzata da limi argillosi talora torbosi da natura coesiva .

Tale aspetto pregiudica l'applicazione di metodi analitici che eventualmente si possono applicare sui dati forniti dalle prove geognostiche dinamiche come ad esempio il

Metodo Seed-Idriss

che considera un parametro chiamato "*domanda di resistenza ciclica indotta dal sima CSR"* e parallelamente in relazione a procedure basate su prove CPT (o eventualmente SPT) e/o sulla velocità delle onde di taglio (Vs) che stima la *"capacità di resistenza del terreno alla liquefazione-CRR"*.

Dal rapporto fra questi parametri si ottiene un valore numerico del potenziale di liquefazione tramite il coefficiente di sicurezza FS_L:

$$Fs_L = \frac{CRR}{CSR} \times \mathrm{MSF}$$

ove MSF = *fattore di scala in funzione della magnitudo attesa*

Ottenuto il valore del coefficiente di sicurezza F_{SL} allo stesso si possono attribuire i seguenti significati:

- F_{SL}>1 ***si possono escludere fenomeni di liquefazione***
- F_{SL}<1 ***è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione***.

Relazione per il calcolo di FI:

$$\mathbf{FSL} = \frac{\mathbf{tl/s'o}}{\mathbf{rd/s'o}} = \frac{\mathbf{0{,}26 * (0.16 * Na\text{^}0.5 + (0.21\ Na\text{^}0.5)\text{^}14)}}{\mathbf{0{,}65 * A/g * so/s'o * (1 - 0.01z)}}$$

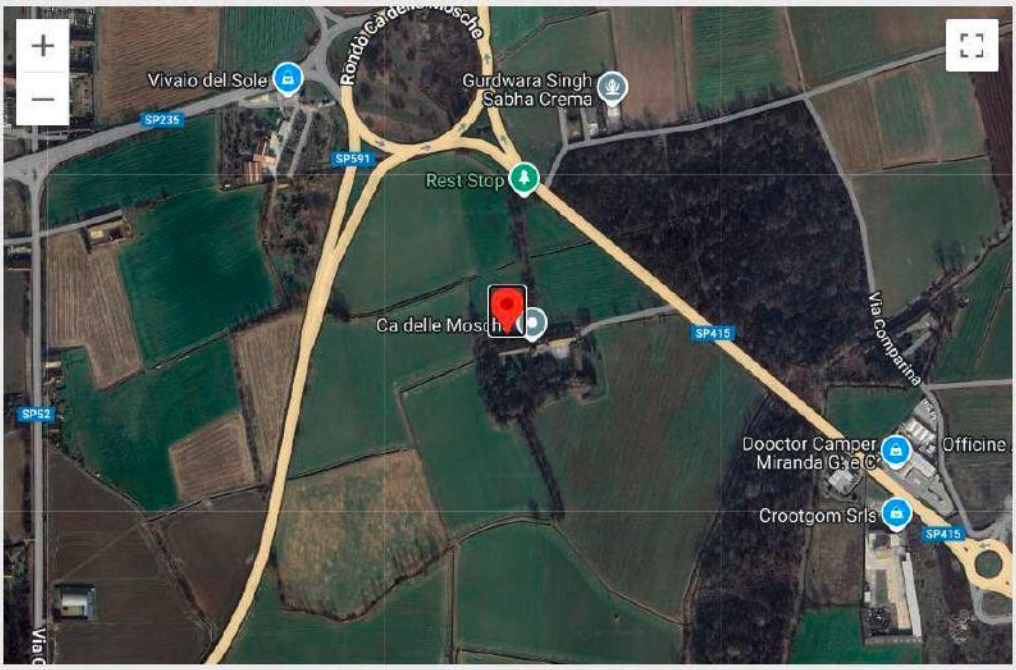
In condizioni di fuso granulometrico non liquefacibile la formula determina sempre valori molto superiori a 1

Da tale disamina si evince che i terreni esaminati, presentano coefficiente di sicurezza alla liquefazione sempre F_{SL}>1 e grado di probabilità potenziale complessivamente sempre molto basso, quindi liquefazione non possibile o non probabile.

Si ricorda comunque, in ogni caso che anche se eventualmente si verifica un fenomeno di liquefazione, non necessariamente produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture interagenti con il terreno.

Via Cremona, 102, 26013 Crema CR, Italia

CERCA



CALCOLO DEI **PARAMETRI SISMICI**

02. INSERIRE PARAMETRI:

VITA NOMINALE: 50 (anni)

CLASSE DI UTILIZZO: Classe II

VITA DI RIFERIMENTO: 50

SPETTRO: SLV 10%

PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO: 10 %

PERIODO DI RITORNO: 475 (anni)

LATITUDINE: 45.35030

LONGITUDINE: 9.70841

RISULTATI:

AG/G:	F0:	TC:
0.0892	2.52	0.29

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il terreno di fondazione su cui si interverrà presenta caratteri tipici della sedimentazione fluvio glaciale recente che porta ad avere alternanze di livelli variamente addensati e dalle caratteristiche granulometriche variabili.
Sulla base delle analisi e dei dati in nostro possesso possiamo pertanto stabilire:

a) l'intervento dal punto di vista geologico tecnico è fattibile in quanto andrà a migliorare la situazione esistente.
b) condizione indispensabile: la fondazione deve essere imposta su terreno naturale, non rimaneggiato.
c) in presenza di materiali non idonei dovrà essere prevista la loro asportazione e sostituzione con inerte di idonea granulometria opportunamente costipato.
d) I terreni indagati mostrano scadenti qualità geotecniche nello strato superficiale fino a circa -3,0 m di profondità .
e) In fase di scavo dovranno essere valutati direttamente i fronti della trincea per una migliore comprensione dei terreni e delle litologie affioranti in corrispondenza delle quote di fondazione definitive.
f) Potranno essere valutate iniezioni cementizie o altri metodi di miglioramento dei parametri geotecnici del primo sottosuolo come pali o micropali.
g) La scelta definitiva non spetta allo scrivante ma al progettista strutturale che potrà valutare la migliore soluzione in funzione dei carichi al piede dell'edificio.
h) Alla luce dell'indagine eseguita è possibile far rientrare l'area indagata nella **categoria di suolo di fondazione tipo C, (vedasi relazione geogisica allegata).**

dott. geol. Mattia Lucchi

novembre 2025

ALLEGATI:

- Corografia, scala 1:10.000
- Estratto di mappa ed ubicazione indagini geognostiche
- N. 2 Prove penetrometriche SCPT
- Caratteristiche del penetrometro
- Relazione Sismica - Geofisica

COMUNE DI CREMA

Provincia di Cremona

MESSA IN SICUREZZA DI PORZIONE DI EDIFICIO

LOCALITA' CA' DELLE MOSCHE

COMMITTENTI:

RELAZIONE E INDAGINE GEOFISICA PER LA DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO (R3)

NOVEMBRE 2025
dott. geologo Mattia Lucchi

Premessa

Nel mese di aprile 2021, è stata effettuata una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) presso un'area in via Cremona in comune di Crema (CR). Tale indagine posta a circa 1000 m nord -est dell'area di intervento di Ca delle Mosche viene utilizzata come riferimento geofisico.

La prova è stata ubicata come indicato dalla committenza e visualizzato nelle schede allegate a fine testo.



Fig.1 Ubicazione area di indagine

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (Vs) del sottosuolo e la valutazione del parametro $Vs_{,eq}$ come prescritto da:

- ***Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003***
- ***D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".***
- ***Successiva Circolare Ministeriale n°7 del 21/01/2019 recante Istruzioni per l'applicazione.***

Si ricorda che la normativa (par. 3.2.2 NTC18) richiede l'effetto della risposta sismica locale valutata mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. dell'NTC18.

All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore ag dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 3.2.II) è invece convenzionalmente eseguita sulla base delle condizioni stratigrafiche e della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N numero di strati;
- H per depositi con profondità H del substrato (vs > 800 m/sec) superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30 ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 del- le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 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.

Caratteristiche attrezzatura

L'indagine MASW è stata eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della Abem-Seistronix **mod. Ras 24** con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali),

sismografo (ch 1-24)

Le specifiche tecniche dello strumento sono:



-processore: Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati: Floating Point 48-Bit,
-Ambiente operativo: Windows 7 32 bit,
-Display: VGA colori LCD_TFT 15"
-Supporto memorizz.: Hard Disk
-Risoluzione acquisizione: 12/48 bit
-Sonde ambiente interne: temperatura, umidità relativa
-Formato dati: SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni: Rifrazione, 32÷4000 ms
-Tempi campionamento: da 12 μs a 4 ms
-Filtri digitali: Passa alto (25÷400 Hz)
Passa Basso (100÷250 Hz)
Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri: in acquisizione o manualmente
-Trigger: inibizione impulsi dovuti a rimbalzi
- Canali: 24/48 (max 240)

Altra strumentazione

- un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni
- 24 geofoni da 4,5 Hz
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

Indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto (Vs_{30}). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).
La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.
Diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica (>2,5-3) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è Importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva.
Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".



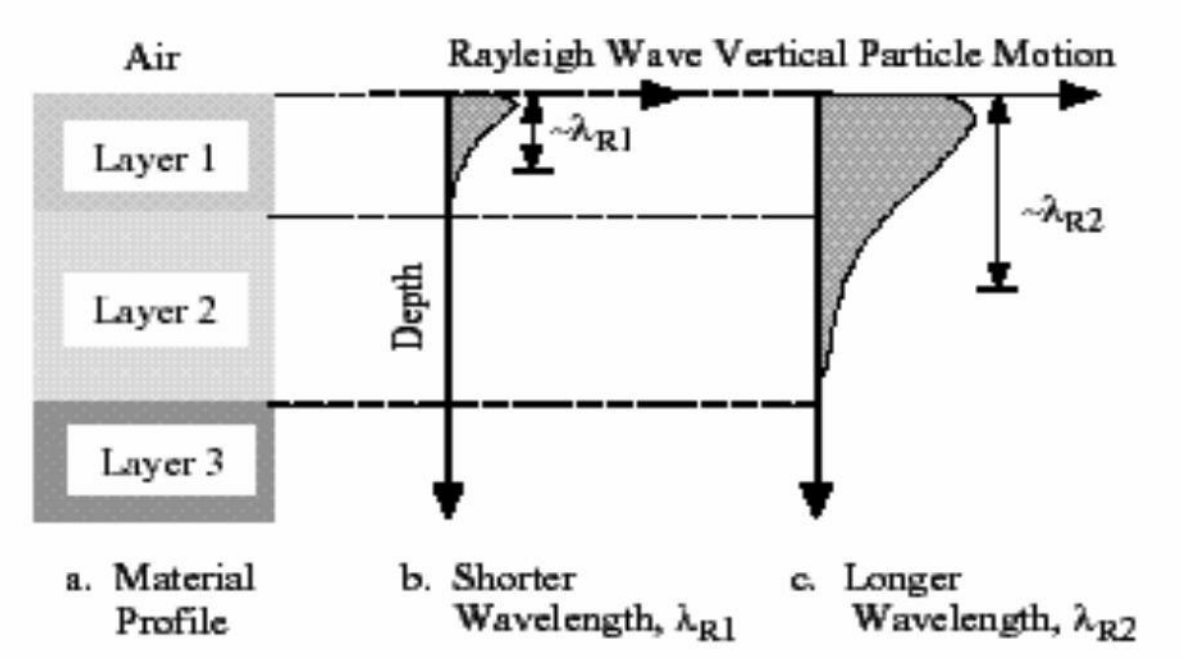
Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la geometria come indicato:

- **Numero geofoni** **24**
- **Distanza Intergeofonica** **1,5 m**
- **Lunghezza stendimento geofonico** **34,5 m**
- **Distanza punto di shot da primo geofono "offset"** **10 m**
- **Lunghezza complessiva** **44,5 m**

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz. Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi).Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquest oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato.
Al contrario un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).
La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della Vs assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè:

$$z = \frac{\lambda}{1.5/2.0}$$

Dalle tecniche di analisi-interpretazione (analisi spettrale), mediante utilizzo del software (***SWAN®*** vers. 2008) in seguito descritta più in dettaglio, dal grafico *"Experimental Dispersion Curve"* (nel dominio Frequenza-Velocità) è possibile ottenere la lunghezza d'onda delle onde di Rayleigh, caratteristiche dell'indagine eseguita, quindi per il sito in esame risultando una □≈75 m, in base alla formulazione sopra indicata se ne può dedurre una profondità di investigazione pari a circa 50/37 m

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi-stazioni, che risultano robusti ed efficienti (*Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005*) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (*Prova Sasw - Stoke et al., 1994*).
Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.
L'onda di Rayleigh. costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S

risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0{,}9 \div 0{,}96$ Vs (*da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO*)

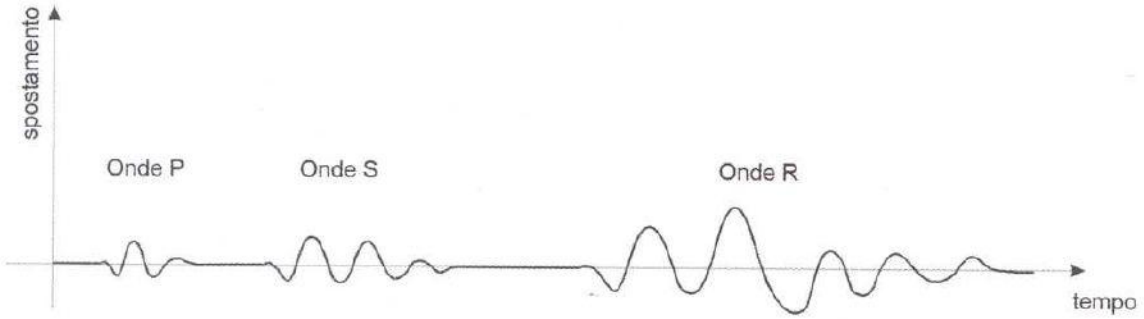
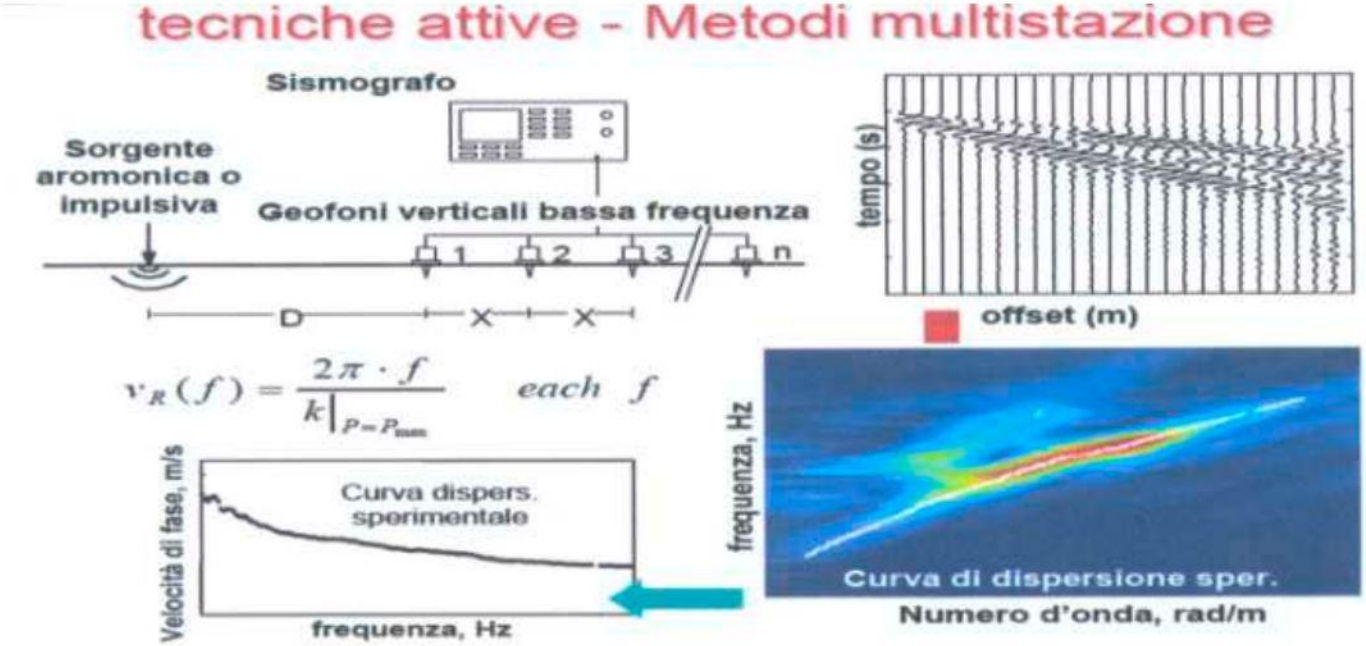


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).
La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.
Il profilo di Vs viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).
In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato. Nella figura sotto esposta (*da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO*) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

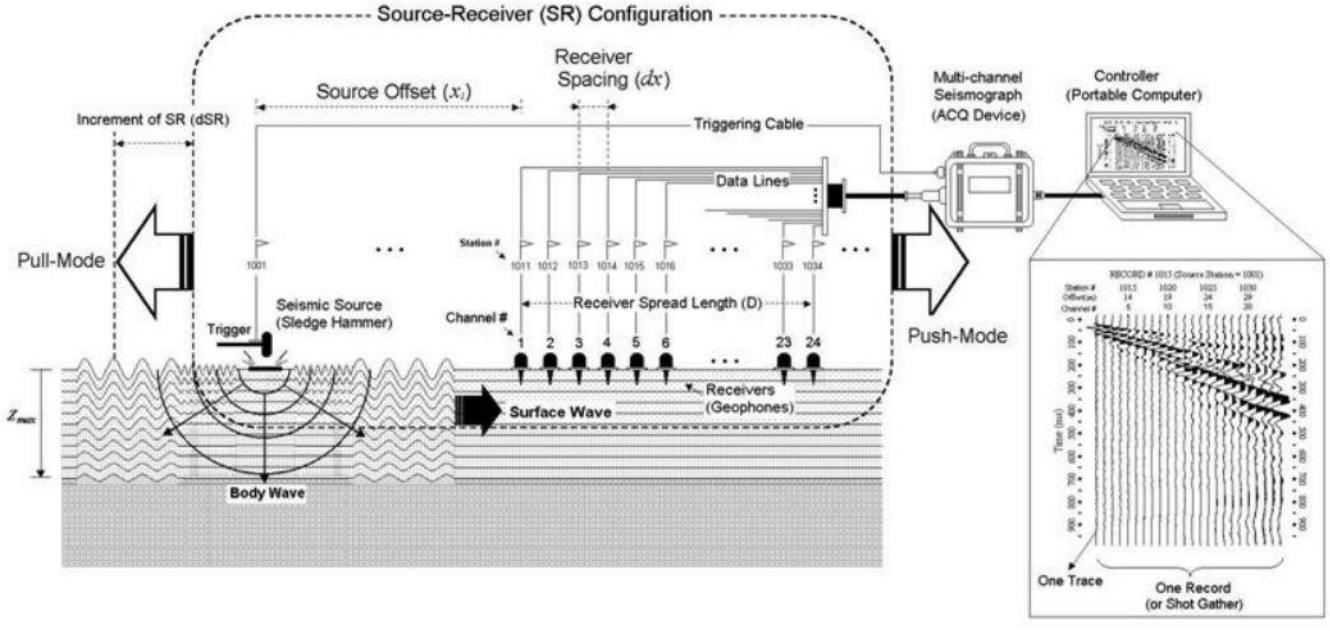


Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.
I calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici ***V(fase)/f(frequenza)***, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili **Vs** / **profondità**.

Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW, prendono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).
A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.
La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spaziati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).
Le tracce dei sismogrammi possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f)=f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.
Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (***SWAN®*** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ε (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere < 2-3%. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ε_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

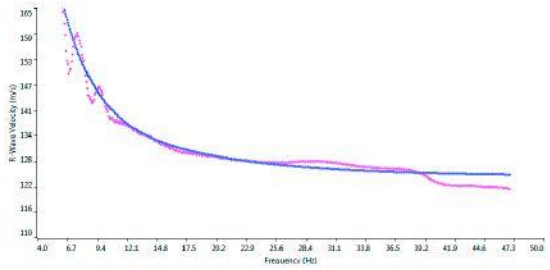
L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste *"cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame."*).
Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.

- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.

- E' fuorviante e non corretto attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del ±10%, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando *0,9 le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Macth fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

-



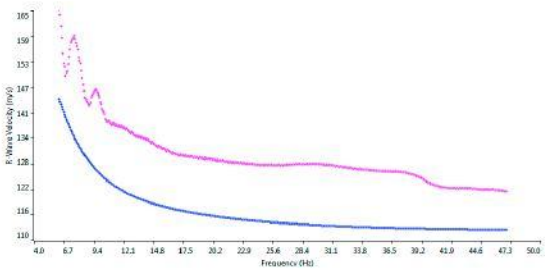


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve	Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello **NON ACCETTABILE**

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e V_{S30}≈190 m/sec (grafico a sinistra) e V_{S30}≈170 m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esameVs_{30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da DM 17/01/2018) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.,) e con le prove penetrometriche eseguite in sito.

i valori della velocità media delle onde di taglio Vs risultano pertanto:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato: da 0,0 a 0,60 m	**spessore medio 0,60 m**	**velocità media onde Vs 120 m/sec**
2° strato: da 0,60 a 2,00 m	**spessore medio 1,40 m**	**velocità media onde Vs 205 m/sec**
3° strato: da 2,00 a 4,70 m	**spessore medio 2,70 m**	**velocità media onde Vs 225 m/sec**
4° strato: da 4,70 a 6,30 m	**spessore medio 1,60 m**	**velocità media onde Vs 310 m/sec**
5° strato: da 6,30 a 15,15 m	**spessore medio 8,85 m**	**velocità media onde Vs 385 m/sec**
6° strato: da 15,15 a 20,70 m	**spessore medio 5,55 m**	**velocità media onde Vs 415 m/sec**
7° strato: da 20,70 a ≥30,00 m	**spessore medio ≥9,30 m**	**velocità media onde Vs 535 m/sec**

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20/03/2003 e art. 3.2.2 DM 17/01/2018), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs_{30}, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove

hi = spessore dello strato i-esimo
V_{Si} = velocità onde S nello stato i-esimo
N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW V_{s30}= **363** m/sec (da p.c. a -30 m)

Da cui si presume che, in base alla misura delle onde di taglio Vs_{30}, il terreno corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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.)

In considerazione della AG max attesa e della vicinanza della soglia tra categoria B e C si prescrive di utilizzare una categoria di suolo di tipo C in favore di sicurezza.

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC2018, "Per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle Vs è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

IL COMUNE DI CREMA SECONDO L'ORDINANZA PCM DEL 20/03/03 N. 3274 ALL 1, E SUCCESSIVA D.G.R. DEL 14/07/2014 N. X/2129 È COLLOCATO IN ZONA DI RISCHIO SISMOLOGICO 3 CON AG MAX ATTESA PARI A 0,100821.

Amplificazione topografica

Condizioni topografiche Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche, e Caratteristiche della superficie topografica :

T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media < o uguale 15°
T2 Pendii con inclinazione media i > 15°
T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° < i < o uguale a 30°
T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione
delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Il valore assegnato di amplificazione topografica è T1 = 1,0

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* ST

Categoria topografica Ubicazione dell'opera o dell'intervento ST
T1 - 1,0
T2 In corrispondenza della sommità del pendio : 1,2
T3 In corrispondenza della cresta del rilievo , pendenza< o uguale a 30° : 1,2
T4 In corrispondenza della cresta del rilievo pendenza media >30° : 1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario.

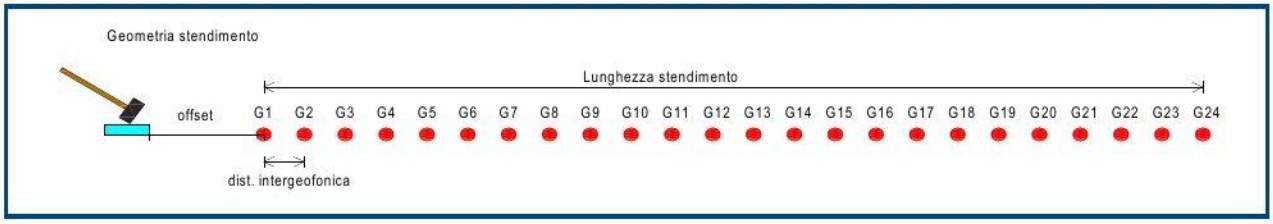
GEOLOGO
DOTT. MATTIA LUCCHI
novembre 2025

Allegati

Scheda prospezione sismica di superficie metodologia MASW

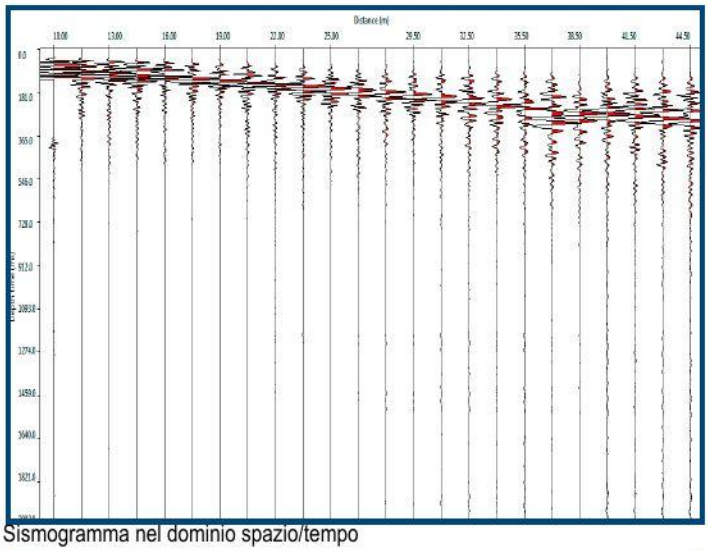
Ubicazione indagine



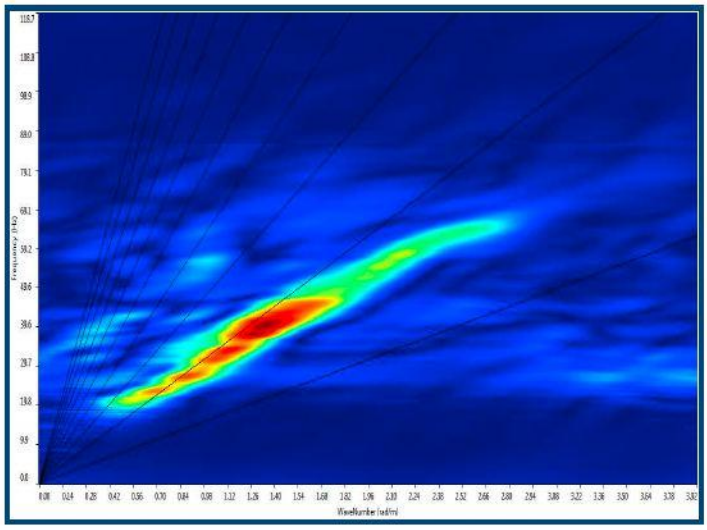


Tipologia indagine	Numero geofoni	Interdistanza geofonica m	Lunghezza stendimento m	Offset m	Lunghezza complessiva m	Ubicazione centro indagine
MASW	24	1,5	34,5	10	44,5	Lat. N 45,358308 Long. E 09,699317

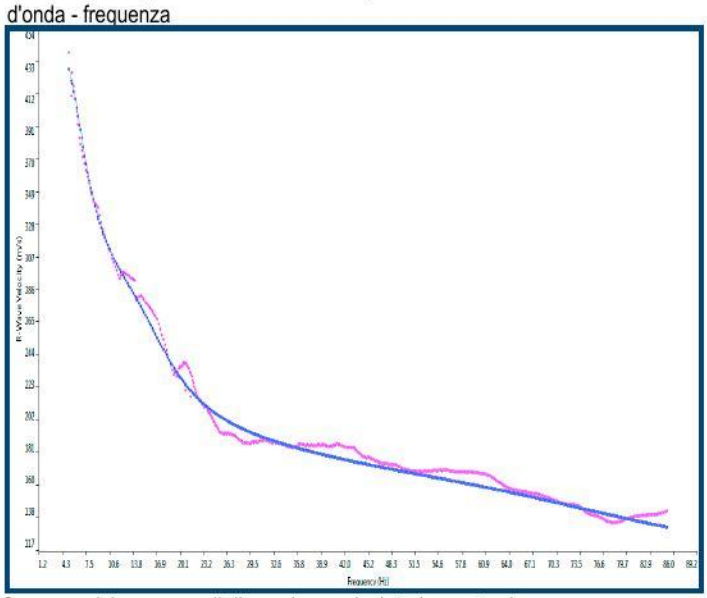
Scheda Indagine Masw



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

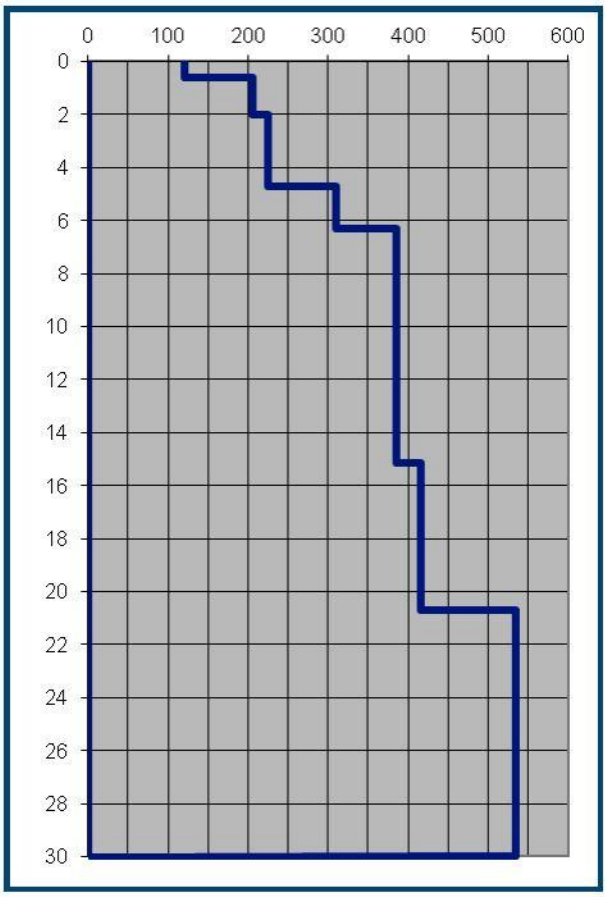


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MASW

Strato	profondità		Spessore	Vel.
	da	a	m	m/sec
Strato1	0.00	0.60	0.60	**120**
Strato2	0.60	2.00	1.40	**205**
Strato3	2.00	4.70	2.70	**225**
Strato4	4.70	6.30	1.60	**310**
Strato5	6.30	15.15	8.85	**385**
Strato6	15.15	20.70	5.55	**415**
Strato7	20.70	≥30.00	≥9.30	**535**

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{Vs_i}}$$

Dove:
hi = spessore dello strato i-esimo
$\mathbf{V_{Si}}$ = velocità onde S nello stato i-esimo
N = numero strati considerati

Vs_{30} da p.c. a –30 m **= 363 m/sec**

COMUNE DI CREMA

Provincia di Cremona

MESSA IN SICUREZZA DI PORZIONE DI EDIFICIO

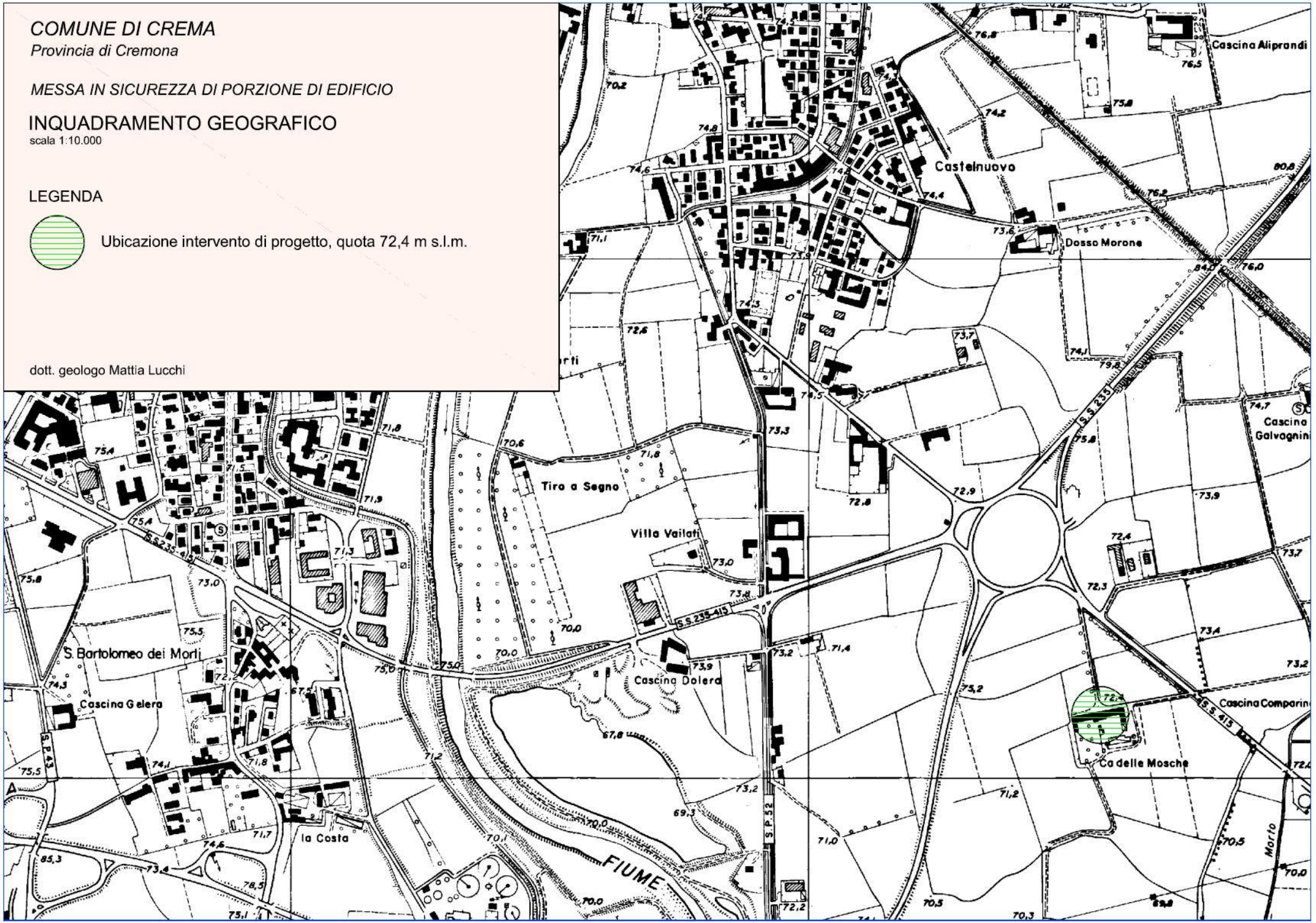
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

scala 1:10.000

LEGENDA

Ubicazione intervento di progetto, quota 72,4 m s.l.m.

dott. geologo Mattia Lucchi



COMUNE DI CREMA (CR)

LOCALITA’ CA’ DELLE MOSCHE

ESTRATTO DI FOTO AEREA ED UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

UBICAZIONE PROVA PENETROMETRICA SCPT DEL 29/10/2025

MESSA IN SICUREZZA DI PORZIONE DI EDIFICIO



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': CREMA - CA' DELLE MOSCHE

Data: 29/10/2025

Dati del Penetrometro:
DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)
H = altezza di caduta (cm)
A = Angolo d'apertura del cono (°)
D = Diametro di base del cono (mm)
Wa = peso delle aste (Kg/m)
Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità della falda = 1,1 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

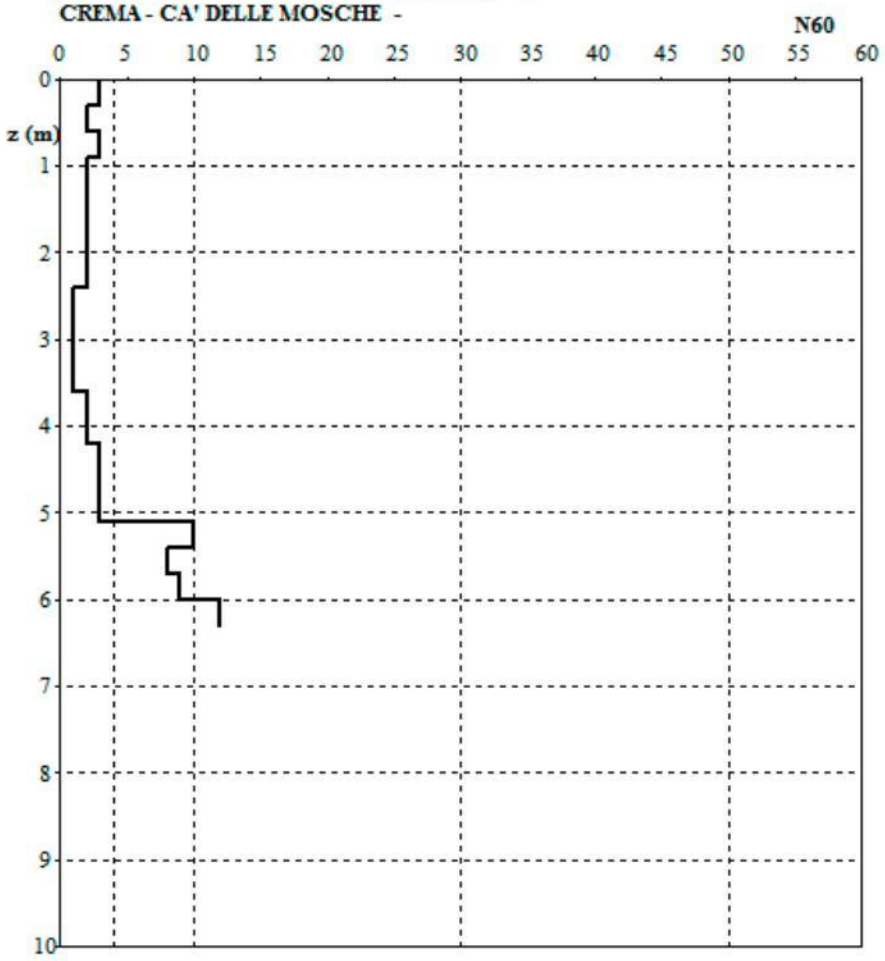
VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	4	3	6
0,6	3	2	4
0,9	4	3	6
1,2	3	2	4
1,5	3	2	4
1,8	2	2	4
2,1	2	2	4
2,4	2	2	4
2,7	1	1	2
3,0	1	1	2
3,3	1	1	2
3,6	1	1	2
3,9	2	2	3
4,2	2	2	3
4,5	3	3	5
4,8	4	3	5
5,1	4	3	5
5,4	12	10	15
5,7	9	8	12
6,0	10	9	13
6,3	13	12	16

z = profondità
N = numero colpi originale
N60 = numero colpi standardizzato
Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 1

CREMA - CA' DELLE MOSCHE -




PAGANI

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': CREMA - CA' DELLE MOSCHE

Data: 29/10/2025

Dati del Penetrometro:
DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)
H = altezza di caduta (cm)
A = Angolo d'apertura del cono (°)
D = Diametro di base del cono (mm)
Wa = peso delle aste (Kg/m)
Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità della falda = 1,1 m.

PROVA PENETROMETRICA n. **2**

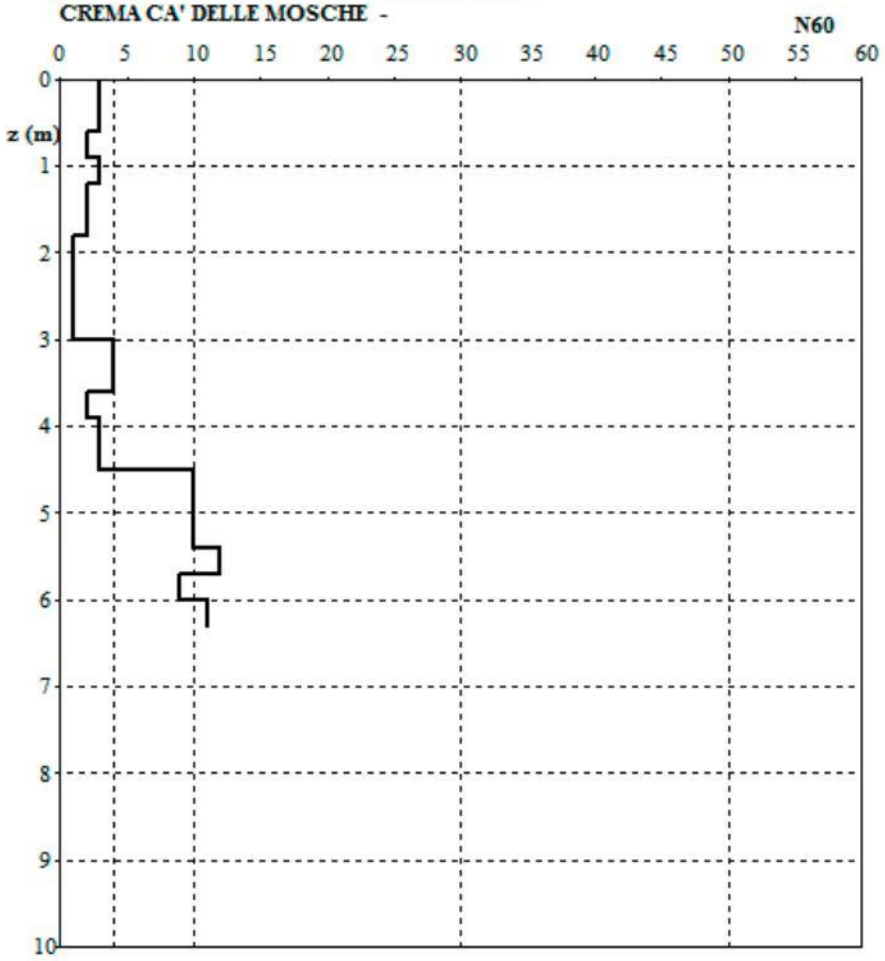
VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	4	3	6
0,6	4	3	6
0,9	2	2	4
1,2	4	3	6
1,5	2	2	4
1,8	2	2	4
2,1	1	1	2
2,4	1	1	2
2,7	1	1	2
3,0	1	1	2
3,3	5	4	7
3,6	5	4	7
3,9	3	2	3
4,2	4	3	5
4,5	4	3	5
4,8	12	10	15
5,1	12	10	15
5,4	12	10	15
5,7	14	12	17
6,0	10	9	12
6,3	12	11	15

z = profondità
N = numero colpi originale
N60 = numero colpi standardizzato
Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 2

CREMA CA' DELLE MOSCHE -




PAGANI