



consulenze ambientali®

# **RICONVERSIONE AD INDUSTRIALE EX ALLEVAMENTO POLLI SS 591 COMUNE DI COLOGNO AL SERIO (BG)**

## **RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA**

Riferimento: NTC 2018, DGR n. 2616/11

---

### **LOCATELLI EUROCONTAINERS SPA**

Via Toscana 2-4

24055-Cologno al Serio (BG)

**Emissione del:** 22 Maggio 2019

**File:** 0586B19 Locatelli indagine geotecnica allevamento polli SS591.doc

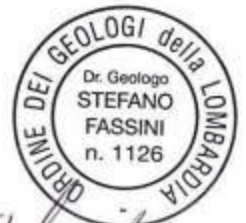
# consulenze ambientali s.p.a.

24020 Scanzorosciate (BG) - Via A. Moro, 1 - Tel 035/6594411 - Fax.035/6594450

Filiale: 20017 Rho (MI) - Via Beatrice d'Este, 16

[info@consamb.it](mailto:info@consamb.it) - [www.consamb.it](http://www.consamb.it)

Codice fiscale e Partita IVA: 01703480168



Redatta da:

Dott. Stefano Fassini

Consulenze Ambientali spa

Handwritten signature of Stefano Fassini in black ink.

Verificata da:

Dott. Giuseppe Orsini

Consulenze Ambientali spa

Handwritten signature of Giuseppe Orsini in black ink.

Approvata da:

Locatelli Eurocontainers S.p.A.

# SOMMARIO

1.	IDENTIFICATIVI DELLA SOCIETÀ	4
2.	PREMESSA	5
2.1	Vincoli geologici ambientali	6
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
3.1	Destinazione urbanistica	9
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO	11
4.1	Geologia	11
4.2	Idrogeologia	12
4.3	Caratteristiche stratigrafiche locali	13
5.	DESCRIZIONE DELL'AREA	14
6.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	17
7.	INDAGINI GEOTECNICHE	18
7.1	Trincee di scavo	19
7.2	Prove penetrometriche	34
7.2.1	Ubicazione delle prove	34
7.2.2	Modalità di esecuzione della prova	34
7.2.3	Interpretazione delle prove	34
7.3	Indagine geofisica MASW	40
7.3.1	Metodologia M.A.S.W.	40
7.3.2	Strumentazione	43
7.3.3	Risultati dell'Indagine	44
8.	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	46
9.	CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	47
10.	COMPONENTE GEOLOGICO APPLICATIVA DEL PROGETTO	49
10.1	Valutazione degli stati limite	49
10.1.1	Condizione statica	50
10.2	Condizioni dinamiche	51
10.3	Valutazione dei cedimenti	53
11.	ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	54
11.1	Analisi sismica di primo livello	56
11.2	Analisi sismica di secondo livello	57
11.2.1	Individuazione della scheda di valutazione	58
11.2.2	Calcolo del periodo proprio del sito	61
11.2.3	Calcolo del fattore di amplificazione	62

# 1. Identificativi della società

## Identificazione dell'insediamento

Denominazione (Ragione sociale)		LOCATELLI Eurocontainers spa			
Indirizzo insediamento produttivo:					
via/piazza/località	Toscana				
n. civico	2-4				
CAP	24055				
Comune	Cologno al Serio				
Provincia	Bergamo				
Telefono	035/898984	Fax	035/891774	E-mail	info@eurocontainerslf.it
Coordinate geografiche:					
Coordinate Gauss-Boaga					

## 2. Premessa

La presente relazione viene redatta su incarico della società Locatelli Eurocontainers spa a supporto del progetto di riconversione ad industriale dell'area ex allevamento polli sita presso la SS 591 Comune di Cologno al Serio (BG).

Lo studio è in particolare finalizzato alla valutazione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del suolo e sottosuolo al fine di fornire le giuste indicazioni sulla progettazione della platea di fondazione.

Lo studio è stato condotto sulla scorta dei seguenti dati:

- Informazioni geologiche ed idrogeologiche di bibliografia;
- Indagini geotecniche di tipo diretto;

Lo sviluppo della componenti geotecnica del progetto è avvenuto sulla scorta dei dati direttamente rilevati.

La presente relazione, per quanto concerne le indagini geotecniche e i criteri progettuali, è redatta ai sensi delle seguenti norme:

- NTC 2018
- Decreto Ministeriale 11.03.1988,
- OPCM 3274/03.
- DGR n. 2616/11

Dallo studio della Componente Geologica e Idrogeologica del Piano di Governo del territorio comunale, redatto dallo studio GeoArbor studio nel 2011, risulta che l'area in esame è collocata in classe 3d "Fattibilità con consistenti limitazioni alla variazione della destinazione d'uso".



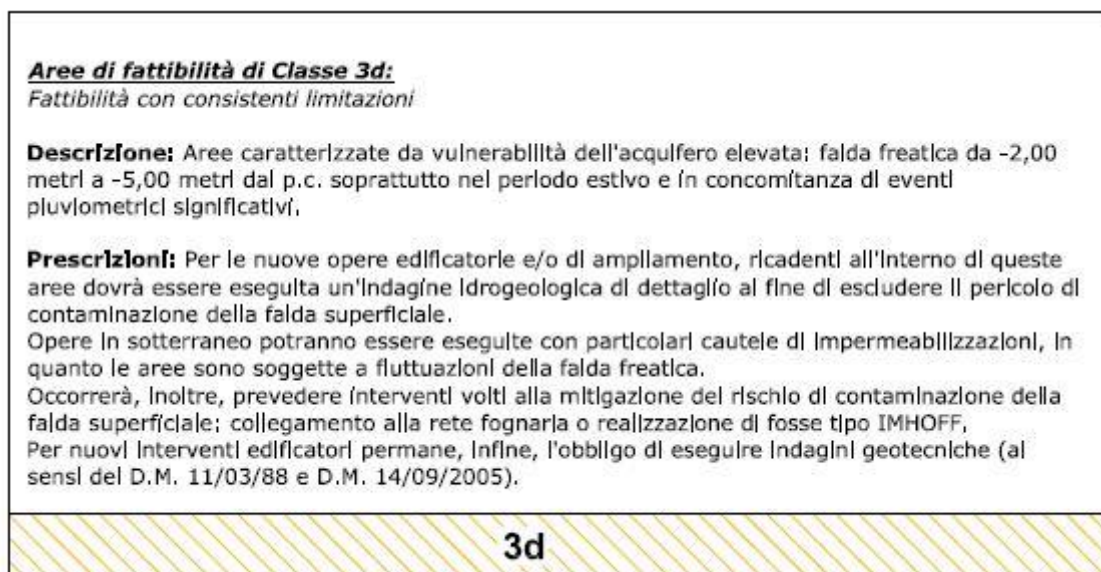


Fig. 1 Estratto dallo studio Geologico comunale - Carta della fattibilità geologica

Di seguito si riporta la descrizione delle specifiche previste per la classe di fattibilità 2.

***Aree di fattibilità di Classe 3d Fattibilità con consistenti limitazioni***

*Descrizione: Aree caratterizzate da vulnerabilità dell'acquifero elevata: falda freatica da -2,00 metri a -5,00 metri dal p.c. soprattutto nel periodo estivo e in concomitanza di eventi pluviometrici significativi.*

*Prescrizioni: Per le nuove opere edificatorie e/o di ampliamento, ricadenti all'interno di queste aree dovrà essere eseguita un'indagine idrogeologica di dettaglio al fine di escludere il pericolo di contaminazione della falda superficiale.*

*Opere in sottoterraneo potranno essere eseguite con particolari cautele di impermeabilizzazioni, in quanto le aree sono soggette a fluttuazioni della falda freatica.*

*Occorrerà, inoltre, prevedere interventi volti alla mitigazione del rischio di contaminazione della falda superficiale: collegamento alla rete fognaria o realizzazione di fosse tipo IMHOFF.*

*Per nuovi interventi edificatori permance, infine, l'obbligo di eseguire indagini geotecniche (ai sensi del D.M. 11/03/88 e D.M. 14/09/2005).*

## 2.1 Vincoli geologici ambientali

Di seguito si riporta un estratto della Tavola dei Vincoli dalla componente geologica del PGT. L'area in esame non risulta interessata dalla presenza di vincoli di tipo geologico ambientale.



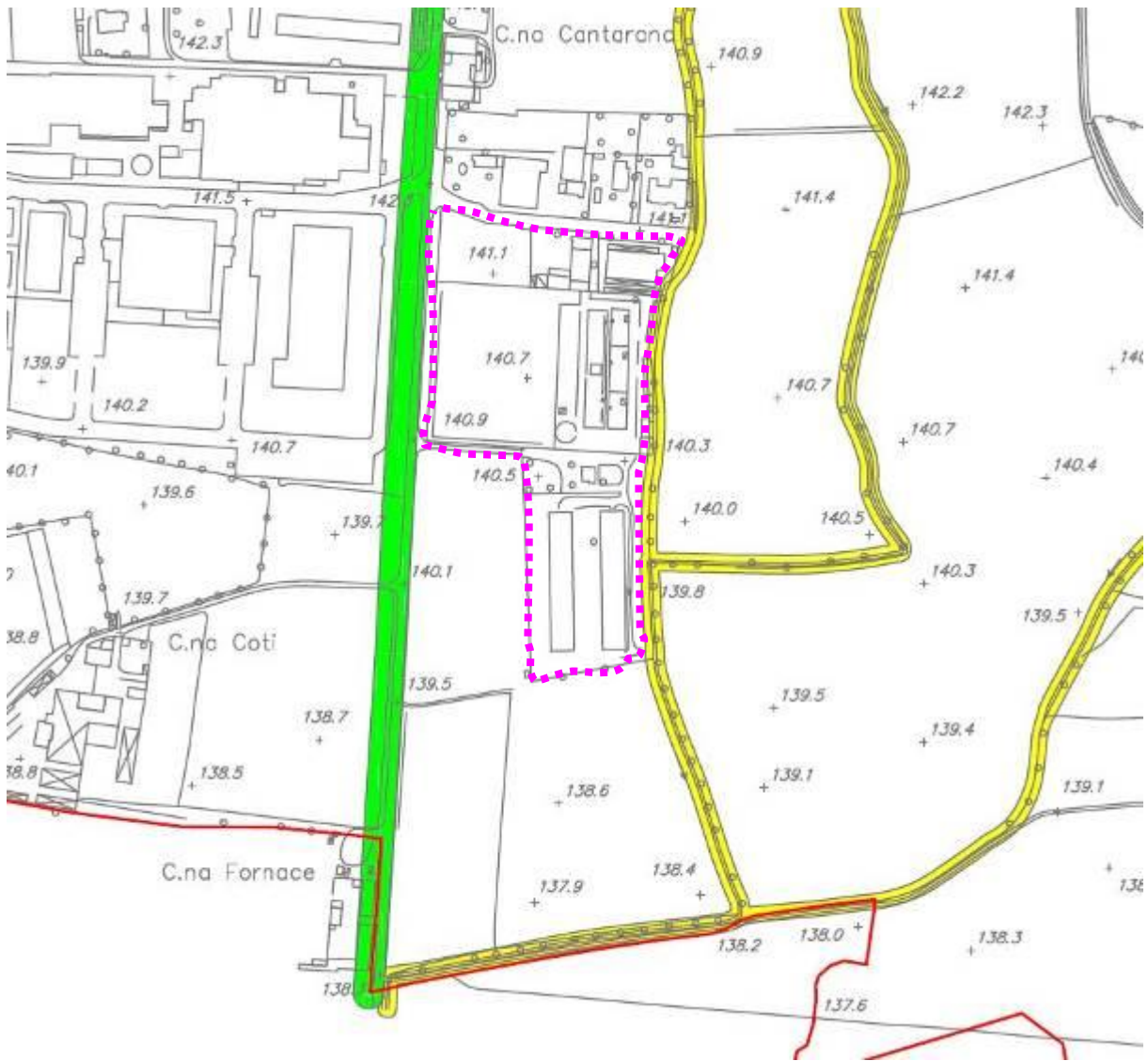


Fig. 2 Estratto carta dei Vincoli (componente geologica PGT)

### 3. Inquadramento territoriale

L'area in esame è ubicata a sud dell'abitato di Cologno al Serio (BG) lungo la strada Crema-sca, al limitare della zona industriale.

Coord. X UTM WGS 84	555278.00 m E
Coord. Y UTM WGS 84	5045069.86 m N
Quota m slm	141

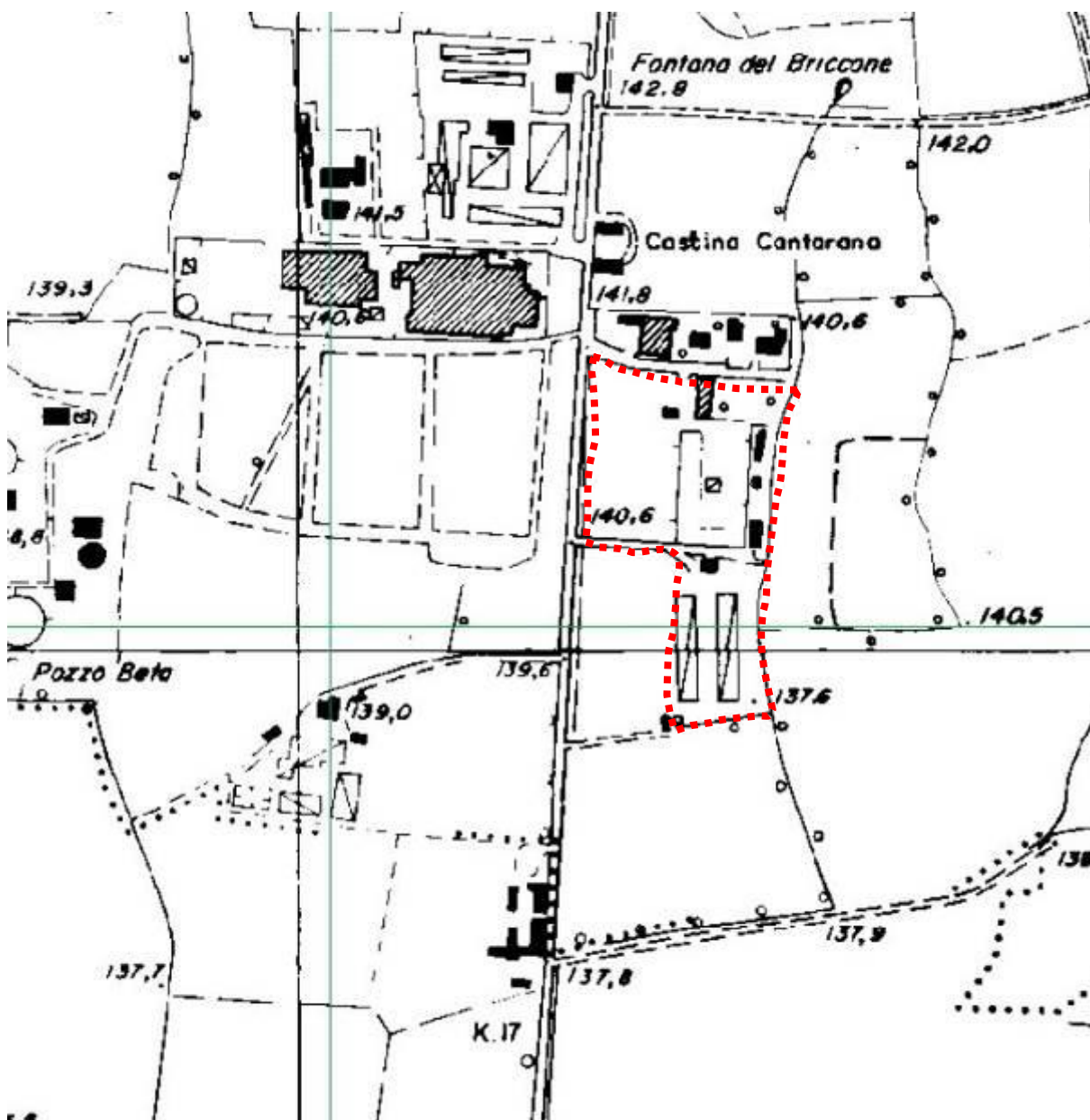


Fig. 3 Estratto Carta Tecnica Regionale





Fig. 4 Ortofoto

### 3.1 Destinazione urbanistica

L'area oggetto di indagine è classificata dal documento di piano come:

Ambiti di trasformazione già previsti dal PGT vigente (residui di piano) - Ambiti di trasformazione produttivi - artigianali - TP3 -ex PR2 - Intersezione parziale.

Per maggiori dettagli si veda il CDU allegato.

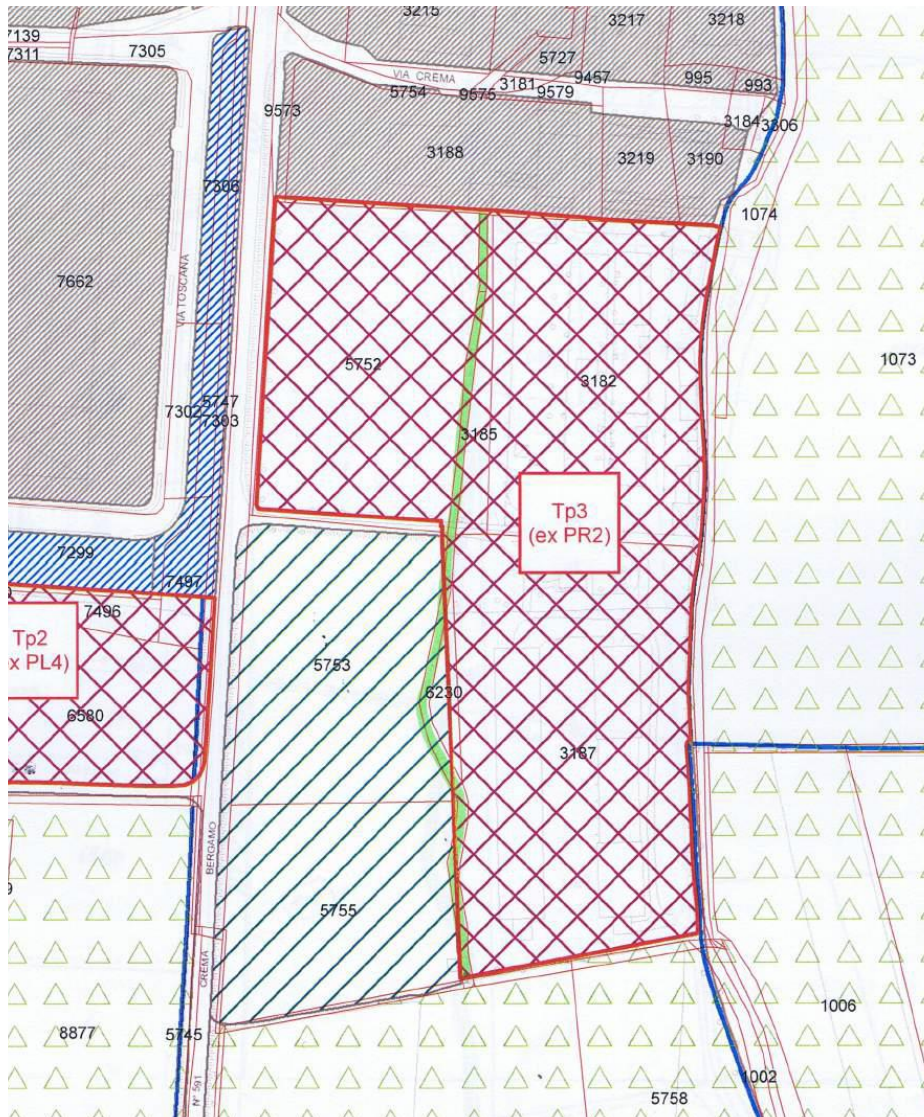


Fig. 5 Stralci del PGT, Documento di piano

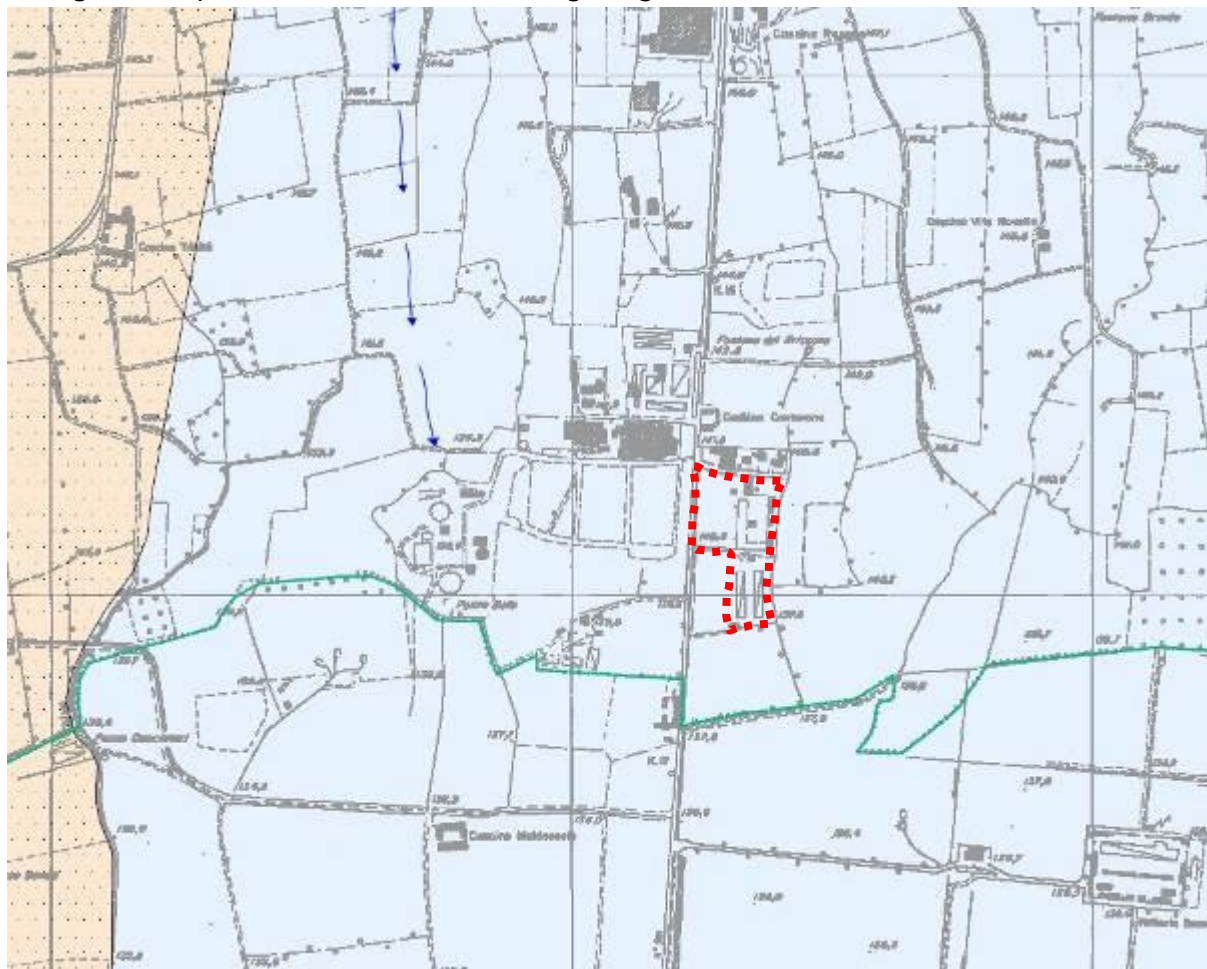


## 4. Inquadramento geologico idrogeologico

Per ciò che attiene alla descrizione delle caratteristiche geologiche - idrogeologiche locali si è fatto riferimento a quanto riportato nella componente geologica del PGT.

### 4.1 Geologia

Di seguito si riporta un estratto della carta geologica comunale.



**Geologia (fonte: Carta Geologica della Provincia di Bergamo):**



UNITA' DI COLOGNO (tardo Pleistocene - Wurm superiore)

Depositi fluvioglaciali; ghiaie poligeniche a supporto clastico da arrotondate e discoidali, a matrice sabbioso-calcareo.



UNITA' POSTGLACIALE OLOCENICA (Olocene tardo Pleistocene superiore)

Depositi fluviali; ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari, sabbie e limi da massivi a laminati.



paleovalveo

Fig. 6 estratto Carta Geologica

L'area in esame è ubicata in corrispondenza dell'**Unità Postglaciale Olocenica** (Olocene tardo Pleistocene sup).

La stessa è costituita da depositi fluviali, caratterizzati da: ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari, sabbie e limi da massivi a laminati e argille; quest'ultime sono costituite localmente da una superficie limite superiore con Entisuoli presenti principalmente lungo l'asta del fiume Serio.

L'Unità affiora nel settore orientale del territorio comunale occupando un'estesa fascia che si estende tra il centro abitato e gli argini del fiume Serio; in corrispondenza dell'alveo affiora l'**Unità Postglaciale Olocenica con Entisuoli**

## 4.2 Idrogeologia

Localmente la falda defluisce con direzione nord sud con gradiente pari a circa 0.3%.

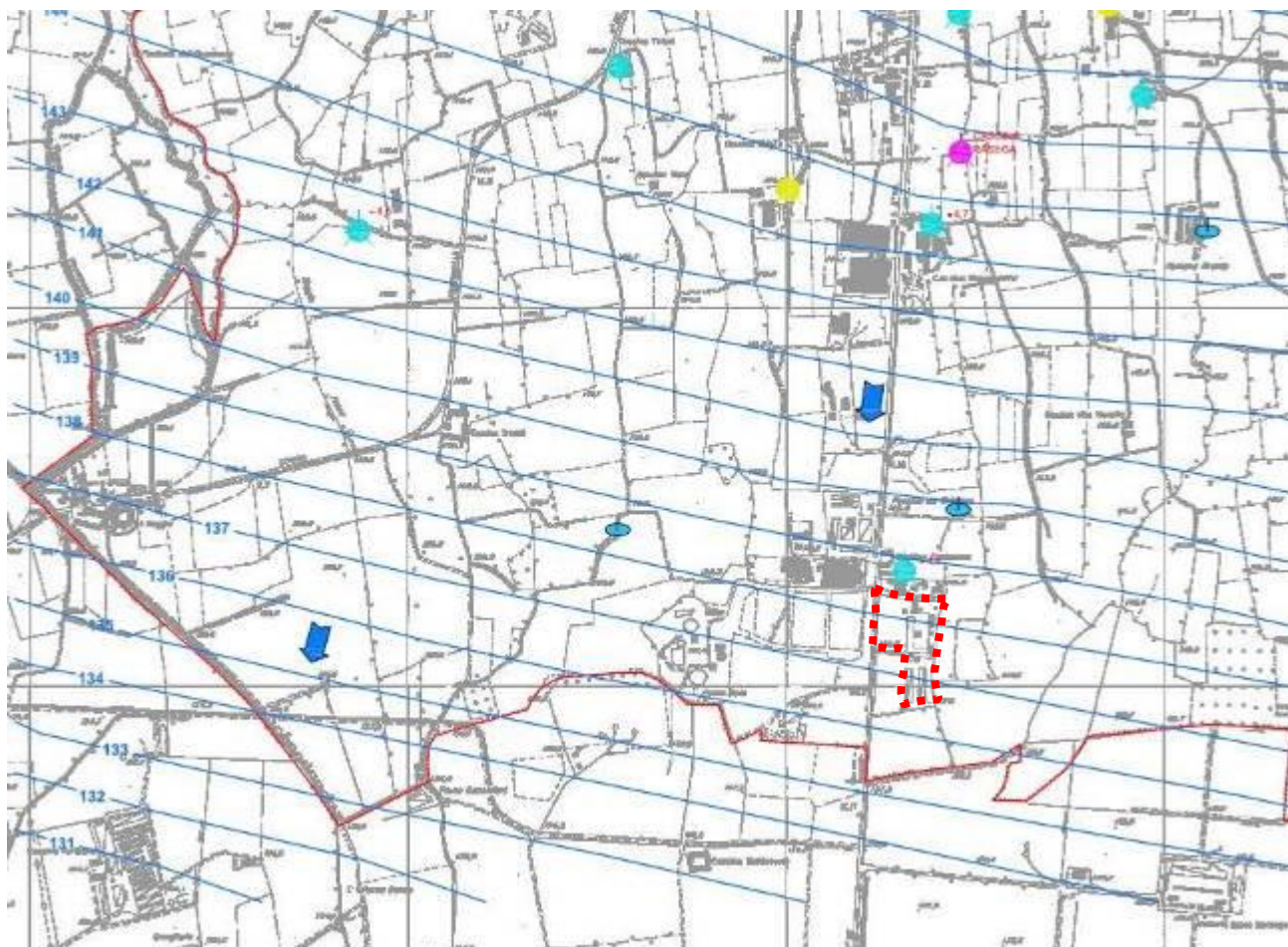


Fig. 7 Estratto Carta Idrogeologica

In corrispondenza dell'area in esame la falda è segnalata alla quota media di 137 m slm con una soggiacenza pari a circa 4 m dal p.c..

Si segnala tuttavia che in concomitanza delle periodo tardo estivo, a causa dell'alimentazione fornita dalle pratiche irrigue si possono registrare significativi rialzi della quota della falda.



### 4.3 Caratteristiche stratigrafiche locali

Per la descrizione della stratigrafia locale si fa riferimento alle stratigrafie dei pozzi limitrofi all'area in esame.

Di seguito si riporta una parte della sezione idrogeologica nord – sud dalla quale si evince la presenza di litotipi sabbiosi in forte matrice limosa per i primi metri dal p.c..

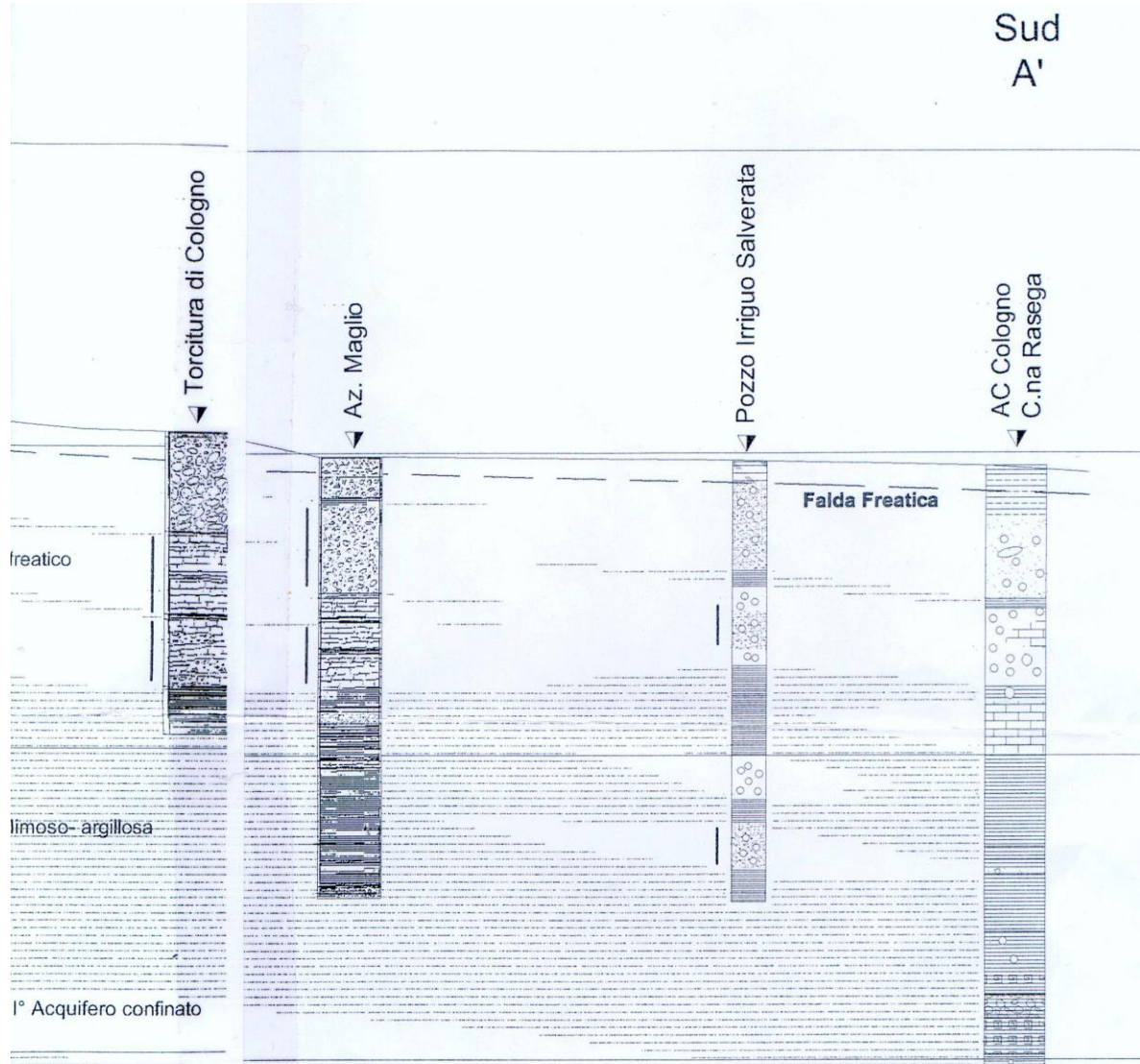


Fig. 8 Estratto sezione idrogeologica



## 5. Descrizione dell'area

L'area in esame si estende su una superficie complessiva di circa mq 25.000 e risulta suddivisa in una porzione nord, utilizzata in passato per l'allevamento di cavalli, ed una porzione sud utilizzata per un allevamento di polli.

Entrambe le attività risultano cessate da molti anni.

Nella porzione sud vi sono due edifici utilizzati per l'allevamento dei polli, nella fascia centrale vi è la residenza mentre la porzione nord è interessata unicamente da tettoie.



Fig. 9 Zona nord



Fig. 10 Allevamento Cavalli



Fig. 11 Allevamento polli



Fig. 12 Allevamento polli



Fig. 13 Abitazione

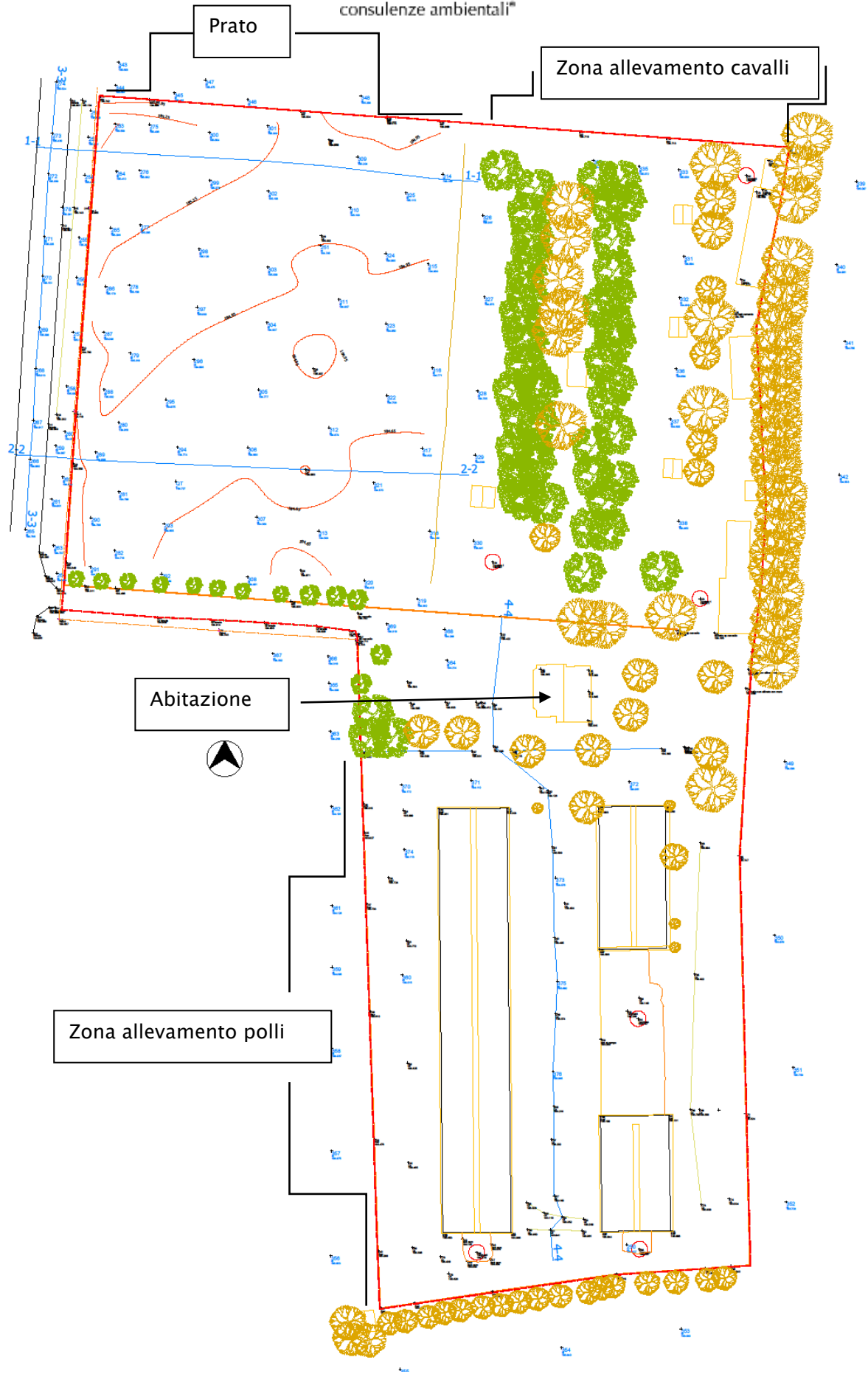


Fig. 14 Planimetria dello stato attuale dell'area

## 6. Descrizione del progetto

In progetto è prevista la realizzazione di un fabbricato industriale che verrà utilizzato dalla committenza per il proprio ciclo tecnologico.

Lo stesso sarà realizzato con un solo piano senza interrato e sarà ubicato nella porzione sud dell'area, attualmente interessata dall'allevamento polli.

La porzione nord sarà invece adibita a piazzale per il deposito dei containers.

Non si prevede che ci siano punti di concentrazione di carico.

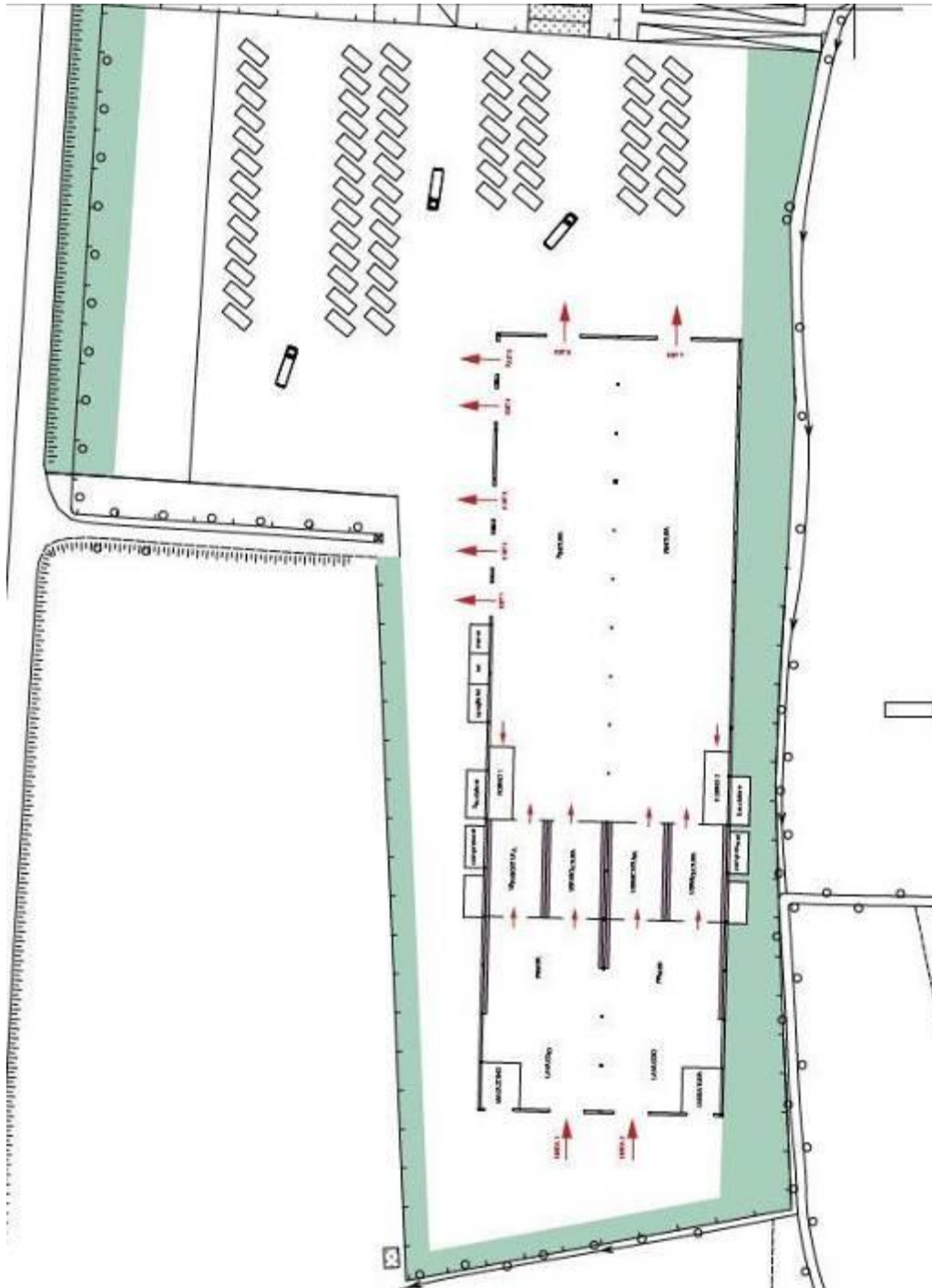


Fig. 15 estratto progetto



## 7. Indagini geotecniche

Di seguito si riportano le indagini eseguite per la caratterizzazione geotecnica del sito.

Le stesse sono:

- n.8 Prove penetrometriche scpt
- n.1 stendimento Masw

Sono inoltre state realizzate n.16 trincee di scavo.

Di seguito si riporta l'ubicazione delle indagini eseguite.

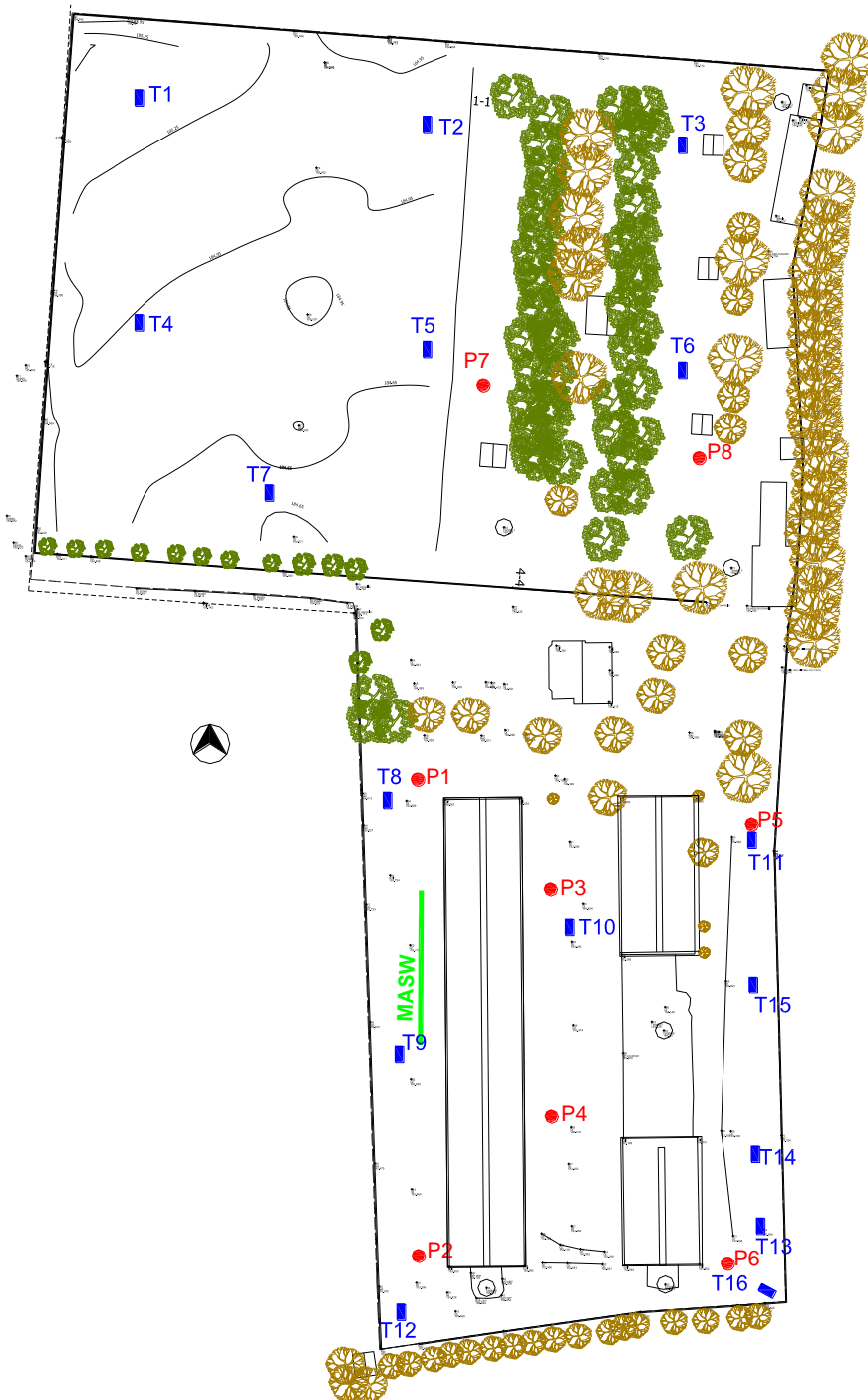


Fig. 16 Ubicazione indagini geotecniche



## 7.1 Trincee di scavo

Le trincee sono state realizzate principalmente per la verifica ambientale.  
Le stesse ci forniscono tuttavia un quadro della stratigrafia superficiale.




Fig. 17 escavatore gommato

Sotto il profilo stratigrafico le trincee eseguite hanno evidenziato andamenti non sempre coerenti. L'area è interessata da corpi lenticolari che determinano passaggi laterali di litologie differenti che vanno da sabbie fini limose a ghiaie in blanda matrice limosa. Tratto comune è la presenza di una matrice coesiva (limosa) a volte prevalente ma sempre presente.

Di seguito si riportano le schede delle singole trincee realizzate.

<b>TRINCEA T1</b>	
Ubicazione	Prato nord
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 2.0 m Limo con ciottoli 2.0 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T2</b>	
Ubicazione	Prato nord
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.6 m terreno di coltivo 0.6 - 1.5 m Limo con intercalazioni sabbiose 1.5 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	


<b>TRINCEA T3</b>	
Ubicazione	Area cavalli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.3 m Massicciata superficiale 0.3 - 2.0 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa 2.0 - 2.5 m Limo grigio con ciottoli
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	



---

**TRINCEA T4**

---

Ubicazione	Prato nord
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 1.0 m Limo con ciottoli 1.0 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	


---



---

**TRINCEA T5**

---

Ubicazione	Prato nord
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 1.0 m Limo con ciottoli 1.0 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	


---





TRINCEA T6	
Ubicazione	Area cavalli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.3 m Massiciata superficiale 0.3 - 2.2 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa 2.2 - 2.5 m Limo grigio con ciottoli e frustoli vegetali
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

**TRINCEA T7**

Ubicazione	Prato nord
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.3 m terreno di coltivo 0.3 - 0.8 Ghiaia limosa 0.8 - 1.6 m Sabbia fine 1.6 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	


<b>TRINCEA T8</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.2 m terreno di coltivo 0.2 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	



---

**TRINCEA T9**

---

Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

---

<b>TRINCEA T10</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 2.0 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa 2.0 - 2.5 Limo sabbioso con rari ciottoli
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	





TRINCEA T11	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.5 m terreno di coltivo 0.5 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T12</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.4 m terreno di coltivo 0.4 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T13</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.4 m terreno di coltivo 0.4 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T14</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.3 m terreno di coltivo 0.3 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T15</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	2.5 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.4 m terreno di coltivo 0.4 - 2.5 m Ghiaia e sabbia in forte matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici
Documentazione fotografica	

<b>TRINCEA T16</b>	
Ubicazione	Allevamento polli
Profondità	1.0 m dal p.c.
Stratigrafia	0 - 0.4 m terreno di coltivo 0.4 - 1.0 m Ghiaia e sabbia in matrice limosa
Criticità	Non sono stati rinvenuti elementi potenzialmente critici

## 7.2 Prove penetrometriche

### 7.2.1 Ubicazione delle prove

I dati di seguito elaborati sono stati ricavati da una campagna di N.8 prove SCPT.



Fig.18 Prova penetrometrica P1

### 7.2.2 Modalità di esecuzione della prova

La prova consiste nell'infiggere un'asta, di dimensioni e geometria standard, nel terreno tramite battitura di un maglio (peso 73 kg) in caduta da un'altezza standard e contare il numero di colpi necessari per l'infissione di ogni trenta centimetri di asta. La prova viene considerata conclusa quando si superano i 50 colpi per arrivare al riferimento successivo (trenta cm). Questa situazione può essere ricondotta alla presenza di un livello di terreno ad elevata resistenza ma può anche essere imputabile alla presenza di un singolo ciottolo o blocco che impedisce l'avanzamento.

### 7.2.3 Interpretazione delle prove

Le prove eseguite evidenziano andamenti sostanzialmente coerenti. Fino alla profondità di 8.5 m dal p.c. si rileva la presenza di terreni in abbondante matrice coesiva aventi basso grado di addensamento.

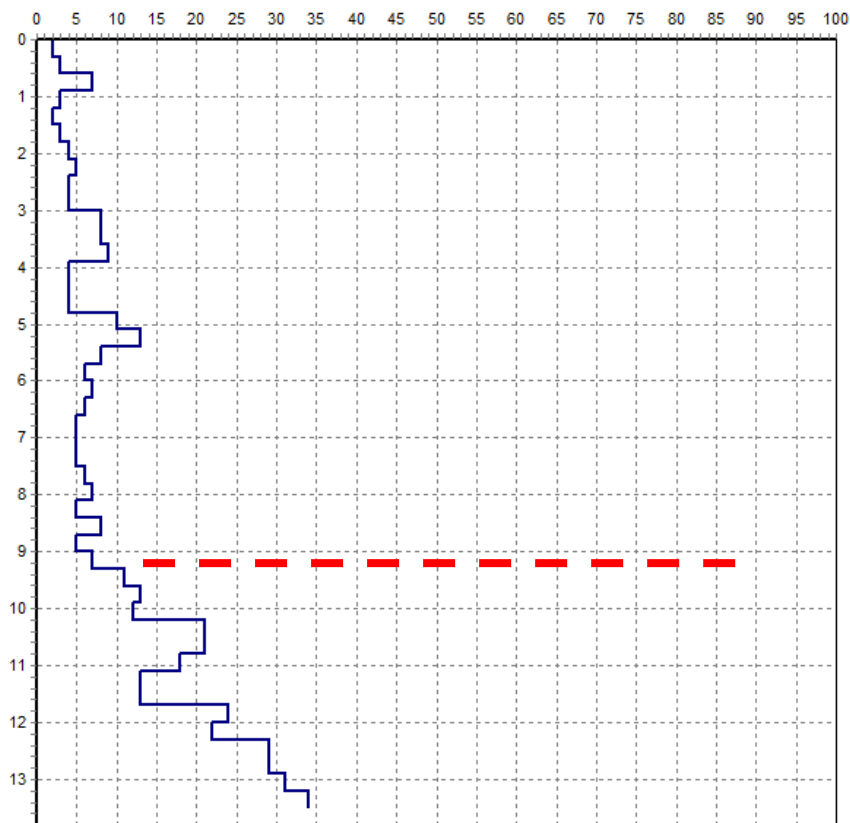
Al di sotto si rilevano terreni mediamente addensati, localmente si rilevano intercalazioni lenticolari sabbiose. Le caratteristiche geotecniche dell'area sono complessivamente scadenti. Si specifica che in n.2 prove sono stati installati micropiezometri per la verifica diretta della quota della falda. Questa è risultata a 3.70 m dal p.c.–



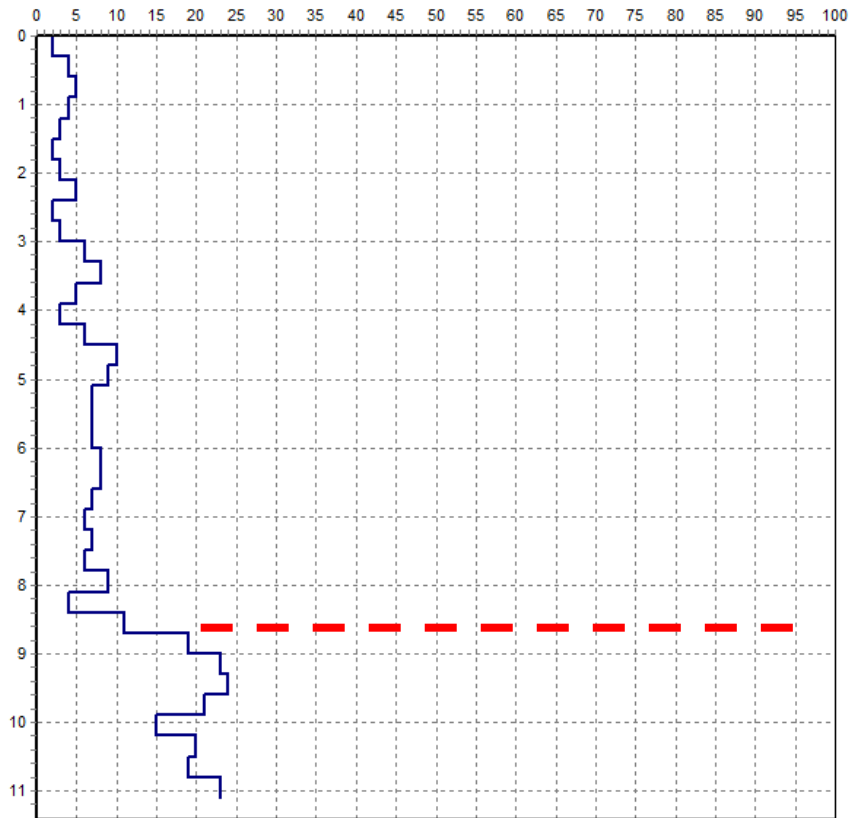


Fig.19 Micropiezometro installato nella Prova 8

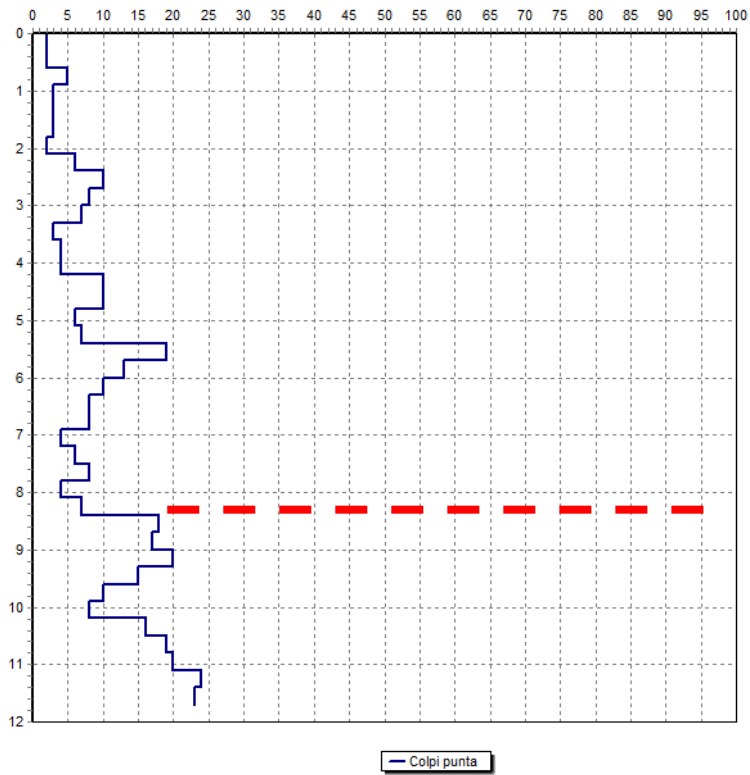
Prova 1



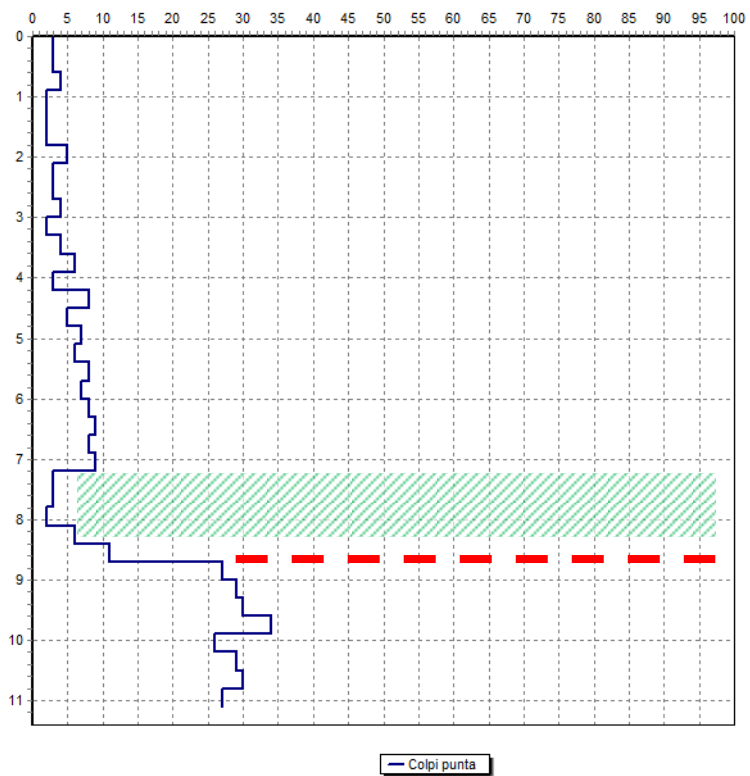
Prova 2



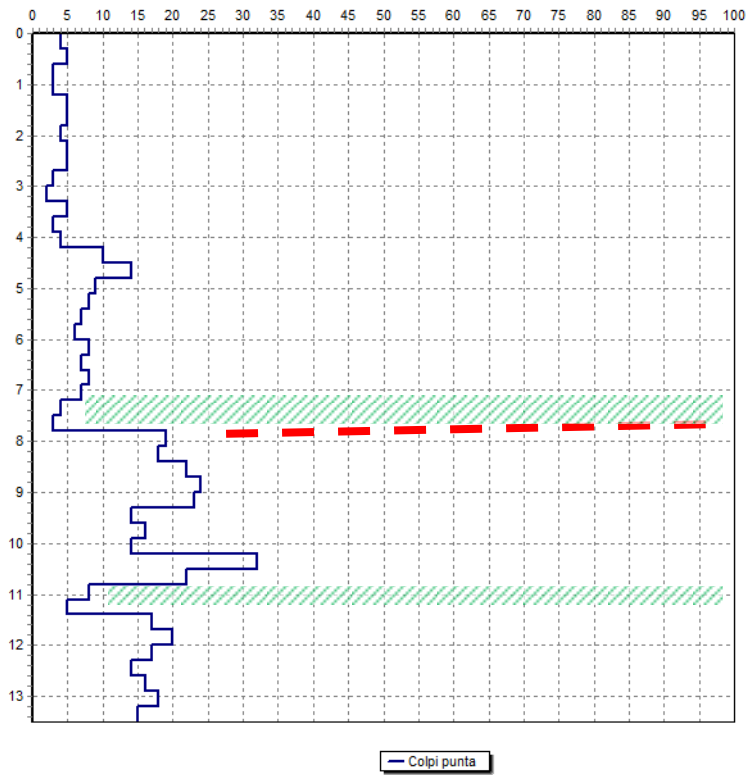
### Prova 3



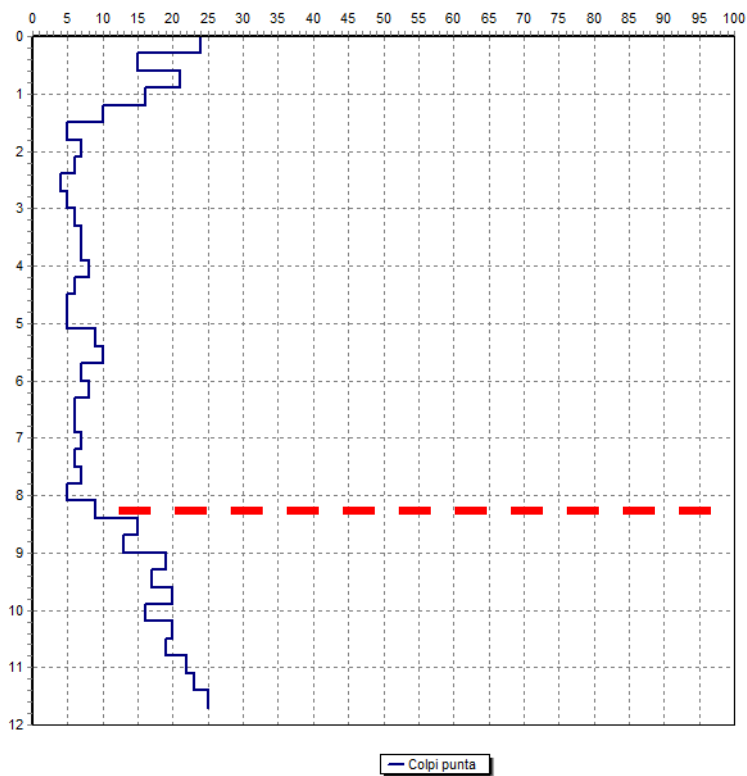
### Prova 4



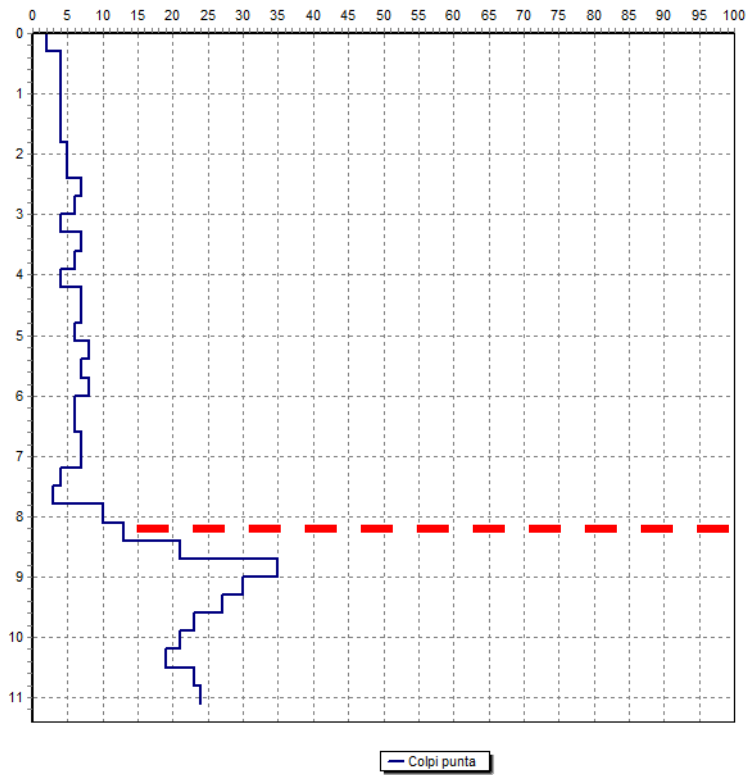
### Prova 5



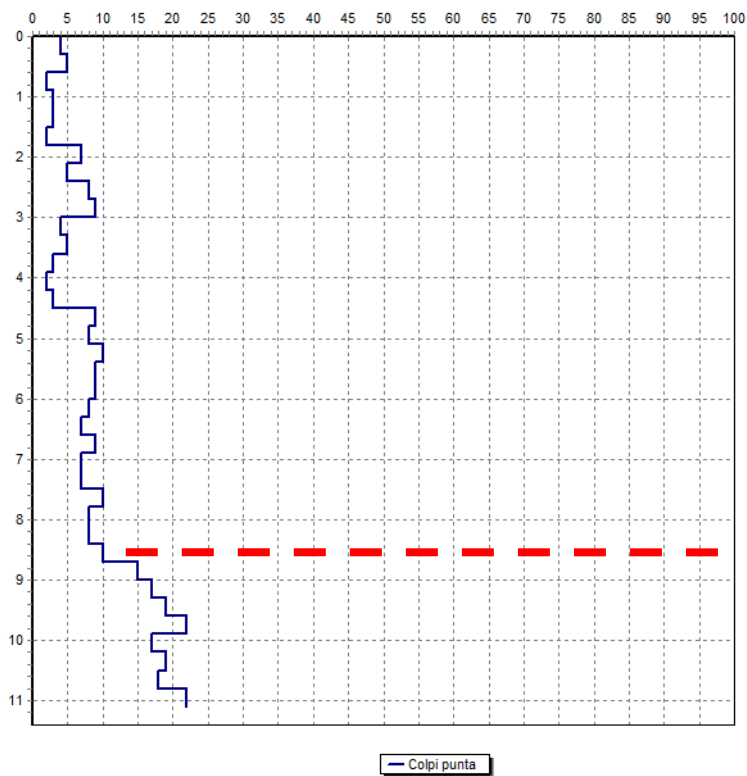
### Prova 6



### Prova 7



### Prova 8





## 7.3 Indagine geofisica MASW

Come previsto dalle NTC 2018 è stato realizzato uno stendimento Masw per la determinazione delle Vs, parametro necessario per la definizione della categoria del suolo di fondazione.

Lo stendimento è stato eseguito lungo il margine ovest, lo sviluppo è di 30 m di lunghezza.



Fig.20 Stendimento Masw

### 7.3.1 Metodologia M.A.S.W.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.



L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

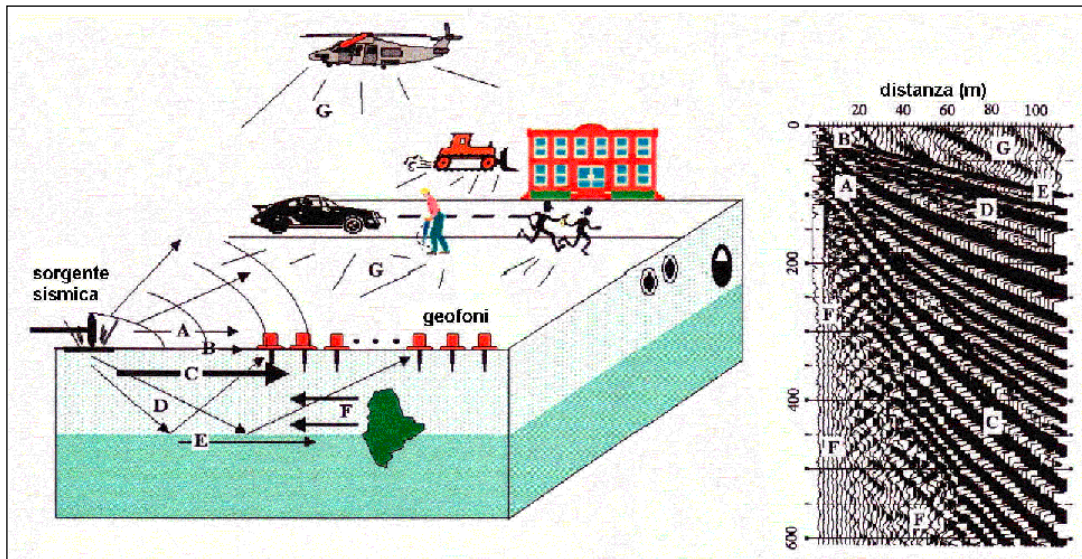
L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione, meglio a ventiquattro canali, collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

L'illustrazione di seguito riportata mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.



A: onde in aria

B: onde dirette

C: onde di superficie

D: onde riflesse

E: onde rifratte

F: onde riverberate

G: rumore ambientale

### 7.3.2 Strumentazione

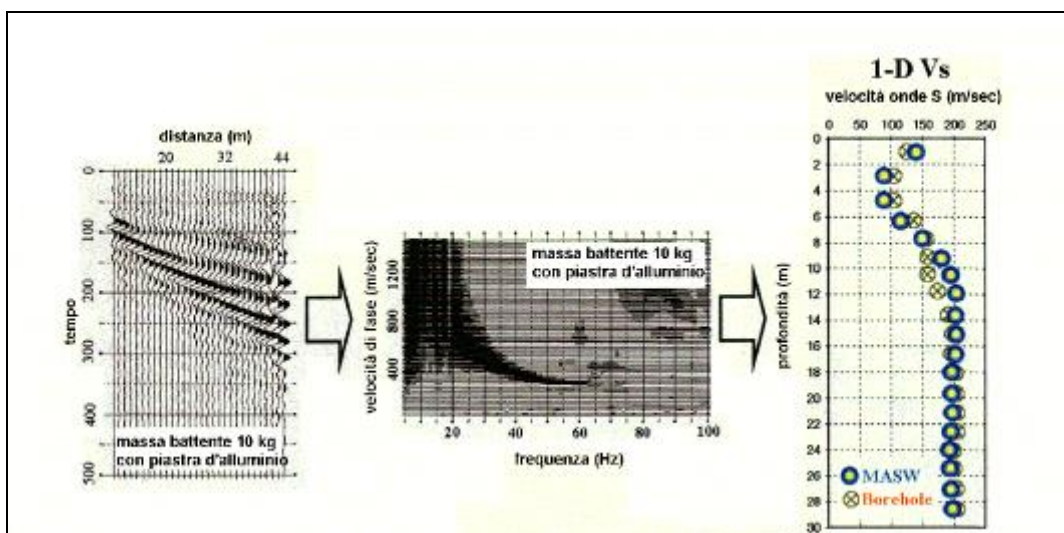
La strumentazione utilizzata è costituita da :

- Un sismografo PASI 16SG a 24 canali;
- 24 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 8 Kg

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità



Nel caso specifico i geofoni sono stati ubicati con spaziatura di 2 m mentre l'energizzazione (con mazza battente) è stata ubicata a 4 metri dal primo geofono.

### 7.3.3 Risultati dell'Indagine

In Allegato si riporta il report riassuntivo dei risultati dell' indagine geosismica M.A.S.W. articolata nelle due prove eseguite.

Nella tavola vengono mostrate la curva di dispersione, lo spettro f-k, il sismogramma ed il profilo delle velocità delle onde  $V_{s30}$  il cui valore è stato calcolato utilizzando la formula

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$  - esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m sottostanti le fondazioni dell'edificio in progetto, in questo caso da una quota di circa -1.0 m metri dall'attuale p.c.

L'interpretazione è quindi stata effettuata considerando l'intervallo da -1 m a -31 m dal piano campagna.

#### Interpretazione Prove MASW 1

<i>id</i>	<i>Spessore m dal p.c.</i>	<i>V onde s (m/s)</i>
1	2.1	150
2	4.8	220
3	5.6	280
4	17.6	580

La  $V_{s30(1)}$  ricavata dalla prova risulta essere:

$$V_{s30(1)} = 348.1 \text{ m/s}$$

Per entrambe le prove eseguite risulta una categoria del suolo di fondazione di CLASSE C.



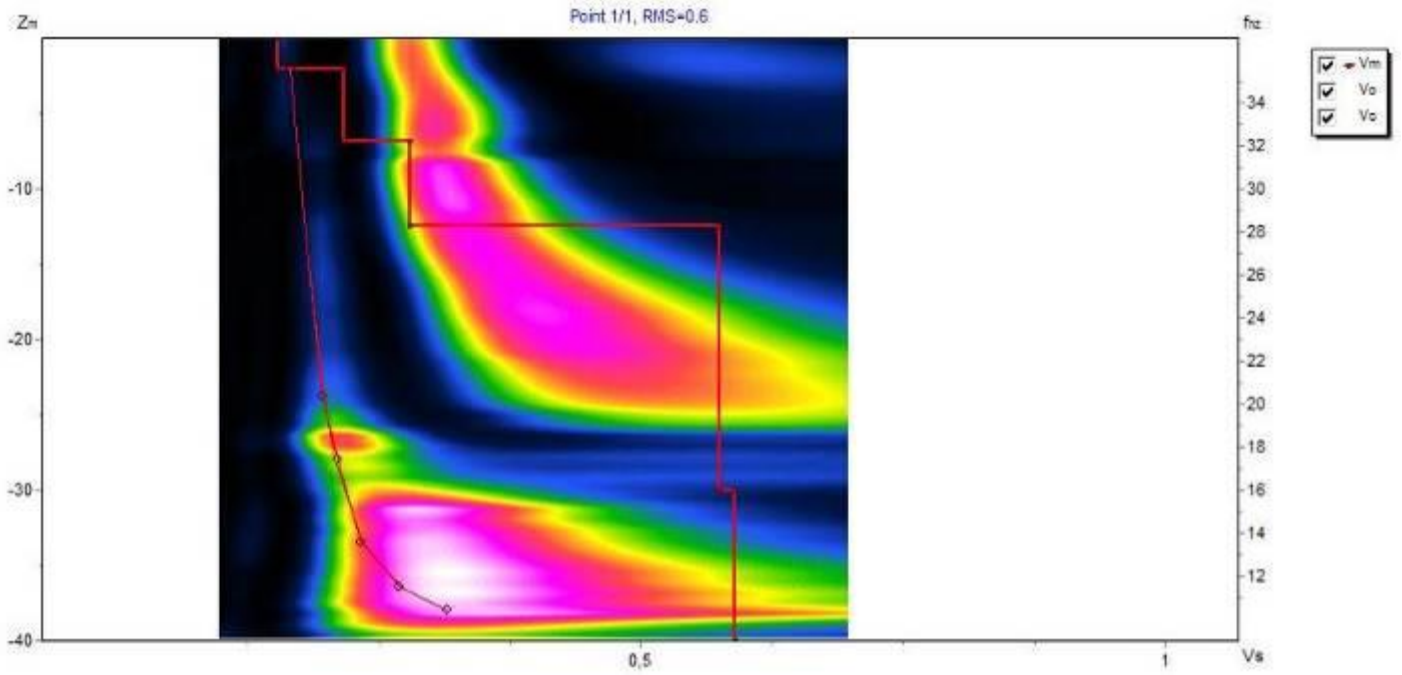


Fig. 21 Esiti della prova Masw

## 8. Modello geotecnico del sottosuolo

Sotto il profilo stratigrafico si rileva la presenza di terreni in forte matrice coesiva aventi basso grado di addensamento.

Tabella parametri caratteristici parametri geotecnici		
	Unità 1	Unità 2
Unità litologiche	Ghiaie e sabbie in abbondante matrice limosa con rari ciottoli	Ghiaie e sabbie in matrice limosa
Profondità	Da 0 a -8.5 m dal p.c.	Oltre 8.5 m dal p.c.
Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	1.7 / 1.9 g/cm <sup>3</sup>	1.8 / 2.0 g/cm <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ )	25 (°)	31 (°)
Coesione (cu) kg/cm <sup>2</sup>	0	0
Densità relativa Dr(%)	35	65

**Peso di Volume naturale:** è stata utilizzata la correlazione di Mayerhof confrontata con i valori proposti in letteratura per i terreni di analoga natura stratigrafica e origine.

**Densità relativa (Dr):** per la stima della Densità Relativa è stata utilizzata la correlazione fornita da Gibbs e Holtz, ottenuto mediante la relazione tra la resistenza alla penetrazione e la pressione verticale efficace.

**Angolo di attrito ( $\Phi$ ):** i dati sono stati elaborati utilizzando il metodo Road Bridge Specification  $\phi = \sqrt{(15 \text{ NSPT})} + 15$

## 9. Categoria del suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

In assenza di specifiche analisi si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, identificate sulla scorta dei dati della velocità media delle onde sismiche di taglio VS ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti delle prove penetrometriche dinamiche

CATEGORIE DEL SUOLO DI FONDAZIONE	
<b>A</b>	A – <i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
<b>B</b>	B – <i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</i> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media NSPT > 50, o coesione non drenata media $c_u > 250$ kPa).
<b>C</b>	C – <i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</i> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ , $70 < c_u < 250$ kPa).
<b>D</b>	D – <i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i> , caratterizzati da valori di Vs30 < 180 m/s ( $NSPT < 15$ , $c_u < 70$ kPa).
<b>E</b>	E – <i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</i> , con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800 m/s.

CATEGORIE AGGIUNTIVE DI SOTTOSUOLO	
<b>S1</b>	S1 – Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, con $10 < c_u < 20$ kPa e caratterizzati da valori di Vs30 < 100 m/s .
<b>S2</b>	S2 – Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.



Sulla base delle indagini effettuate e tenendo conto delle indicazioni fornite dallo studio geologico di supporto al PGT l'area in esame rientra nel complesso nella categoria di suolo C.

*C – Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < \text{NSPT} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa).*

## 10. Componente geologico applicativa del progetto

In progetto è prevista la realizzazione di un fabbricato industriale.

Lo stesso sarà privo di interrati con piano di posa delle fondazioni a circa -1 m dal p.c.

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi di origine alluvionale litologicamente costituiti da ghiaie e sabbie in abbondante matrice limosa, il grado di addensamento è basso e le caratteristiche geotecniche sono scadenti.

Non sono segnalati processi di dinamica geomorfologica in atto.

Le acque sotterranee sono attualmente poste alla profondità di 3.7 m dal p.c. ma è possibile che nella stagione estiva risalgano anche 2 - 2.5 m dal p.c..

Non essendo comunque previste strutture interrate non si prevedono interazioni con le acque sotterranee.

I materiali di scavo derivanti dalle movimentazioni potranno essere ricollocati all'interno dell'area aziendale (art. 185 D.Lgs. 152/06).

Qualora si preferisca predisporre l'allontanamento si dovrà fare riferimento alle procedure previste dal DPR 120/2017 o, alternativamente, potrà essere integralmente gestito come rifiuto ed inviato ad impianto autorizzato mediante apposito FIR.

Le verifiche della portanza dei terreni sono state condotte in condizioni statiche e dinamiche considerando gli stati limite ultimi.

### 10.1 Valutazione degli stati limite

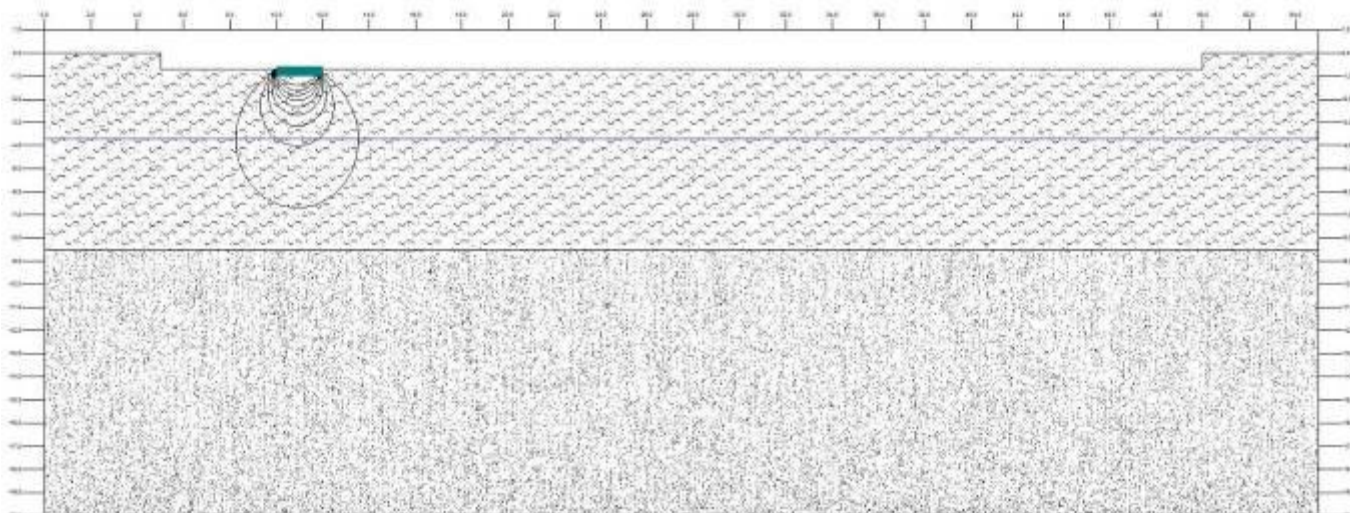
Di seguito si riportano i valori di portanza considerando la fondazione di progetto

Il calcolo viene eseguito in condizioni a breve termine considerando un angolo di resistenza al taglio pari a 25° e coesione pari a 0.02 kg/cm<sup>2</sup>; inoltre è stato considerato (nelle condizioni statiche) il carico assiale e il momento agente sulla base d'appoggio nullo. Il Peso di volume del terreno è stato valutato pari a  $\gamma = 1800 \text{ g/cm}^3$ .

La verifica viene eseguita considerando un plinto di fondazione posto alla quota di -1.0 m dal p.c..

Il calcolo viene sviluppato considerando una dimensione variabile da 2 a 4 m di lato con una profondità di immersione della fondazione pari a 0.3 m.





Come modello di calcolo è stata utilizzata la formula di Brich Hansen modificato:

$$Q_{amm} = (c N_c + D G N_q + 0,5 \cdot B \gamma N_\gamma) / 3 + s_{vn}$$

*Q<sub>lim</sub> = carico limite, espresso in Kg/cm<sup>q</sup>;*

*c = coesione del terreno di fondazione, espressa in Kg/cm<sup>q</sup>;*

*D = distanza minima tra il piano di fondazione e la superficie delle pavimentazioni oppure del giardino, espressa in cm;*

*γ = peso di volume del terreno, espresso in g/cm<sup>c</sup> ;*

*B = larghezza della fondazione, espressa in cm;*

*N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> = fattori di capacità portante calcolati in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno.*

*S<sub>vn</sub> = stato tensionale alla profondità di posa delle fondazioni*

### 10.1.1 Condizione statica

Di seguito si riportano i dati di portanza calcolati in condizioni statiche

La portanza della fondazione, in condizioni statiche, risulta pari a

Dimensione	Portanza kg/cm <sup>2</sup>
B=2 m	0.96
B= 3 m	1.16
B= 4 m	1.3

## 10.2 Condizioni dinamiche

Di seguito si riportano le valutazioni per la verifica di portanza in condizioni sismiche.

Per la verifica in condizioni dinamiche sono stati utilizzati i dati di pericolosità sismica locale desunti con il software ACCA.



**Parametri di pericolosità sismica**

Stato Libero	T <sub>1</sub> (anni)	A <sub>10</sub> (%)	F <sub>a</sub> (%)	T <sub>2</sub> (s)
Operatività	30	0.033	2.424	8.208
Carico	50	0.044	2.405	8.222
Sensazione VIB	675	0.134	2.412	8.278
Previdenza Collasso	915	0.163	2.408	8.278

Accelerazione sismica orizzontale	0.160 g
Categoria topografica	T1
Categoria di suolo	C
Fattore di amplificazione spettrale	2.480
Periodo di inizio Velocità costante Tc(s)*	0.275

La valutazione degli effetti cinematici sulla fondazione è stata condotta utilizzando la formula di Paolucci e Pecker con l'introduzione del  $k_{hk}$ , coefficiente sismico orizzontale riferito al piano di posa delle fondazioni.

$k_{hk}$	0.056
Inclinazione del carico dovuto al sisma	10.9°

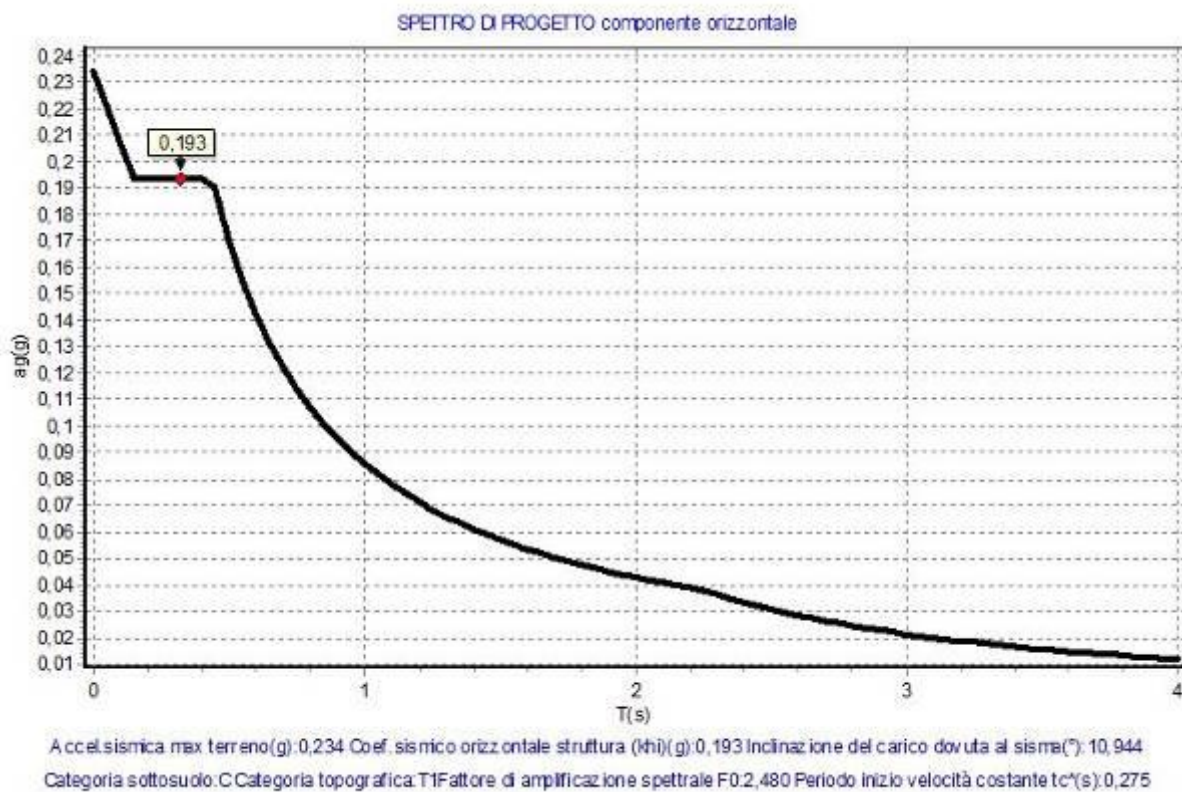


Fig. 22 Spettro di progetto

La portanza della fondazione, in condizioni sismiche, risulta pari a :

Dimensione	Portanza kg/cm <sup>2</sup>
B= 2 m	0.68
B= 3 m	0.81
B= 4 m	0.90

## 10.3 Valutazione dei cedimenti

La valutazione dei cedimenti indotti dai carichi applicati è stata eseguita METODO DI Schmertmann(1970), basato sui risultati di prove penetrometriche dinamiche SPT.

$$Stot = C1 \times C2 \times Q \times DH \times \text{sommatoria}(Iz/E);$$

in cui:

*Q=carico netto applicato sulla fondazione;*

*C1=fattore correttivo per tener conto dell'approfondimento della fondazione: (99)*

*C1 = 1 - 0.5 x (P/Q); dove P=Pressione efficace al piano di posa della fondazione;*

*C2=fattore correttivo per tener conto del cedimento secondario: (100) C2 = 1 + 0.21 x Log ( T/0.1);  
dove: T=tempo di calcolo del cedimento in anni;*

*DH=spessore dello strato;*

*E= modulo di deformazione dello strato; i valori di E consigliati da Schmertmann sono i seguenti (101):*

*E=2 x Rp (sabbie fini e limo);*

*E=3.5 x Rp (sabbie medie);*

*E=5 x Rp (sabbia grossolana);*

*E=6 x Rp (sabbia e ghiaia); con Rp=resistenza alla punta media dello strato;*

*Iz= fattore d'influenza per tener conto della diffusione del carico netto applicato sulla fondazione nel terreno; ha una distribuzione di tipo triangolare che dipende dalla geometria della fondazione: fondazioni quadrate: Iz=0.1 per z=0 - Iz=0.5 per z=B/2 - Iz=0 per z=2xB;*

Il cedimento viene calcolato con il metodo di Schmertmann considerando un carico di 0.95 kg/cm<sup>2</sup>.

Dimensione	Cedimento complessivo mm
B=2 m	14.4
B= 3 m	21.6
B= 4 m	28.8

Il cedimento risulta critico solo nel caso di fondazione 4m x 4 m con carico pari a 0.95 kg/cm<sup>2</sup>

## 11. Analisi del rischio sismico

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di un'area possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale.

Le caratteristiche della zona possono in sostanza generare due tipologie di effetti

**Amplificazione sismica locale:** riguardano le modifiche di ampiezza, durata, e frequenza di un evento sismico durante l'attraversamento delle onde sismiche degli strati di terreno sovrastanti il substrato. Tali amplificazioni possono essere legate alla topografia della zona, morfologie articolate ed irregolari, ed alle caratteristiche litologiche del sito, morfologie sepolte, corpi lenticolari etc.

**Effetti di instabilità:** interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese per esempio versanti instabili, pareti con caduta massi etc.

Con l'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stata formulata una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in n.4 zone di pericolosità decrescente.

Il territorio di Cologno al Serio è stato inserito in ZONA 3 di cui si forniscono le caratteristiche:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ $a_g/g$ ]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-015	0,15
4	< 0,05	0,05

Di seguito si riportano i valori dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali e verticale in funzione della categoria del suolo di fondazione.

### COMPONENTE ORIZZONTALE

Categoria di suolo	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A	1.00	0.15	0.40	2.00
B-C-E-	1.25	0.15	0.50	2.00
D	1.35	0.20	0.80	2.00

### COMPONENTE VERTICALE

Categoria di suolo	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A-B-C-E	1.00	0.05	0.15	1.00



L'area in esame non è caratterizzata da morfologie particolari o irregolarità topografiche tali da indurre amplificazioni sismiche, tuttavia particolare attenzione deve essere rivolta alla verifica del possibile innesco della liquefazione del terreno.

Tale fenomeno consiste nella diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento delle condizioni di fluidità, la perdita totale di resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua interstiziale eguaglia la pressione di confinamento.

Di seguito si riporta la verifica del possibile innesco del fenomeno. I calcoli vengono sviluppati considerando cautelativamente una soggiacenza di -2.5 m dal p.c, utilizzando il metodo di Seed & al. (1985) secondo cui la resistenza alla liquefazione può essere stimata con la seguente formula:

$$R = Na/90$$

con:

$$Na = N_{spt} \left( \frac{1.7}{\sigma_v + 0.7} \right) + N_1$$

$\sigma_v$ (kg/cmq) = pressione verticale efficace;

$N_1$  = 0 se  $d_{50}$ (mm) > 0.25, 7.5 se  $d_{50}$ (mm) ≤ 0.25.

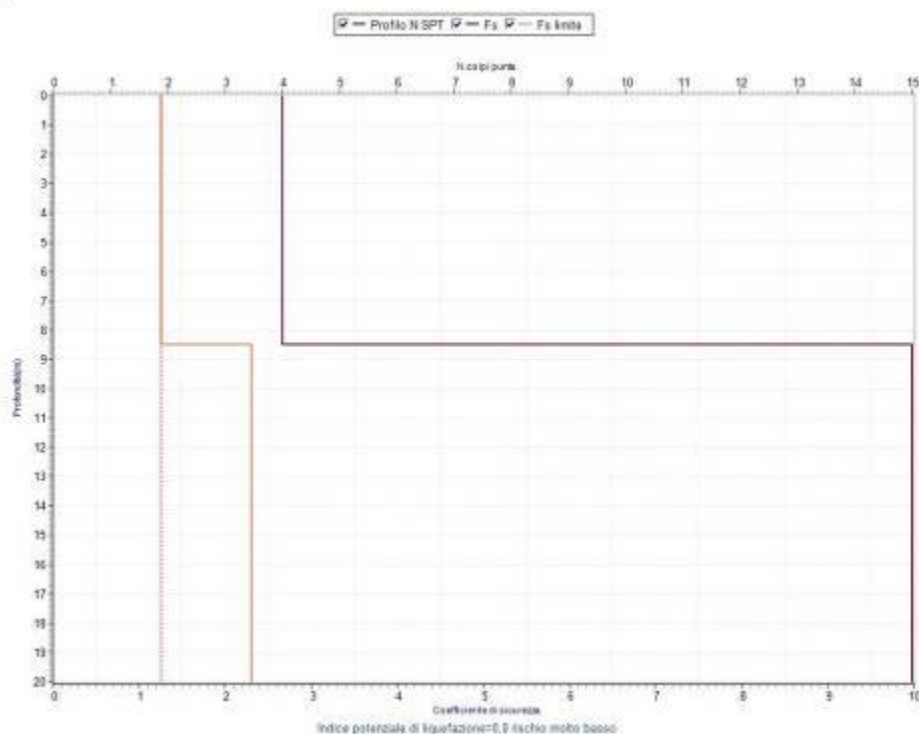


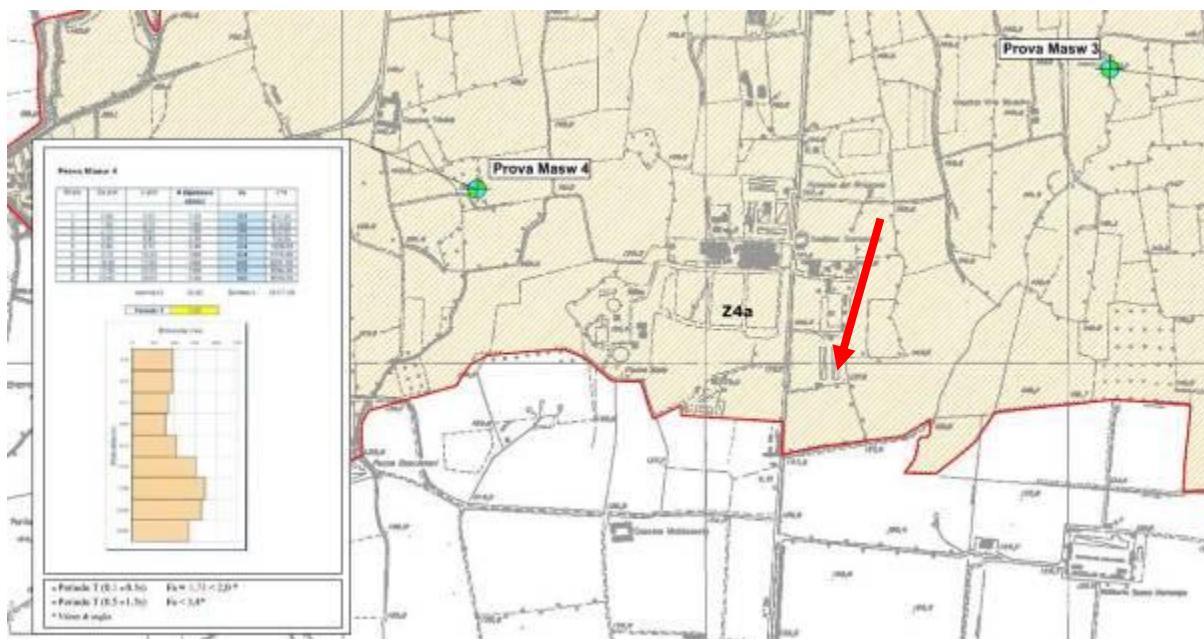
Fig. 23 Verifica liquefazione

Viene considerato non liquefacibile un deposito in cui sia  $F_s > 1.3$ .

Localmente non vi sono elevate criticità di innesco di fenomeni di liquefazione.

## 11.1 Analisi sismica di primo livello

Di seguito si riporta un estratto della Carta di Pericolosità sismica. L'area in esame si colloca in una zona identificata in zona Z4a "zona di fondovalle con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi"



**Zona sismica di appartenenza: Zona 3**

**Analisi di primo livello:**


 Classe di pericolosità sismica **Z4a**  
 Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

Fig. 24 Estratto carta PSL

## 11.2 Analisi sismica di secondo livello

L'analisi sismica viene condotta secondo le specifiche fornite dall'All. 5 D.G.R. N. IX/2616/2011 della Regione Lombardia.

La procedura dell'analisi sismica di 2° livello consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).

Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1–0.5 s e 0.5–1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1–0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5–1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

La procedura richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ( $V_s \geq 800$  m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico – geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di

Fa nell'intervallo 0.1–0.5 s e nell'intervallo 0.5–1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello.

Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1–0.5 s e 0.5–1.5 s.

Per ciò che attiene ai dati di input si è fatto riferimento ai dati acquisiti nel corso dell'esecuzione dell'indagine geotecnica e di seguito riassunti.

### 11.2.1 Individuazione della scheda di valutazione

Come previsto dalle linee guida regionale si è proceduto a confrontare curve di propagazione delle onde di taglio con le curve di riferimento attualmente disponibili.

Di seguito si riporta la sovrapposizione tra le curve fornite dalla normativa e quanto ottenuto dalla Masw.

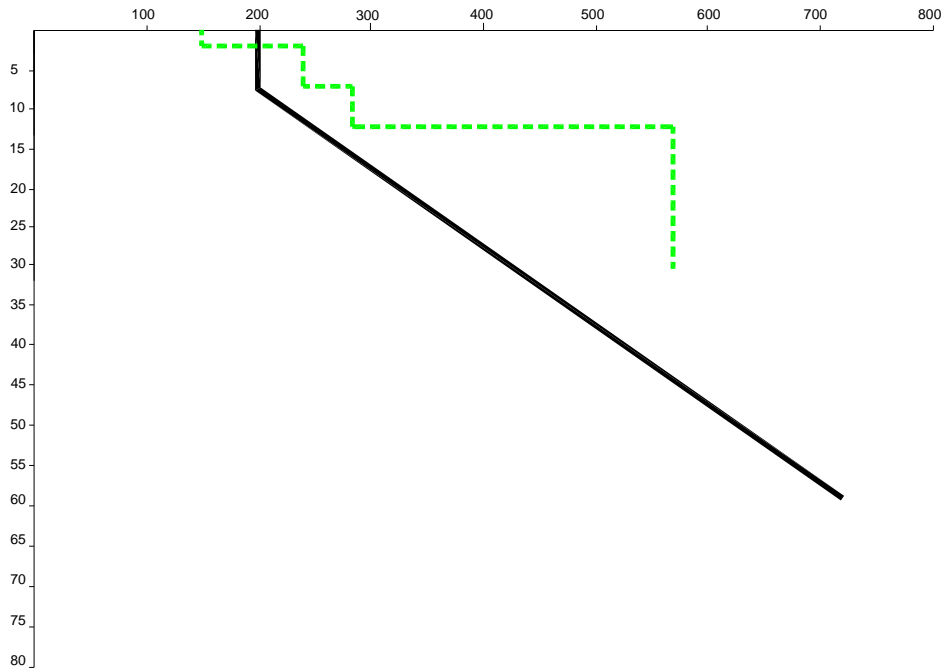


Fig. 25 Sovrapposizione curve di riferimento con Masw

Dal confronto tra le curve regionali e l'andamento rilevato risulta che la scheda maggiormente rispondente sia: SCHEDA LITOLOGICA LIMOSO SABBIOSA TIPO 2.



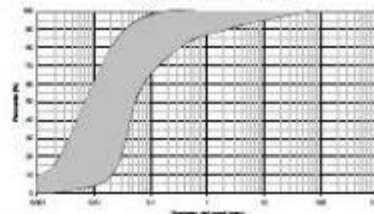
**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2**

**PARAMETRI INDICATIVI**

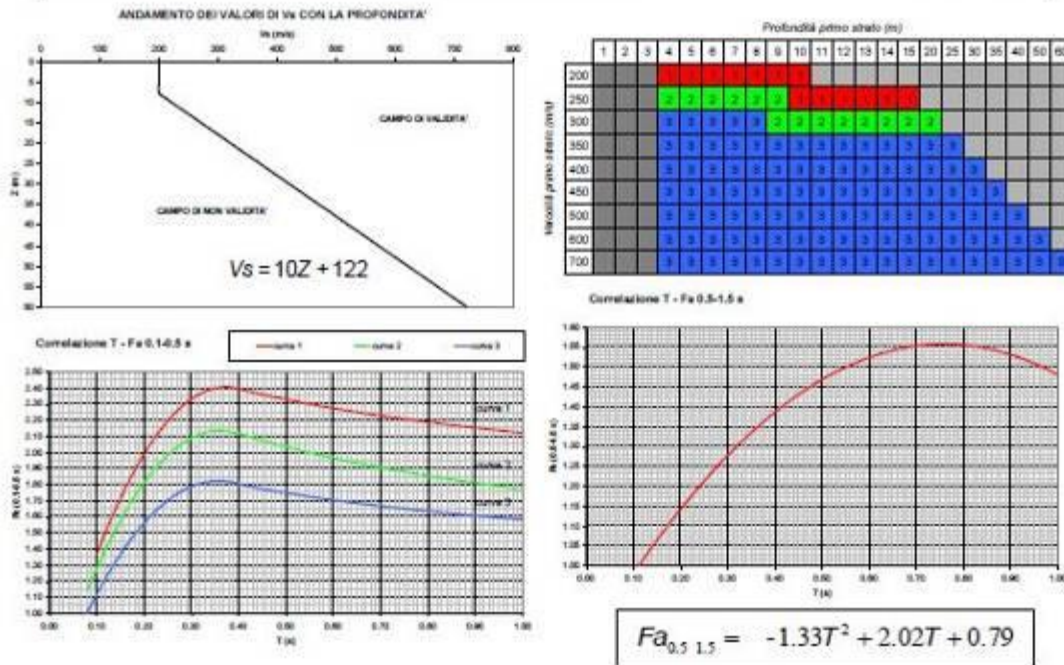
**GRANULOMETRIA:**  
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

**NOTE:**  
Comportamento coesivo  
Frazione limosa ad un massimo del 95%  
Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm  
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%  
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%  
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%  
**A FIANCO:** range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

**RUOLO GRANULOMETRICO INDICATIVO**



PARAMETRO	VALORE	INTERVALLO
Peso di volume naturale	20 (kN/m <sup>3</sup> )	18.5-21.5
Peso specifico particelle solide	2.65 (Mg/m <sup>3</sup> )	26.0-27.0
Contenuto d'acqua naturale	20 (%)	20-30
Limite di liquidità	40 (%)	25-35
Limite di plasticità	10 (%)	10-20
Indice di plasticità	30 (%)	6-18
Indice di vuoti	e	0.6-0.9
Grado di saturazione	S (%)	80-100
Coefficiente di spinta a titolo	K <sub>0</sub>	0.4-0.8
Indice di compressione	C <sub>c</sub>	0.10-0.30
Indice di consolidamento	C <sub>u</sub>	0.05-0.08
Coefficiente di compressibilità secondaria	C <sub>α</sub>	0.002-0.006
Modulo di elasticità (MPa) (val. 100-1000)	E <sub>50</sub>	2-30



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Fig. 26 Scheda litologia limoso sabbiosa tipo 2

## 11.2.2 Calcolo del periodo proprio del sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio VS fino alla profondità a cui si raggiunge un valore pari a o superiore a 800 m/s.

Nel caso in esame, le indagini condotte non hanno consentito l'individuazione della profondità del bedrock sismico pertanto si è reso necessario eseguire una estrapolazione del dato.

La Masw realizzata rileva, alla quota di -31 m dal p.c., la velocità della Vs pari a 580 m/s.

Per l'individuazione del bedrock sismico si è fatto riferimento alla stratigrafia del pozzo del Comune di Cologno, ubicato a nord dell'area di progetto.

Concessionario	Domicilio	Comune	Prov.
COMUNE DI COLOGNO AL SERIO	VIA ROCCA 2/A	COLOGNO AL SERIO	BG

n. colonna	Profondità (m dal p.c.)	Diametro (cm)	n. filtri	Profondità inizio primo filtro (m)	Profondità fine ultimo filtro (m)
1	180	32,3	3	104	162

N. livello	Inizio livello (cm)	Spessore livello (cm)	Descrizione
1		80	Terreno vegetale
2	80	820	Terreno argilloso con ciottoli
3	900	1300	Ghiaie sabbiose con ciottoli (primo acquifero)
4	2200	170	Argilla con lenti di conglomerato
5	2370	1230	Ghiaie e ciottoli con lenti di conglomerati
6	3600	300	Argilla con ciottoli
7	3900	850	Conglomerato compatto
8	4750	300	Argilla gialla
9	5050	1250	Argilla grigia
10	6300	200	Argilla nera e torba
11	6500	150	Argilla sabbiosa verde
12	6650	100	Ghiaia sabbia lignite
13	6750	750	Argilla grigia
14	7500	200	Argilla nera e torba
15	7700	600	Argilla compatta con ghiaia
16	8300	350	Argilla scura compatta con fossili e lignite
17	8650	50	Argilla compatta con ghiaino
18	8700	30	Ghiaia media con sabbia compatta (arenaria)
19	8730	370	Ghiaietto con argilla rossiccia molto compatta (ceppo)
20	9100	150	Argilla limosa grigia con fossili
21	9250	450	Argilla compatta con fossili (ceppo)
22	9700	1000	Argilla marrone compatta con ghiaietto (ceppo)
23	10700	200	Limo argilloso con ghiaia (risalienza)
24	10900	900	Argilla grigia con ghiaia e fossili
25	11800	250	Argilla sabbiosa gialla
26	12050	450	Argilla marrone con ghiaietto (ceppo)
27	12500	250	Ghiaia legata con sabbia (filtrazioni)
28	12750	2550	Argilla grigia con fossili e lignite strati con ghiaia e conglomerati
29	15300	300	Argilla marrone
30	15600	400	Ghiaia con ciottoli poligenici arrotondati sabbie
31	16000	450	Argilla sabbiosa gialla
32	16450	3250	Argilla grigia con fossili
33	19700	800	Argilla nera
34	20500	1500	Argilla grigia

Fig. 27 Stratigrafia pozzo Comune di Cologno

Visionata la stratigrafia si valuta, come possibile bedrock sismico, l'orizzonte posto alla quota di 77 m dal p.c..

Per il calcolo del periodo proprio si è fatto riferimento alla seguente relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Il periodo del terreno, calcolato sulla scorta degli esiti della masw e delle stratigrafie dei pozzi vicini, risulta pari a T= 0.53.

### 11.2.3 Calcolo del fattore di amplificazione

Per il calcolo fattore di amplificazione litologico locale è necessario dapprima individuare lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dalla superficie avente spessore minimo di 4 m.

La velocità per i primi 4 m risulta pari a 183 m/s.

La curva da utilizzare per il calcolo della Fa è pertanto la curva 3.

Di seguito si riporta il fattore di amplificazione calcolato.

fattore di amplificazione	T 0.1 - 0.5 s	T 0.5 - 1.5 s
Fa	2.3	1.4

Di seguito si riporta il raffronto tra i valori calcolati (ottenuti dai dati acquisiti in campo) ed i valori forniti dalla Regione Lombardia per il Comune di Cologno al Serio.

fattore di amplificazione	T 0.1 - 0.5 s	T 0.5 - 1.5 s
Fa calcolato	<b>2.3</b>	<b>1.4</b>
Fa Regione Lombardia per Cologno al Serio (suolo tipo C)	1.9	2.4

Dalla verifica emerge che il dato regionale di amplificazione risulta adeguato per le strutture aventi periodo compreso tra 0.5 - 1.5 s, risulta invece NON adeguato per gli edifici aventi periodo compreso tra 0.1 - 0.5c.

**Per quest'ultima tipologia di edifici si dovrà fare riferimento allo spettro della categoria D del suolo di fondazione (Fa= 2.3).**