

# COMUNE DI CASTREZZATO

Provincia di Brescia

## INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA RELATIVA ALLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DI INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA ELEMENTARE "AI CADUTI" DI VIA MARCONI

### RELAZIONE GEOLOGICA

Ai sensi del  
D.M. 14/01/2008  
D.G.R. 2616/2011

### RELAZIONE GEOTECNICA

Ai sensi del  
D.M. 14/01/2008

### RELAZIONE SISMICA

ai sensi del  
D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129

COMMITTENTE: **COMUNE DI CASTREZZATO**

**GEOLOGO:** **DOTT. GUIDO TORRESANI**  
O.G.L. N° 1141

**DATA: 15 febbraio 2017**

***Studio di Geologia dott. GUIDO TORRESANI***

**25034 – ORZINUOVI (BS) - Via Giordano Bruno, 44**

**tel/fax 030 944193**

**GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI**

## **SOMMARIO**

- Premessa;
- Inquadramento geologico e natura litologica dei terreni di fondazione;
- Sismicità dell'area
- Definizione dell'azione sismica – Stima della pericolosità sismica
- Indagini geognostiche
- Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica
  - Determinazione delle resistenze
- Calcolo dei cedimenti
- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione
- Verifica della fattibilità geologica dell'intervento in riferimento ai criteri indicati nella D.G.R. 2616/2011
- Conclusioni

## **ALLEGATI**

- Inquadramento corografico (CTR scala 1: 10.000);
- Planimetria dell'area di intervento con ubicazione delle prove eseguite;
- Tabelle e diagrammi di interpretazione dei dati penetrometrici;
- Risultati prova MASW;
- Asseverazione relazione geologica – MODULO 9
- Asseverazione relazione geotecnica – MODULO 10

## PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica ha lo scopo di caratterizzare da un punto di vista geomeccanico, litostratigrafico, idrogeologico e sismico l'area della scuola elementare denominata "ai Caduti" sita in Via Marconi nel Comune di Castrezzato (BS), interessata da un progetto di adeguamento sismico.

L'indagine è stata programmata ed esperita sulla base della normativa ministeriale oggetto del D.M. 14.01.2008 concernente le "Norme tecniche sulle costruzioni". Tale caratterizzazione è importante non solo per una corretta scelta e dimensionamento delle strutture di fondazione, ma anche perchè a seguito di detto D.M. è necessario verificare i parametri sismici della zona.

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di Castrezzato è stato classificato come ZONA 3**. In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 e sulla base della litostratigrafia rilevata e della prova MASW eseguita sull'area, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del **suolo di fondazione di "tipo B"**. **Il profilo stratigrafico del suolo di tipo "B" deriva dall'analisi sismica masw appositamente eseguita all'interno dell'area in esame. Dall'approfondimento sismico di II livello condotto nel PGT comunale (redatto dal sottoscritto professionista) risulta inoltre che per i terreni in esame (classificati come "Z4a" nel 1° livello) il fattore di amplificazione Fa è inferiore al valore di soglia regionale.**

E' necessario quindi prevede in sede di indagine geologico-tecnica la verifica di alcuni elementi e fattori che influenzano il comportamento delle fondazioni; tra questi la **litologia** dei terreni di substrato, la **profondità del piano di imposta**, il **carico allo stato limite ultimo**, la **suscettibilità alla liquefazione** dei terreni di fondazione, i possibili **cedimenti** e il **livello della falda acquifera**.

L'indagine ha inoltre lo scopo di verificare la fattibilità geologica dell'intervento in riferimento ai criteri indicati nella **D.G.R. 2616/2011** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT".

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto per la caratterizzazione geologica dell'area e l'esecuzione di **n. 2 prove penetrometriche dinamiche (prove P1 e P2)**. Con tali prove si è potuto verificare il comportamento geomeccanico del sottosuolo di fondazione delle opere in progetto. Non sono stati eseguiti scavi esplorativi, ma è stato fatto riferimento a stratigrafie di scavi eseguiti presso l'adiacente scuola media, che possono ritenersi significativamente paragonabili; tutto il polo scolastico di Castrezzato presenta una notevole uniformità litostratigrafica.

Per la caratterizzazione sismica dell'area e per la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione ai sensi dell' O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 è stata realizzata **n.1 prova sismica MASW**.

Considerata l'omogeneità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni presenti nell'ambito della zona indagata e tenuto in considerazione l'estensione della superficie da indagare, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare i terreni in oggetto. Tale scelta è avvalorata dalla conoscenza delle

aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

**Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO CAMPAGNA su cui è stata eseguita l'indagine.**

Lo studio è stato condotto in osservanza alle seguenti normative vigenti:

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008**
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**  
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**  
Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- **Eurocodice 8 (1998)**
- **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**  
Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)**  
Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)**  
Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI
- **D.G.R. n. 2616/11** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT".
- **D.G.R. n. 2129/14 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia**
- **LR 33/15** Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche. Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- **D.G.R. n. 5001/16** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE**

L'area oggetto della presente indagine è ubicata nel settore Est del centro abitato del Comune di Castrezzato (come evidenziato nell'allegato aerofotogrammetrico CTR scala 1: 10.000).

L'area si presenta come una superficie planare ad una quota di 129 metri s.l.m.

Dal punto di vista morfologico questa zona appartiene all'unità definita "Livello Fondamentale della Pianura" ovvero "Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)".

Una descrizione geologica a carattere generale dei terreni prossimi all'area di intervento ha poco significato in un'indagine di dettaglio come la presente e pertanto viene tralasciata.

Sulla base delle conoscenze dei terreni della zona e delle 2 prove penetrometriche eseguite, è stata osservata una **molto buona uniformità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni di fondazione.**

**In particolare le prove eseguite hanno mostrato valori di resistenza alla penetrazione dello strumento molto uniformi.**

La natura del terreno, dedotta indirettamente dalle prove penetrometriche e direttamente da alcuni scavi esplorativi eseguiti nelle vicinanze, mostra una successione litostratigrafica che può essere schematizzata come di seguito riportato:

da 0,0 a 1,2	sabbie limose
oltre 1,2	sabbie e ghiaie costipate

**falda assente entro le profondità indagate; dalle conoscenze locali la falda superficiale presenta un livello statico di circa 10 m dal p.c. con escursioni verticali stagionali poco significative.**

La natura eterometrica dei terreni di substrato dell'intera area indagata rispecchia la litologia delle alluvioni fluvioglaciali wurmiane che affiorano in maniera continua in questo tratto della bassa pianura bresciana. Come riscontrato in sito la composizione della sopra citata "unità litostratigrafica" presenta uno spettro granulometrico esteso dalle ghiaie ai limi; tale eterogeneità è la causa delle sensibili e locali variazioni della capacità portante del terreno (diverso grado di costipazione delle litologie).

**I valori di resistenza alla punta ottenuti valutando le prove eseguite supportati dalle conoscenze litostratigrafiche locali, portano a ritenere l'intera area indagata MOLTO OMOGENEA da un punto di vista litostratigrafico e geomeccanico e costituita da litologie sabbioso-limose moderatamente costipate nella litozona superficiale (orizzonte A) e da litologie sabbioso-ghiaiose costipate (orizzonte B) oltre la profondità di circa 1,2 m dal p.c..**

## **PIANO DI IMPOSTA E TIPO DI FONDAZIONE**

Dall'analisi delle prove penetrometriche è possibile osservare come nell'orizzonte superficiale costituito da sabbie limose (orizzonte A), la resistenza alla penetrazione si mantenga su valori modesti (Nscpt medio = 4-5 colpi/piede) fino ad una profondità di circa 1,2 m dal p.c. (0 RIF.). A partire da tale profondità e fino ad almeno 5-6 m dal p.c., si rinviene un orizzonte ghiaioso-sabbioso (orizzonte B) costipato (Nscpt medio >15 colpi/piede) contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche.

L'omogeneità litostratigrafica offerta dai terreni della zona, consente di ritenere geomeccanicamente molto uniforme l'intera superficie indagata, permettendo quindi di ipotizzare una uniforme distribuzione dei carichi strutturali e di progetto, limitando il pericolo di cedimenti differenziali.

**Valutate pertanto le caratteristiche, geomeccaniche, litologiche ed idrogeologiche dei terreni indagati, in relazione alle tipologie strutturali previste, si è proceduto ad utilizzare nei calcoli della capacità portante delle fondazioni superficiali tipo PLINTI impostati ad una profondità  $\geq 1,2$  m dal p.c. (ipotesi A), direttamente sull'orizzonte litologico B costituito da terreni sabbioso-ghiaiosi costipati.**

Nel caso specifico saranno verificate le seguenti tipologie di fondazioni:

- **PLINTI** aventi dimensione di 2,5 m x 2,5 m impostati ad una profondità  $\geq 1,2$  m dal p.c., all'interno dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso costipato (orizzonte B).

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area di studio sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT (prove P1 e P2);
- n.1 prova sismica MASW

L'ubicazione delle indagini effettuate viene riportata nella planimetria allegata.

Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO CAMPAGNA su cui sono state eseguite le indagini.

### **Prove penetrometriche dinamiche (SCPT): P1 e P2**

Per le modalità esecutive delle prove penetrometriche dinamiche ci si è attenuti a quanto specificato nelle "Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" a cura della Associazione Geotecnica Italiana 1977.

Le prove dinamiche (SCPT) consistono nell'infiiggere nel terreno una punta conica di dimensioni standard utilizzando una massa battente che esercita una energia costante; l'infissione avviene per tratti consecutivi di 30 cm. Su tale spessore costante vengono misurati il numero di colpi necessari alla penetrazione della punta.

Le caratteristiche del penetrometro dinamico utilizzato rispondono alla nuova categoria di standard europeo D.P.S.H. (Dynamic Probing Super Heavy) che presenta le seguenti specifiche tecniche:

- Passo di lettura	30 cm.
- Peso massa battente (Maglio)	M = 73 Kg
- Altezza di caduta libera del maglio	H = 0,75 m
- Area della punta	20 cm <sup>2</sup>
- Angolo al vertice della punta	90°
- Peso delle aste:(peso/m)	Ma = 6 Kg/m
- Massa passiva	4,2 Kg

I parametri geotecnici vengono ricavati dalle correlazioni proposte in letteratura in funzione dei valori di  $N_{spt}$ , a loro volta ricavati dai valori della prova penetrometrica dinamica ( $N_{scpt}$ ), tramite la seguente relazione:  $N_{spt} = N_{scpt} \times 1.5$ , considerata la presenza di terreno incoerente di natura prevalentemente sabbiosa e/o sabbioso/ghiaiosa (fattore di conversione normalmente usato in terreni simili a quello in esame).

### **Indagine sismica: prova MASW**

Per la definizione del profilo sismico del sottosuolo e quindi per la stima del valore delle  $V_{s30}$  è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologia MASW.

La prova MASW in sito è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali,

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms    Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 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

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 110 m l'uno.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

#### Configurazione spaziale della prova MASW in sito

La prova MASW fornisce il profilo di velocità monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero dei ricevitori utilizzati, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono ad un interasse costante compreso tra 0,5 m e 3 m. A parità di numero di ricevitori un interasse maggiore consente di avere uno stendimento 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 Nyquist oltre cui diminuisce l'affidabilità del segnale misurato. Viceversa 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.

In questo caso, e per esigenze di cantiere, si è deciso di adottare un interasse pari a 1,5 metri che con 24 ricevitori consente di coprire una lunghezza totale di 34,5 metri ed una sorgente di energizzazione posta ad una distanza pari a 15 metri.

#### Valutazione del suolo di fondazione (Azione sismica di progetto Vs30)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono stati esaminati i dati ottenuti dalla prospezione MASW, che permette di caratterizzare il sottosuolo basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio Vs. Da tale analisi (vedi scheda Metodo Masw) si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde Vs, per i vari strati individuati, di seguito riassunti:

#### Prospezione MASW onde di Rayleigh

1° strato:	velocità media onde Vs 215 m/sec	spessore medio 1,25 m
2° strato:	velocità media onde Vs 385 m/sec	spessore medio 2,25 m
3° strato:	velocità media onde Vs 401 m/sec	spessore medio 3,75 m
4° strato:	velocità media onde Vs 420 m/sec	spessore medio 7,35 m
5° strato:	velocità media onde Vs 600 m/sec	spessore medio 15,50 m

In base a quanto sopra la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-01-08), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

hi = spessore dello strato i-esimo

VSi = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

ottenendo in base ai dati sopra esposti, un valore di Vs30 rispetto al piano di esecuzione dell'indagine, di:

$$V_{s30} = 468 \text{ m/sec}$$

che corrisponde ad una **Categoria del suolo di fondazione di tipo B**: Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 360 e 800 m/s (NSPT >50, Cu > 250 Kpa).



## SISMICITA' DELL'AREA

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modif. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche. Inoltre sono state definite le norme tecniche per la progettazione di nuovi edifici, di nuovi ponti, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno.

La suddetta ordinanza riporta, sino alla deliberazione delle regioni (cosa che in Lombardia è avvenuto con la D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129), le nuove classificazioni sismiche individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale". In particolare, l'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone.

Nello specifico il territorio comunale di **CASTREZZATO** ricade, per quanto indicato in Allegato A della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "elenco dei comuni con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (agmax) presente all'interno del territorio comunale" in **ZONA 3**.

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica AgMax	Agmax
03017045	BS	CASTREZZATO	3	0,139164

Il terreno indagato secondo lo schema presente nell'Ordinanza risulta appartenente alla categoria di **suolo di fondazione tipo B**, (Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi fra 360 e 800 m/s ( $NSPT > 50$ ,  $C_u > 250$  Kpa) così come specificato al paragrafo 3.1 del Capitolo 3 "Azione sismica" di dette norme. Tale classificazione è stata possibile grazie al profilo sismico ottenuto dalla prova MASW eseguita che ha permesso di ottenere il valore di  $V_{s30}$  (si veda più avanti).

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*C$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il calcolo dei valori sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri in base al tipo di opera in progetto:

- **Vita nominale dell'opera  $V_N$ :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

**Tabella 1 – Vita nominale  $v_n$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali -Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso

**L'opera in progetto appartiene alla Classe d'uso III:** costruzioni il cui uso prevede AFFOLLAMENTI SIGNIFICATIVI.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un **periodo di riferimento  $V_R$**  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la **vita nominale  $V_N$**  per il **coefficiente d'uso  $C_U$** :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente Tabella:

**Tabella n. 2 -Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni

Dopo aver definito la Vita Nominale e la Classe d'uso è possibile, quindi, calcolare il **Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R$**  come:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,5 = 75 \text{ anni}$$

**Tabella 3 -riassuntiva**

tipo di costruzione	2
vita nominale	$\geq 50$
classe d'uso	III
coefficiente $C_U$	1,5
vita di riferimento $V_R = V_N \times C_U$	75

## DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA -STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Le *azioni sismiche di progetto* si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento”  $V_R$  espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “**Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento**” ( $P_{VR}$ ).

La pericolosità sismica è definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A, ecc.), con superficie topografica orizzontale (categoria T1; ecc.);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **$a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito;
- **$F_o$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **$T^*C$**  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

## CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Le 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.

**Tabella n.4 -Categorie topografiche**

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \leq 15^\circ \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il *coefficiente di Amplificazione stratigrafica* ( $S_s$ ) e il *coefficiente funzione della categoria di sottosuolo* ( $C_c$ ) possono essere calcolati in funzione dei valori di  $F_o$  (Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente Tabella, nella quale  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi:

**Tabella n. 5 -Espressioni di SS e di CC**

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.20$	$1.10 * (T_c) - 0.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.50$	$1.05 * (T_c) - 0.33$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.80$	$1.25 * (T_c) - 0.50$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.60$	$1.15 * (T_c) - 0.40$

**AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA**

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 seguente Tabella, in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella n.1 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

**Tabella n. 6 -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	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	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.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma **GEOSTRU**, da cui sono stati ottenuti i seguenti **parametri sito-specifici**:

**Parametri sismici**

- Coordinate WGS84: Lat.° 45.513069 Long.° 9.984221
- Classe dell'edificio: III: Affollamenti significativi
- Vita nominale: 50
- Categoria sottosuolo: B
- Categoria topografica: T1
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: 75 anni
- Coefficiente  $c_u$ : 1,5

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  vengono calcolati i valori  $ag$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$  e del periodo di ritorno:

Tabella 7 – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati limite		PVR	Periodo di ritorno (anni)	ag (g) valori nominali	$F_0$	$T^*C$ (sec)
SLE esercizio	Operatività SLO	81%	45	0.048	2.396	0.227
	Danno SLD	63%	75	0.062	2.405	0.246
SLU ultimo	Vita SLV	10%	712	0.157	2.466	0.281
	Collasso SLC	5%	1462	0.200	2.480	0.293

Dove:

**SLE = stati limite di esercizio**

**SLO** = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

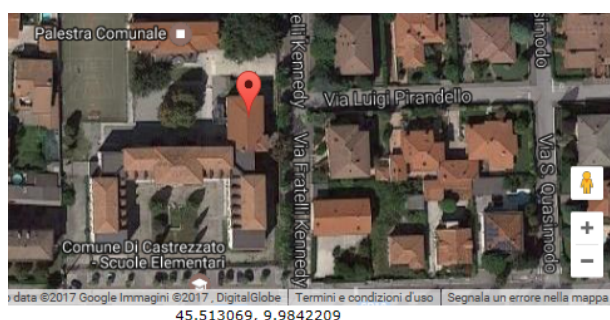
**SLD** = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

**SLU = stati limite ultimi**

**SLV** = stato limite di salvaguardia della vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC** = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Tabella n. 8 - Coefficienti sismici stati limite



vertici della  
artenenza

è convertire i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono esclusivamente in coordinate WGS84, to con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

**CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI**

- ☐ Muri di sostegno
 ☐ Paratie
   
☒ Stabilità dei pendii e fondazioni
   
☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 
  
 us (m) 
  
 Categoria sottosuolo 
  
 Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
<b>Ss *</b> Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
<b>Cc *</b> Coeff. funz categoria	1,48	1,46	1,42	1,41
<b>St *</b> Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,045	0,067
kv	0,006	0,007	0,023	0,034
Amax [m/s²]	0,569	0,735	1,851	2,358
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

## CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

L'elaborazione dei dati desunti dalle prove penetrometriche ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico del sottosuolo e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

### Modello litostratigrafico del sottosuolo

Dall'analisi delle prove penetrometriche è possibile osservare come nell'orizzonte superficiale costituito da sabbie limose (**orizzonte A**), la resistenza alla penetrazione si mantenga su valori modesti ( $N_{scpt}$  medio = 4-5 colpi/piede) fino ad una profondità di circa 1,2 m dal p.c. (0 RIF.). A partire da tale profondità e fino ad almeno 5-6 m dal p.c., si rinviene un orizzonte ghiaioso-sabbioso (**orizzonte B**) costipato ( $N_{scpt}$  medio >15 colpi/piede) contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche.

<b>A</b>	(da 0,0 a 1,2 m) sabbie limose ( $N_{scpt}$ medio = 4-5 )
<b>B</b>	(oltre 1,2 m) sabbia e ghiaie sature ( $N_{scpt}$ medio > 15)

### Modello geomeccanico

Nella seguente tabella, viene riportato il profilo geotecnico dei livelli riconosciuti, suddivisi in base delle seguenti caratteristiche: litologia prevalente, stato di addensamento e proprietà fisico-meccaniche; per ciascuna grandezza fisica considerata, è stato riportato un range di valori di riferimento.

<b>Orizzonte A – SABBIE LIMOSE (da 0,0 m a 1,2 m da piano campagna)</b>			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Consistenza			moderatamente costipata
Peso di volume	g	t/m <sup>3</sup>	1,85
Angolo di attrito	Ø	°	27
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm <sup>2</sup>	/
Modulo elastico	E	Kg/cm <sup>2</sup>	100
Densità relativa	Dr	%	35

<b>Orizzonte B – SABBIE E GHIAIE COSTIPATE (oltre 1,2 m da piano campagna)</b>			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Addensamento			costipata
Peso di volume	g	t/m <sup>3</sup>	1,95
Angolo di attrito	Ø	°	34
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm <sup>2</sup>	/
Modulo elastico	E	Kg/cm <sup>2</sup>	280
Densità relativa	Dr	%	65

Nella seguente tabella, viene riportato per ogni orizzonte individuato il valore caratteristico \* di resistenza al taglio ottenuto analiticamente partendo dai valori medi sopra riportati:

#### Orizzonte A

$\phi'_m$	27° valore medio
$\phi'_k$	<b>27° valore caratteristico</b>
$\phi'_d$	21° valore di progetto

#### Orizzonte B

$\phi'_m$	34° valore medio
$\phi'_k$	<b>34° valore caratteristico</b>
$\phi'_d$	28° valore di progetto

\*il valore caratteristico k rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove. Nel caso specifico è stato determinato il valore caratteristico dell'angolo di attrito

I valori caratteristici di  $\phi'$  sono determinabili con la seguente relazione:

$$\phi'_k = \phi'_m (1 + CxV\phi)$$

dove:

$\phi'_k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

$\phi'_m$  = valore medio dell'angolo di attrito;

$V\phi$  = coefficiente di variazione (COV) di  $\phi'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio (deviazione standard) e la media dei valori di  $\phi'$ ;

**C** = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di **C = - 1,645**.

Di conseguenza la precedente relazione diventa:

$$\phi'_k = \phi'_m (1 - 1,645 V\phi)$$

° coefficiente di variazione =  $V\phi$  = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Si riportano per completezza alcune importanti precisazioni riportate nelle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC 2008

#### A) Valori caratteristici circa uguali ai valori medi

Nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in fondazioni superficiali o in una frana il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

#### B) Valori caratteristici circa uguali ai valori minimi

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione

di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

**I valori di progetto ( $\phi_d$ ) di  $\phi$  sono determinabili invece con la seguente relazione:**

$$\phi_d = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \phi_k}{1,25} \right)$$

dove:

$\phi_k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno



## DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE (Rd)

Affinché una fondazione possa sorreggere con sicurezza il carico di progetto nei riguardi della rottura in generale, in tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Ed \leq Rd$$

Dove:

Ed = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

Rd = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

La veridicità della suddetta condizione deve essere verificata applicando tre diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le **azioni (A1 e A2)**, per i **parametri geotecnici (M1 e M2)** e per le **resistenze (R1, R2 e R3)**.

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più cautelativa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più cautelativa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

- Combinazione 1: (A1+M1+R3)

In particolare, relativamente alle caratteristiche di portanza dei terreni, è stata svolta la procedura che prevede la **verifica allo stato limite ultimo di tipo geotecnico** (per fondazioni superficiali) seguendo **l'approccio progettuale 1-combinazione 2 - GEO (A2+M2+R2)** del suddetto D.M. 14.01.08.

Le verifiche sono state effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle; (i parametri di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti del gruppo M2 e la resistenza globale del sistema tramite i coefficienti del gruppo R2); per confronto si è poi proceduto alla **verifica dello stato limite applicando l'approccio 2 - combinazione 1**

**La capacità portante alla base delle fondazioni è stata calcolata applicando la seguente relazione di Brinch – Hansen**, ritenuta la più cautelativa rispetto ad altre formule di autori diversi:

$$Rd = 1/2 * B * \gamma * N_{\gamma} * s_{\gamma} * i_{\gamma} * b_{\gamma} * g_{\gamma} * z_{\gamma} + c * N_c * s_c * i_c * b_c * g_c * d_c * z_c + q * s_q * i_q * b_q * g_q * d_q * z_q$$

dove :

<b>Nc Nq Ny</b>	=	Fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;
<b>sc sq sy</b>	=	Fattori di forma della fondazione;
<b>ic iq iy</b>	=	Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
<b>bc bq by</b>	=	Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;
<b>gc gq gy</b>	=	Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del p. c.;
<b>zc zq zy</b>	=	Fattori correttivi che tengono dell'inerzia dovuta al sisma (solo per condizioni dinamiche)
<b>Dc dq</b>	=	Fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;
$\gamma$	=	Peso specifico del terreno sotto il piano di fondazione;
<b>q</b>	=	Carico litostatico presente sopra il piano di fondazione (proporzionale all'altezza del confinamento laterale);

**Si è proceduto quindi a verificare la capacità portante del terreno per le seguenti tipologie di fondazione:**

- **PLINTI** aventi dimensione di 2,5 m x 2,5 m impostati ad una profondità  $\geq 1,2$  m dal p.c., all'interno dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso costipato (orizzonte B).

Sulla base delle ipotesi di fondazione indicate e delle caratteristiche geotecniche del terreno (ridotte secondo gli opportuni coefficienti sulla base della normativa sismica) è opportuno rispettare i valori di  $R_d$  indicati nella tabella seguente, calcolate applicando due diverse combinazioni; per entrambe è stata verificata la seguente condizione:

$$E_d \leq (Q_{lim}/\gamma_R)$$

Tipologia di fondazione ipotizzata: **PLINTI**  
 Profondità di imposta:  **$\geq 1,2$  m dal p.c.**  
 Dimensione fondazione: **2,5 m x 2,5 m**

APPROCIO	Combinazione	$Q_{LIM}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma_R$	$R_d$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cedimento(cm) $Q_{SLE} = 1,6$ Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	<b>2 - GEO (A2+M2+R2)</b>	<b>3,96</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>
<b>2</b>	<b>1 (A1+M1+R3)</b>	<b>5,52</b>	<b>2,3</b>	<b>2,4</b>	<b>1,2</b>

coefficiente di sottofondazione **K Winkler: 3,5 Kg/cm<sup>3</sup>**

Dalle verifiche eseguite è emerso che **la combinazione 2 (GEO) è risultata la più cautelativa in termini di calcolo della capacità portante SLU**, rispetto all'APPROCIO 2 combinazione 1.

## **CALCOLO DEI CEDIMENTI**

**Nel calcolo dei cedimenti è stato ipotizzato un carico di esercizio  $Q_{SLE}$  pari  $1,6 \text{ kg/cm}^2$ .** Per il calcolo dei cedimenti è stato fatto riferimento alla teoria dell'elasticità adottando il metodo di Schmertmann.

Nel dimensionamento delle fondazioni è necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato.

Tali cedimenti dovranno essere ovviamente inferiori ad un valore critico che, se superato, potrebbe generare inconvenienti nella struttura.

E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione dal carico di esercizio determinato nelle ipotesi di fondazione indicate.

**Nel calcolo dei cedimenti è stato ipotizzato un carico strutturale di esercizio  $Q_{SLE}$  inferiore rispetto al  $Q_{SLU}$ .**

Con tale valore di carico di esercizio i cedimenti assumono valori accettabili per la struttura.

## **SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE**

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 14/01/2008, in aree classificate sismiche deve essere valutata la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione in seguito alle vibrazioni prodotte dalle scosse telluriche.

I fenomeni di liquefazione possono verificarsi in particolari condizioni, come quelle indotte da un sisma di Magnitudo superiore a 6, in terreni a granulometria fine (sabbioso-limosi), allo stato sciolto o poco addensato, in falda oppure interessati dalla oscillazione della falda stessa.

Al paragrafo 7.11.3.4.2 del DM 14.01.2008 è ribadito che tali analisi possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ( $M < 5$ );
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a  $0.1g$  ( $a < 1 \text{ m/secq}$ );
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $N_{160} > 30$ ;
5. elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

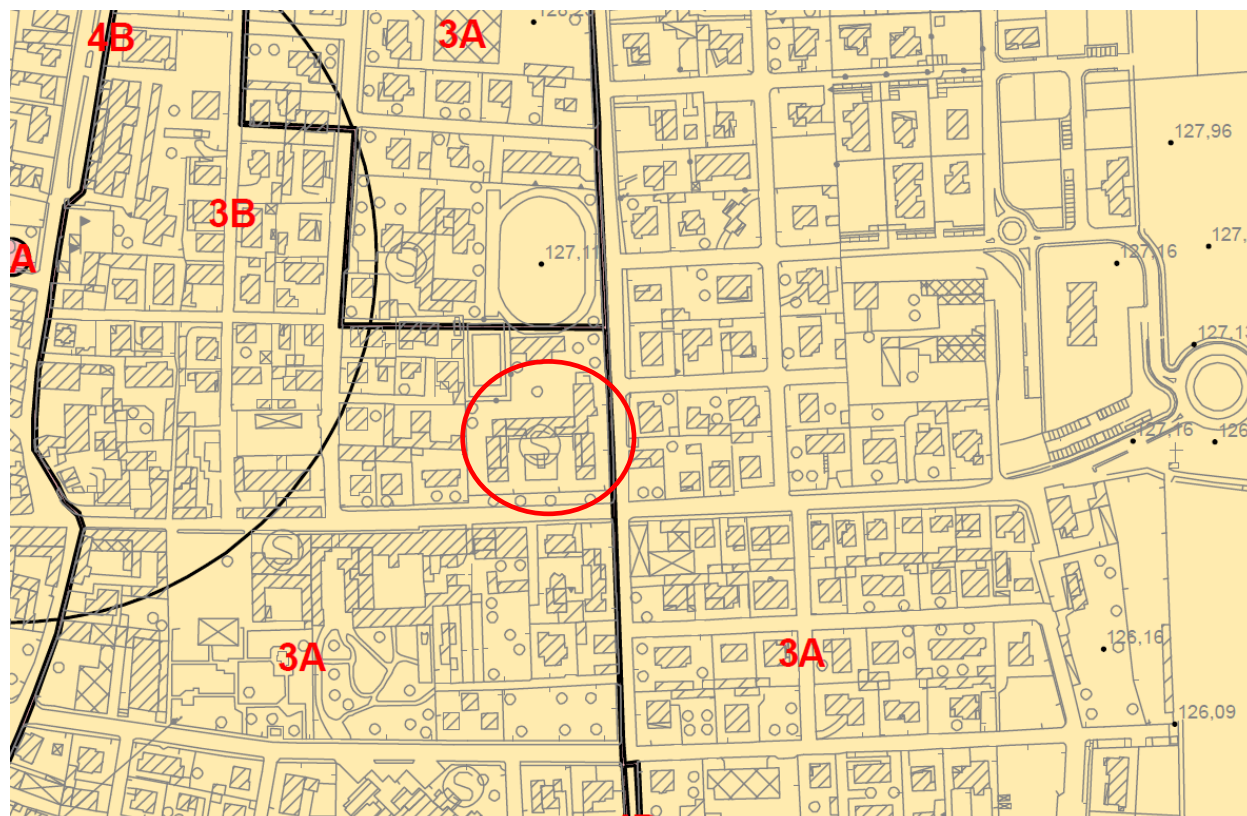
**Nel nostro caso sono verificate la n.4 e la n.5, quindi l'analisi della liquefazione può essere omessa.**




**Il terreno di fondazione dell'area in oggetto, si presenta infatti, come dimostrano le risultanze dell'indagine eseguita, costituito da litologie prevalentemente ghiaioso-sabbiose grossolane costipate.**

**La presenza della componente ghiaiosa costipata esclude quindi l'ipotesi che si possano verificare incipienti fenomeni di liquefazione dei terreni oggetto di indagine.**

## VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA AI SENSI DELLA D.G.R. 2616/2011

LA CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA allegata al PGT, redatta ai sensi della L.R. 12/05 (vedi stralcio allegato), attribuisce all'area in esame una CLASSE DI FATTIBILITÀ 3a "fattibilità con consistenti limitazioni": aree caratterizzate da elevata vulnerabilità dell'acquifero superficiale.



-  Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni
- 3A Aree caratterizzate da elevata vulnerabilità dell'acquifero superficiale
-  Classe di pericolosità sismica Z4a : zona di fondovalle e di pianura (corrispondente alla totalità del territorio comunale) con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio glaciali granulari e/o coesi
-  Area corrispondente alla totalità del territorio comunale per la quale Fa (fattore di amplificazione sismica) è minore della soglia comunale prevista dalla Regione Lombardia

Considerati i risultati ottenuti nel corso della presente indagine redatti in prospettiva sismica, non vi sono particolari prescrizioni nell'attuazione delle future strutture di progetto.

Da un punto di vista del rischio idraulico ed idrogeologico locale non si rilevano particolari fattori limitativi o di rischio.

**Ai sensi della D.G.R. 2616/2011, si ritiene pertanto fattibile da un punto di vista geologico, idrogeologico e sismico l'intervento prospettato.**

## CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha permesso di giungere ad una caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione i cui risultati sono favorevoli all'intervento di progetto.

Dal punto di vista geologico tecnico nulla osta alla all'esecuzione dei lavori, purché siano rispettate le prescrizioni riportate in precedenza e qui riassunte:

- superficie di riferimento: 0 RIF. coincidente con il p.c. di indagine
- **Falda: circa -10 m dal p.c.**
- Categoria sismica di suolo: **tipo "B"** come da risultanze prova MASW
- Tipologia di fondazione verificata: **PLINTI 2,5m x 2,5m**
- Piano di imposta delle fondazioni  **$\geq 1,2$  m da p.c.** (0 RIF.), all'interno dell'orizzonte litologico B (sabbie e ghiaie costipate).
- Si suggerisce di confrontare lo sforzo indotto sul terreno dai carichi adottati per la verifica allo SLU con  **$R_d = 2,2 \text{ kg/cm}^2$**  derivante dall' APPROCCIO 1- Combinazione 2 - GEO (A2-M2-R2) ritenuto più cautelativo rispetto all'approccio 2.
- cedimenti: **accettabili i secondari**
- coefficiente di sottofondazione **K Winkler:  $3,5 \text{ Kg/cm}^3$**

Spetta alla Direzione Lavori verificare che il piano di posa delle fondazioni sia solido e non costituito da materiale alterato.

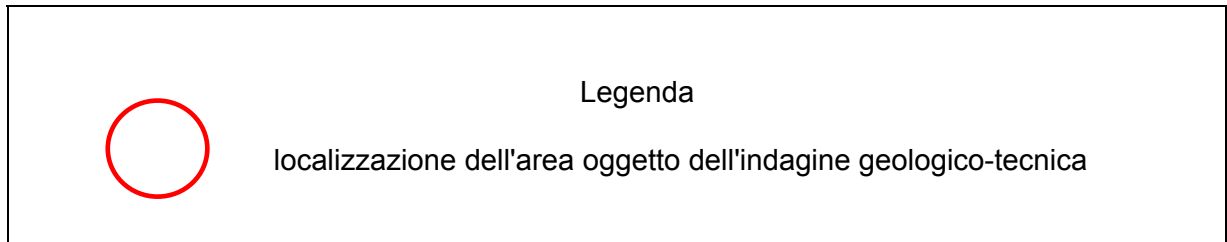
Si rimane infine a disposizione per ulteriori ed eventuali chiarimenti, qualora in fase di esecuzione dei lavori si presentasse una situazione diversa da quella prospettata.

Orzinuovi, 16/02/2017



AEROFOTOGRAMMETRICO

Scala 1: 10.000



PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO  
CON UBICAZIONE DELLE PROVE ESEGUITE

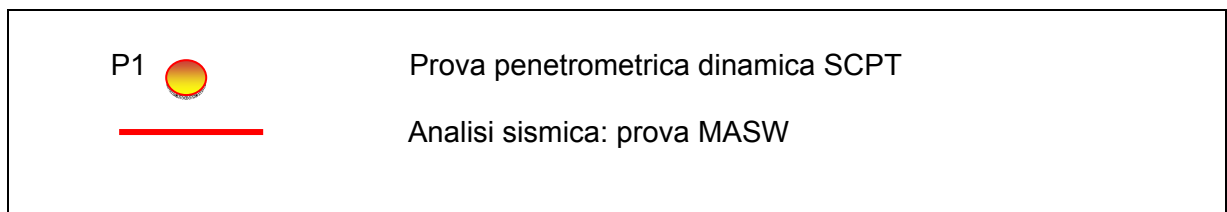
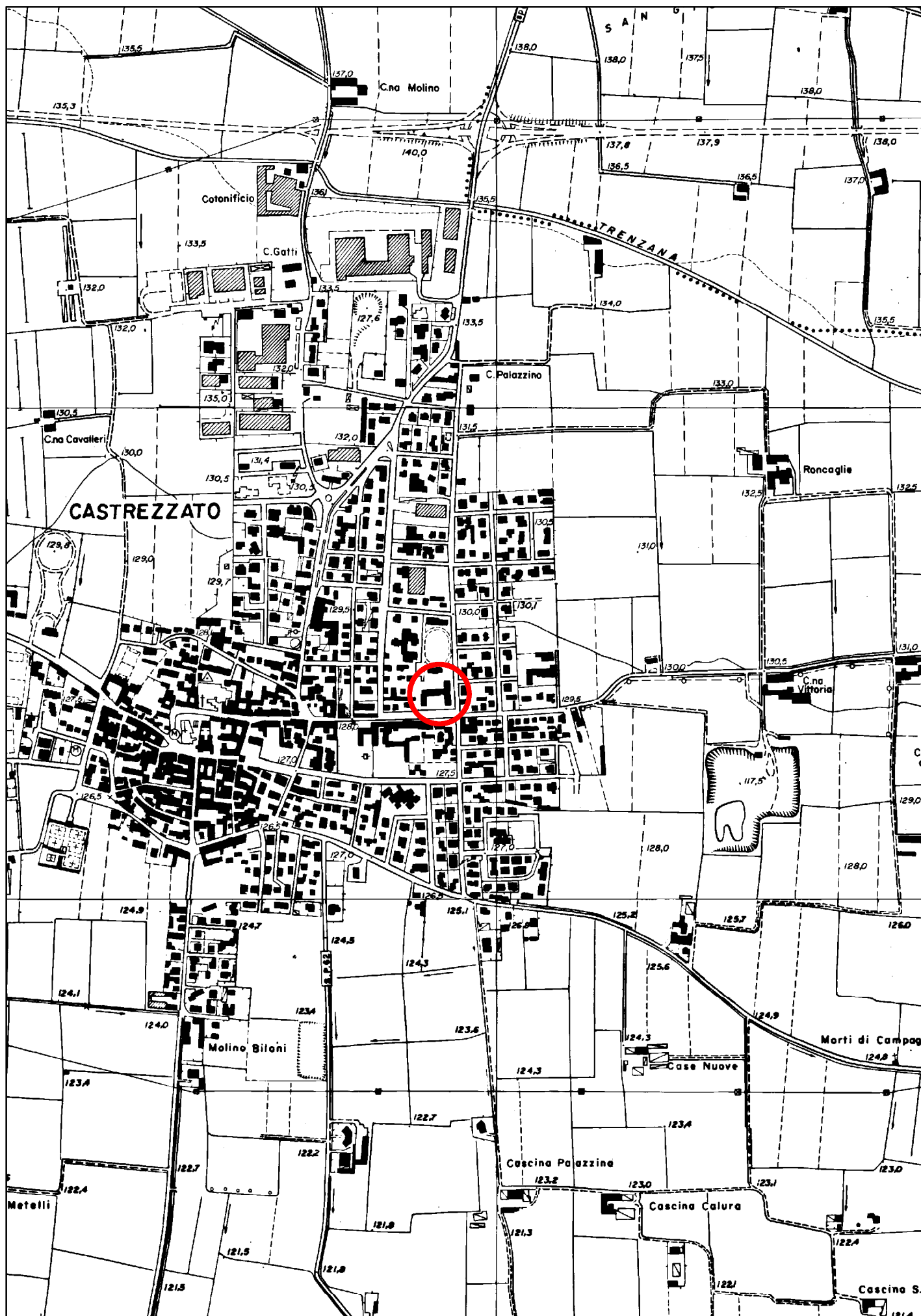


TABELLE E DIAGRAMMI DI INTERPRETAZIONE DEI DATI PENETROMETRICI

RISULTATI PROVA MASW

MODULI 9 E 10

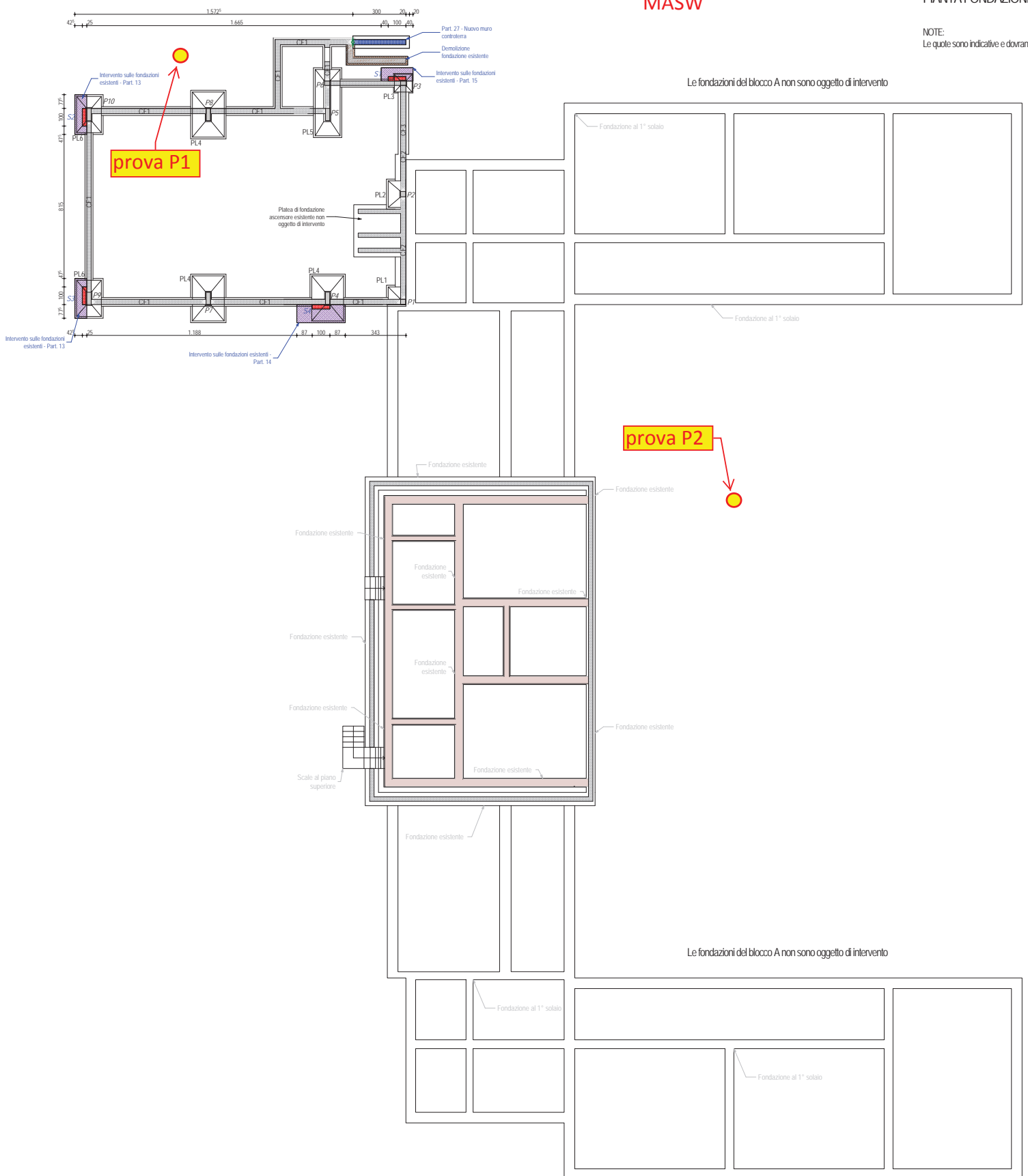


INQUADRAMENTO CTR - SCALA 1:10.000 - foglio c6e1 - CASTREZZATO (BS)

## MASW

## PIANTA FONDAZIONI

NOTE:  
Le quote sono indicative e dovranno essere w





## Prova penetrometrica dinamica P1

**Località:** Castrezzato (BS) - Via Marconi

**Data:** FEBBRAIO 2017

**Attrezzatura:** Penetrometro dinamico Pagani 63/100

**Committente:** Comune di Castrezzato

**Intervento:** Adeguamento sismico Scuola Elementare

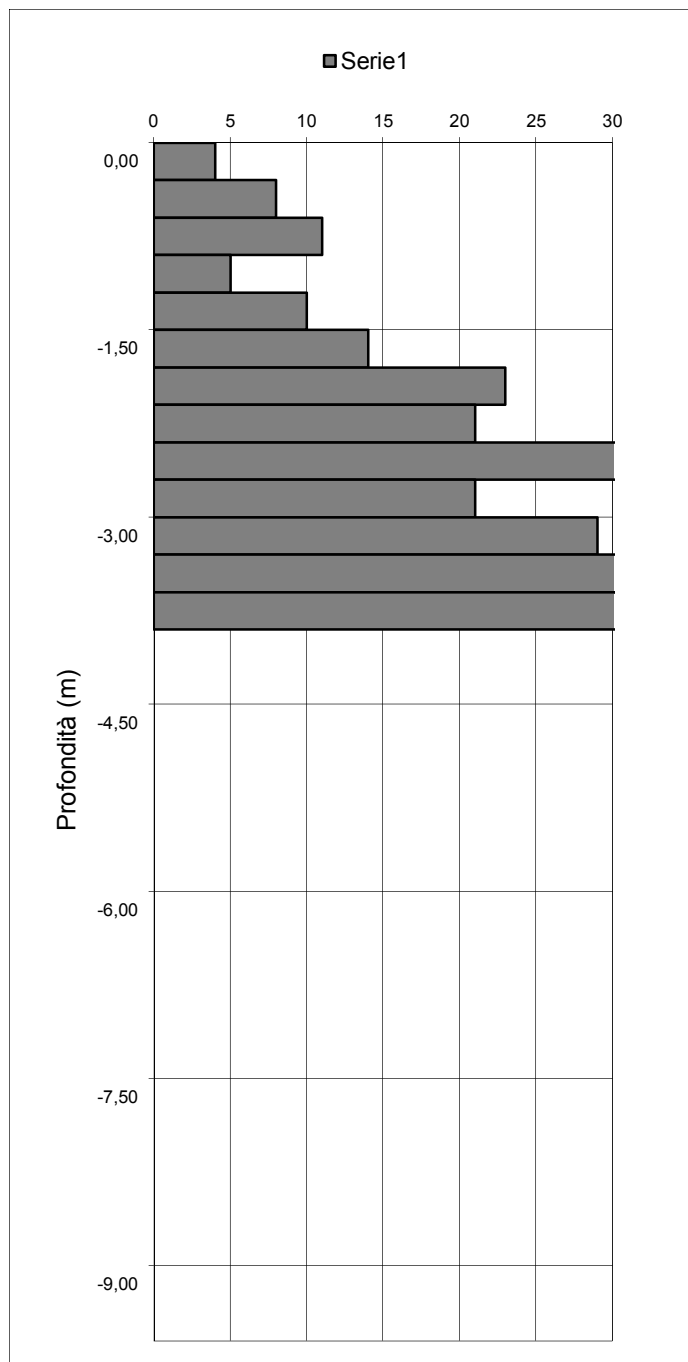
**Studio di Geologia**

**Dott. Geol. Guido Torresani**

**Via G. Bruno, 44**

**25034 Orzinuovi**

**Tel/Fax: 030944193**



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	4
-0,30	-0,60	8
-0,60	-0,90	11
-0,90	-1,20	5
-1,20	-1,50	10
-1,50	-1,80	14
-1,80	-2,10	23
-2,10	-2,40	21
-2,40	-2,70	31
-2,70	-3,00	21
-3,00	-3,30	29
-3,30	-3,60	40
-3,60	-3,90	45
-3,90	-4,20	
-4,20	-4,50	
-4,50	-4,80	
-4,80	-5,10	
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	

## Prova penetrometrica dinamica P2

**Località:** Castrezzato (BS) - Via Marconi

**Data:** FEBBRAIO 2017

**Attrezzatura:** Penetrometro dinamico Pagani 63/100

**Committente:** Comune di Castrezzato

**Intervento:** Adeguamento sismico Scuola Elementare

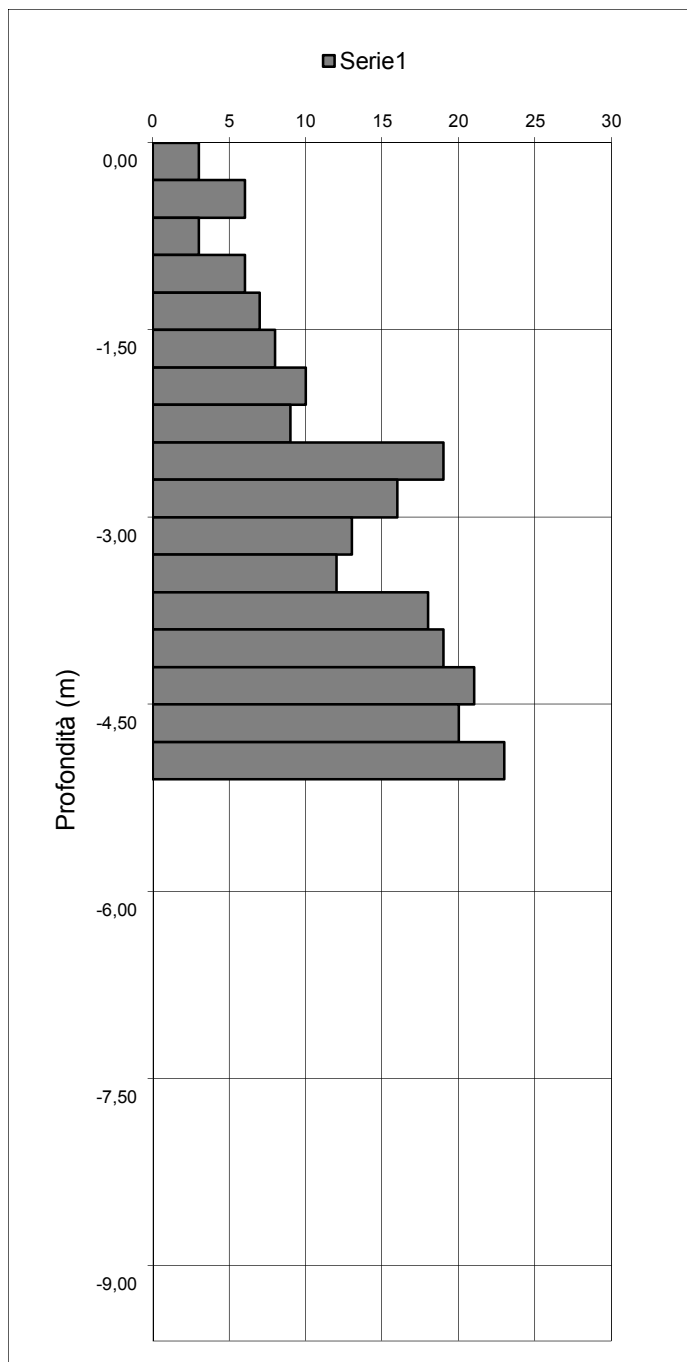
**Studio di Geologia**

**Dott. Geol. Guido Torresani**

**Via G. Bruno, 44**

**25034 Orzinuovi**

**Tel/Fax: 030944193**



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	3
-0,30	-0,60	6
-0,60	-0,90	3
-0,90	-1,20	6
-1,20	-1,50	7
-1,50	-1,80	8
-1,80	-2,10	10
-2,10	-2,40	9
-2,40	-2,70	19
-2,70	-3,00	16
-3,00	-3,30	13
-3,30	-3,60	12
-3,60	-3,90	18
-3,90	-4,20	19
-4,20	-4,50	21
-4,50	-4,80	20
-4,80	-5,10	23
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	

**Studio di Geologia**  
**dr. Torresani Guido**

Via Roma, 4 - 25034 ORZINUOVI (BS)

**Prospezione Sismica di superficie**  
**Definizione Azione Sismica di progetto**  
(in ottemperanza D.M. 14 gennaio 2008)  
Metodologia MASW

COMMITTENTE:

**Comune di Castrezzato (BS)**

*Dir. Lavori:* Geol. Guido Torresani

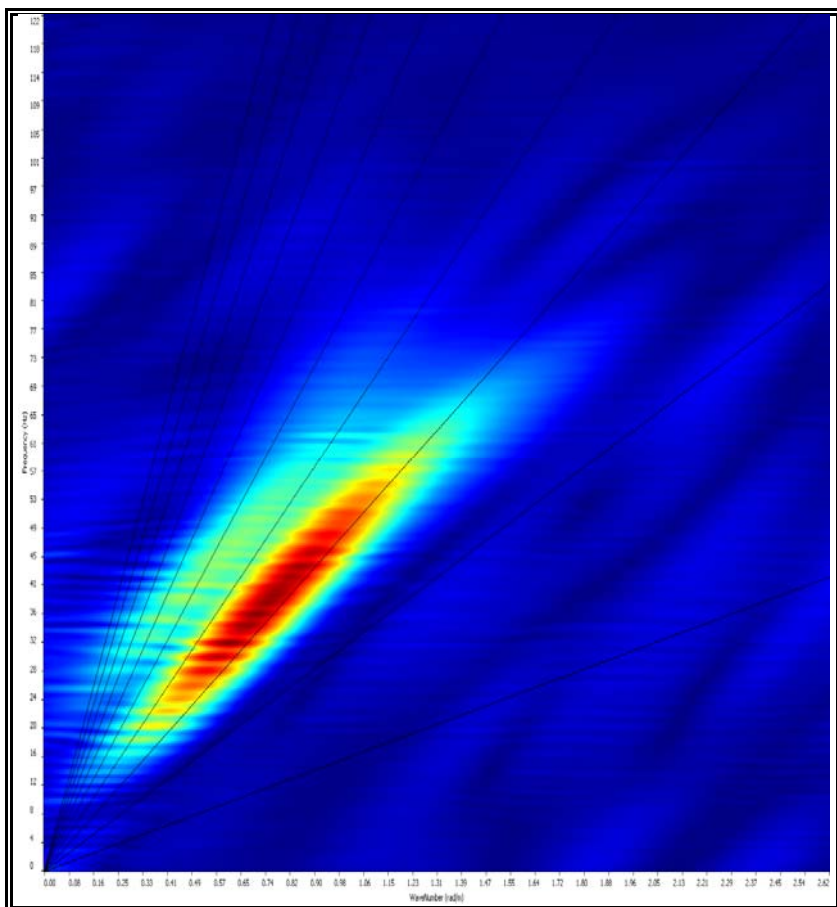
*Nome File:* MW\_scuole elementari

*Località:* Castrezzato (BS)

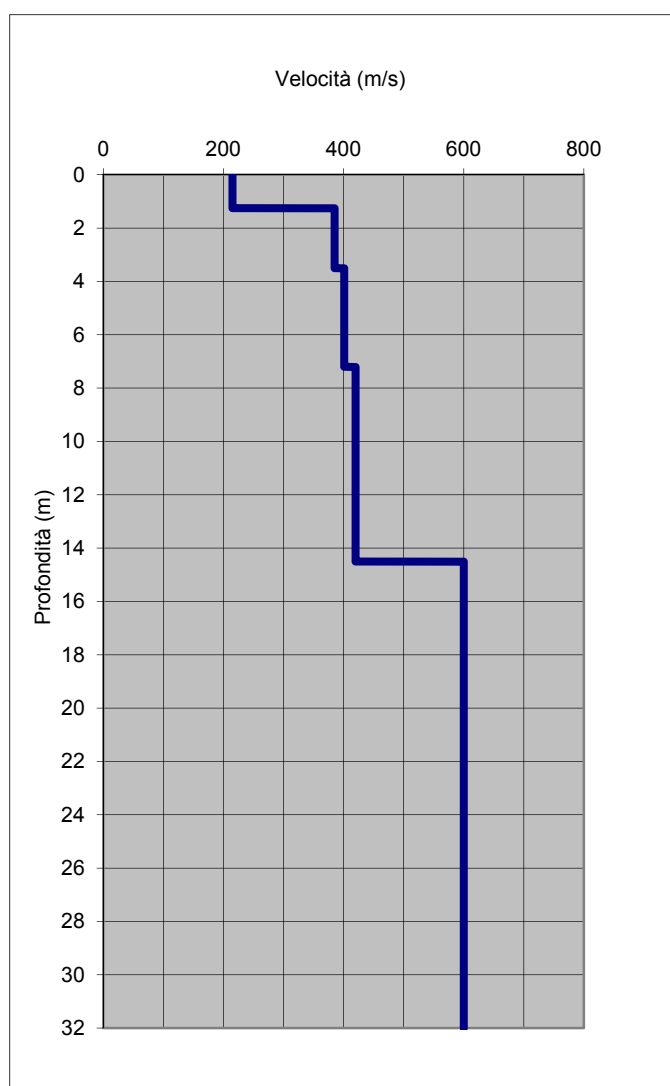
*Data:* febbraio 2017

*Strumentazione:* PASI SG 24

*Cantiere:* Scuola elementare Via Marconi



**Spettro Ampiezza/Frequenza**



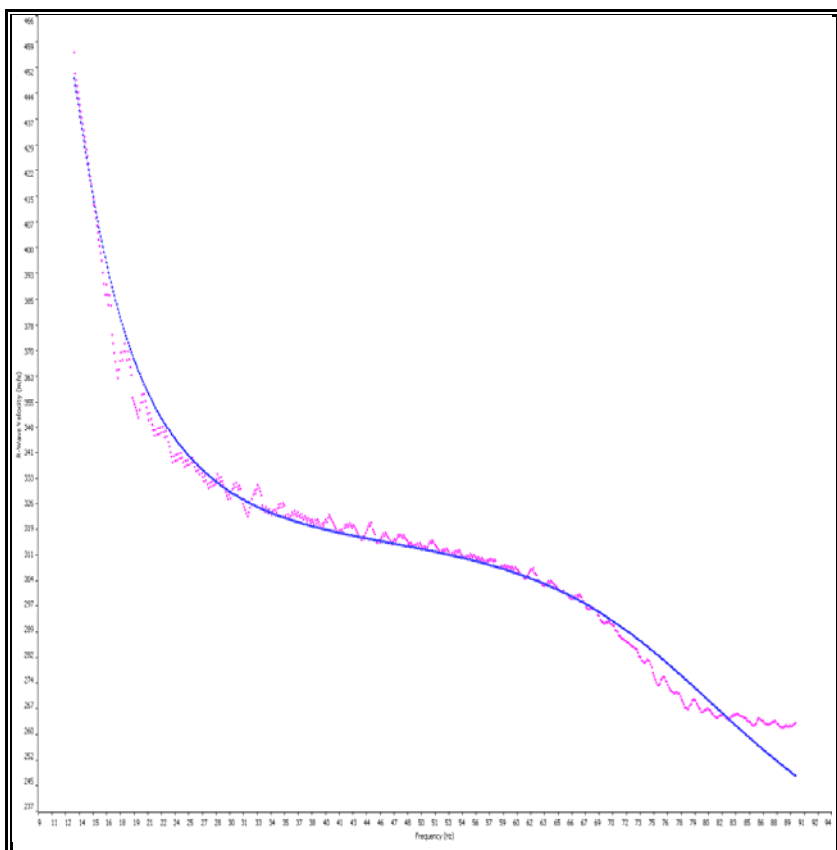
**Profilo velocità/profondità**

	Profondità		Spessore	Vel. Media
	da	a	m	m/sec
<b>Strato1</b>	0,00	1,25	1,25	<b>215</b>
<b>Strato2</b>	1,25	3,50	2,25	<b>385</b>
<b>Strato3</b>	3,50	7,20	3,70	<b>401</b>
<b>Strato4</b>	7,20	14,50	7,30	<b>420</b>
<b>Strato5</b>	14,50	30,00	15,50	<b>600</b>

**$V_{s30} = 468$  m/sec**

**Caratteristiche**

N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	1,5 m
Lunghezza base	34,5 m
Energizzazione	15 m



**Sovrapposizione Curva teorica /Curva di calcolo**