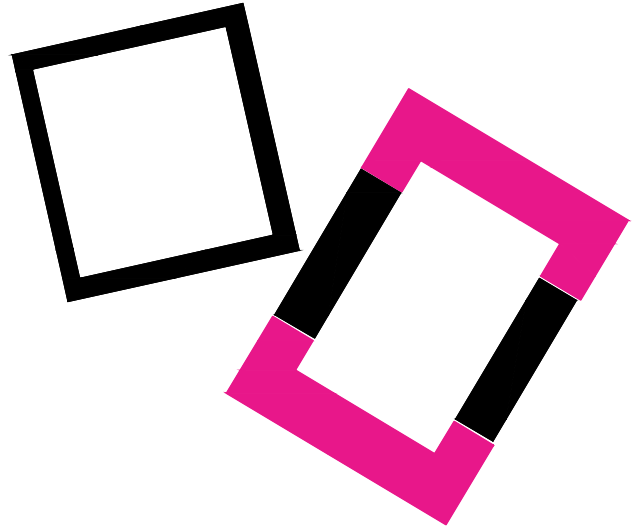




STADIO "ATLETI AZZURRI D'ITALIA"
PIANO ATTUATIVO



PROPRIETA' E COORDINAMENTO GENERALE

STADIO ATALANTA SRL

Via G. Paglia, 1/D
24122 - Bergamo
T +39 035 280 111 F +39 035 225 761

COMUNE DI BERGAMO

Palazzo Frizzoni, piazza Matteotti, 27
24122 - Bergamo
T +39 035 399 111 F +39 035 066 2696

TAVOLA

ARCH

B16

SCALA



ELABORATO

PROGETTUALE

DATA

NOVEMBRE 2017

EMISSIONE

REV. A

PROGETTO ARCHITETTONICO E URBANISTICO

DE8 ARCHITETTI

Via Portico 59/61, 24050, Orio al Serio, Bg
T +39 035 530 050 F +39 035 199 010 67
info@deottostudio.com
www.deottostudio.com



OGGETTO

Relazione Geologica

VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA E IMPATTO AMBIENTALE

Iter Ingegneria del Territorio S.r.l.

Via C. Colombo 23, 20090 - Trezzano S/N, Mi
T +39 02 484 68 519 F +39 02 484 00 429



AVANZAMENTO

REVISIONE

01

PROGETTO MOBILITA'

Iter Ingegneria del Territorio S.r.l.

Via C. Colombo 23, 20090 - Trezzano S/N, Mi
T +39 02 484 68 519 F +39 02 484 00 429



n°	descrizione description	data date	eseguito drawn	approvato approved
0	prima consegna	03.2018		
1	numero tavola modificato	05.2018		

RELAZIONE CONDOTTA IDRAULICA

dott.ing. Sergio Taccolini
N.1234 Albo Ingegneri Bergamo

dott.ing. Fabio Gagni
N. 2713 Albo Ingegneri Bergamo

STUDIO TACCOLINI INGEGNERI ASSOCIATI

24122 BERGAMO - VIA ZAMBONATE, 81 Tel./Fax 035.244309 e-mail: taccoliniassociati@sonic.it



Regione
Lombardia

MODULO 9

DICHIARAZIONE / ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO
DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PUNTO
6.2.1 DELLE N.T.C. DM 14/01/08 e/o DALLA D.G.R. IX 2616/2011

Il sottoscritto MARCO BELLOLI
iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione LOMBARDIA n. AP. 355 incaricato in
data 27/12/17 da STADIO ATALANTA SRL
per conto di "
di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento NUOVO STADIO

eseguito in Comune di BERGAMO Località STADIO
Via n° CAP 24124
Comune Catastale A794 BERGAMO Foglio n. 22 Mappale o Particella 1221, 5578

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1)
- D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1)
- D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, ai sensi dello studio geologico comunale redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, le caratteristiche geologiche del sito di intervento sono:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- | | | |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti | <input type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica | <input checked="" type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica | |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input type="checkbox"/> Nessuno scenario | |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
- Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previsti dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR IX/2616 del 30 novembre 2011:

- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo RACCOLTA DATI BIBLIOGRAFICI - PROVE PENETROMETRICHE - STENDIMENTO SISMICO MASW E HVSR
- indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

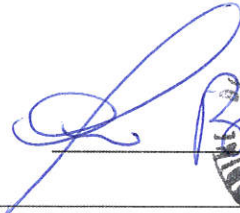
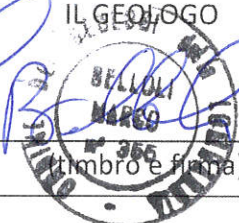
- F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
 - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione :
 - A
 - B
 - C
 - D
 - E
 mediante la seguente tipologia d'indagine PROSPEZIONE SISMICA MASW-HVSR
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
 - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione:
 - T1
 - T2
 - T3
 - T4
 mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:10000
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:
- esclusione della verifica (punto 7.11.3.4.2 NTC), opportunamente motivata in relazione
 - verifica di stabilità (punto 7.11.3.4.3 NTC) mediante la seguente metodologia
- I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:
- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
 - previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
 - previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
 - non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
 - sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Data 26/01/2018


 IL GEOLOGO

 (timbro e firma)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – INSTABILITA'

Nel caso di scenari PSL di tipo Z1a, Z1b e Z1c (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616) per tipologia di frane in terra

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Modello geologico del sito <input type="checkbox"/> Classificazione USCS dei materiali <input type="checkbox"/> Modello geotecnico del sito 		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Analisi all'equilibrio limite in condizioni statiche (FS) e pseudo-statiche (FS_{ps}) 		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> FS_{ps} ≥ 1.3 <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 1.1 ≤ FS_{ps} < 1.3 <p align="center">Obbligo del 2° grado di approfondimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> FS_{ps} < 1.1 <p align="center">Obbligo del 3° grado di approfondimento</p>
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza <input type="checkbox"/> Stima dello spostamento atteso mediante relazioni empiriche disponibili in letteratura opportunamente scelte e motivate 	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento			
Risultati al 2° grado di approfondimento		<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 2 cm <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Spostamento > 2 cm <p align="center">Obbligo del 3° grado di approfondimento</p>
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rilievo topografico di dettaglio <input type="checkbox"/> Indagine di sismica rifrazione <input type="checkbox"/> Indagini in sito di tipo diretto tramite sondaggio/i a carotaggio continuo <input type="checkbox"/> Prove in foro <input type="checkbox"/> Prove di laboratorio su campioni indisturbati
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Analisi dinamiche semplificate (metodo degli spostamenti)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 5 cm <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Spostamento > 5 e ≤ 15 cm <p align="center">Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Spostamento > 15 cm <p align="center">OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO</p>
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di stabilità con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti) 			

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – AMPLIFICAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{SH} > 250$ m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato <input checked="" type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	<input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni 2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione Fine approfondimento

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Valore di Magnitudo massima attesa ☐ Valore di a_{max} in superficie ☐ Soggiacenza della falda ☐ Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo 		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione 		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti <p align="center">Obbligo del 2° grado di approfondimento</p>	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<ul style="list-style-type: none"> ☐ Prove in sito per la determinazione indiretta del parametro di resistenza ciclica CRR ☐ Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi 	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<ul style="list-style-type: none"> ☐ Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative 	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<ul style="list-style-type: none"> ☐ $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ☐ $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) <p align="center">Obbligo del 3° grado di approfondimento</p>
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> ☐ Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> ☐ Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione I_L valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			<ul style="list-style-type: none"> ☐ $I_L \leq 2.0$ <p align="center">Fine approfondimento SITO STABILE</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ $2.0 < I_L \leq 5.0$ <p align="center">Verifica DI AMMISSIBILITA' DEL CEDIMENTO ATTESO STIMATO</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ $I_L > 5.0$ <p align="center">OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO</p>
☐ Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			



ASACERT
INFORMAZIONI 2018



COMUNE: BERGAMO
PROVINCIA: BERGAMO
COMMITTENTE: STADIO ATALANTA SRL
OGGETTO: INDAGINE GEOGNOSTICA

RELAZIONE GEOLOGICA (R3) ai sensi della DGR 2616/2011
(R1) ai sensi del DM 14/01/08

DATA: GENNAIO 2018



La presente relazione ha esclusive finalità geologiche. Si scoraggia e ci si dissocia da ogni altro uso od interpretazione impropria, ad esempio ambientale o tecnico economica.
E' vietata la riproduzione non autorizzata di questo documento ed ogni sua divulgazione incompleta

1.0 RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 PREMESSA

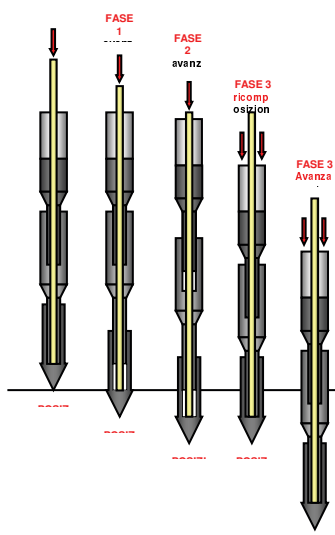
L'indagine geognostica è consistita in via preliminare nella:

- esecuzione di N° 2 prove penetrometriche dinamiche continue con metodo SCPT, spinte a profondità di 7.5 metri nei cui fori al recupero delle aste è seguita la posa di un tubo micropiezometrico; le prove sono state eseguite in via preliminare principalmente finalizzate alla verifica, in funzione della realizzazione del parcheggio interrato, della eventuale presenza superficiale di acqua sotterranea. Le prove sono state eseguite in corrispondenza di due aiuole perimetrali l'area parcheggio antistante la curva Sud dello Stadio Comunale di Bergamo, in data 29 novembre 2017;
- esecuzione di N°2 prove penetrometriche statiche con metodo CPT spinte a rifiuto per disancoraggio dello strumento; nell'ambito di un foro delle stesse è stato possibile installare un tubo micropiezometrico. Le prove sono state eseguite in data 18 gennaio 2018 in zona interna allo stadio;
- prospezione geofisica che ha comportato la esecuzione di N° 2 stendimenti MASW a 24 canali e N°2 prospezioni HVSR, in zona interna allo stadio.

L'ubicazione delle prove risulta in Tavola N°1.

1.2 METODOLOGIA DELL'INDAGINE

1.2.1 Modalità esecutive delle prove penetrometriche statiche



La prova penetrometrica statica C.P.T. (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate.

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo (ovvero zavorrato), che agisce su

una batteria doppia di aste (aste esterne cave ed aste interne piene coassiale), alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario all'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura con lettura digitale dei valori misurati collegato al martinetto idraulico.

La punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate e precisamente:

- diametro di base del cono $\varnothing = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $B = 60^\circ$
- superf. laterale manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

Nella prova penetrometrica statica viene infissa nel terreno una punta conica, avente un angolo di apertura pari a 60° , un diametro di 35,7 mm e una superficie di 10 cm^2 , mediante un'attrezzatura di spinta ed una batteria di aste ad una velocità costante di $2 \text{ cm/s} \pm 0,5 \text{ cm/s}$.

Al di sopra della punta si ha il manicotto, con un diametro pari a 35,7 mm, una lunghezza di 133 mm ed una superficie di 150 cm^2 , sul quale viene misurata la resistenza di attrito laterale (f_s). La prova penetrometrica statica **CPT** (Cone Penetration Test), può essere eseguita in una vasta gamma di terreni che vanno dalle sabbie dense alle argille tenere ed è tra le più significative per valutare la successione stratigrafica di un terreno, identificando la natura degli strati attraversati e fornendo una stima di alcuni parametri geotecnici.

Viene frequentemente utilizzata anche in considerazione della rapidità di esecuzione, del costo limitato e della sua efficienza fornendo valori che sono caratterizzati da un buon grado di affidabilità. Esse possono fornire anche una guida per una scelta più appropriata di altre indagini da eseguire, permettendo l'individuazione di aree critiche e di strati nei quali effettuare il prelievo di campioni per eseguire prove di laboratorio.

Durante l'avanzamento in continuo della punta a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/s}$) vengono rilevati ad intervalli regolari di 0,20 m i seguenti parametri:

FASE 1. La **punta conica** viene fatta avanzare nel terreno per **4 cm** mediante la spinta che viene esercitata su una batteria di aste di piccolo diametro, le quali scorrono liberamente all'interno di una batteria di tubi di rivestimento. In questa circostanza viene misurata la resistenza alla punta (q_c).

$$(Resistenza\ alla\ Punta\ q_c\ (kg/cm^2) = L\ punta/10)$$

FASE 2. Successivamente all'infissione della sola punta conica, questa viene fatta avanzare sempre mediante la batteria di aste interne di altri **4 cm** insieme al **manicotto laterale**. In questa occasione viene misurata la resistenza totale data dalla somma della resistenza alla punta e di quella laterale del manicotto.

$$(Resistenza\ Laterale\ Locale = f_s\ (kg/cm^2) = (L\ laterale - L\ punta) / 150);$$

FASE 3. In questa fase, agendo sui tubi esterni, si ha la ricomposizione dello strumento (**8 cm**) e si procede all'avanzamento di tutto l'insieme, punta conica - manicotto laterale - rivestimento, per altri **12 cm**.

$$(Resistenza\ Totale = R_t\ (kg) = L\ totale)$$

In sostanza si ottiene, ogni 20 cm di verticale di indagine una informazione relativa alla resistenza alla punta (q_c) ed una relativa alla resistenza laterale (f_s). Quest'ultima viene ottenuta sottraendo alla resistenza totale misurata nella FASE 2 la resistenza alla punta misurata nella FASE 1.

$$R_{laterale} = R_{totale} - R_{punta}$$

La buona diffusione di questo tipo di prova e la standardizzazione delle modalità operative consentono d'ottenere una significativa caratterizzazione dei terreni interessati, nonché un'attendibile identificazione geotecnica dei parametri caratteristici e di conseguenza l'utilizzo delle formule geotecniche principali.

I relativi diagrammi penetrometrici sono presenti in allegato n°1.

Oltre ai valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto R_p/R_l fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977) ovvero in base ai valori di R_p e del

rapporto $Fr = (Rl/Rp)\%$ (esperienze di Schmertmann - 1978). Si vedano queste valutazioni in allegato n° 2.

1.2.2 Modalità esecutive delle prove penetrometriche dinamiche

La prova consiste nell'infissione a battitura di aste di \varnothing 34 mm.

L'infissione avviene mediante battitura con un maglio di 73,5 kg di peso che cade automaticamente da un'altezza di 75 cm.

Il numero N di colpi che rappresenta la resistenza alla penetrazione a qualsiasi profondità misurata per ogni affondamento della punta di 30 cm viene riportato in un diagramma continuo di penetrazione mentre in ascissa è indicato il numero di colpi necessario per un avanzamento dell'utensile di 30 cm, in ordinata la profondità.

1.2.3 Modalità della prospezione geosismica con metodo M.A.S.W.

1.2.3.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

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 (V_s), 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.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) e fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e

proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

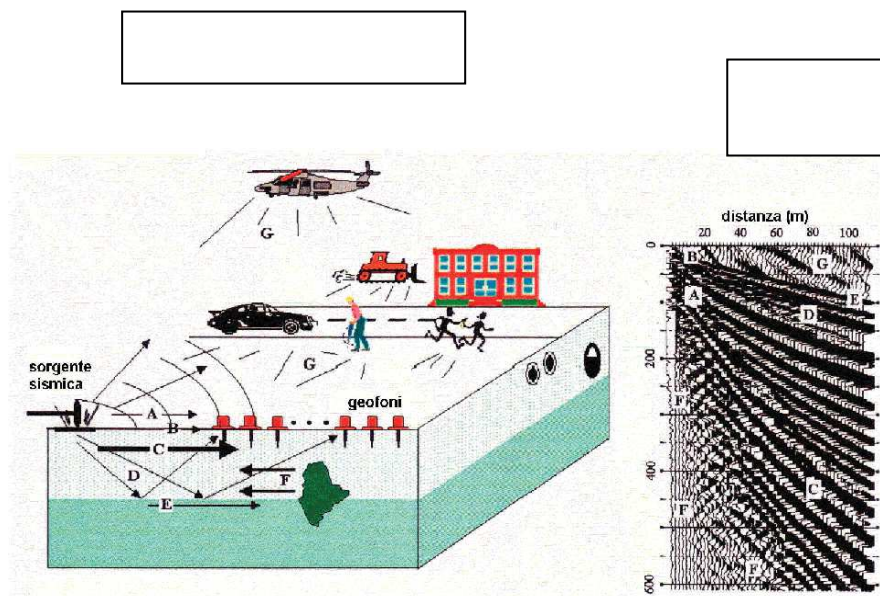
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole 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).

Per quanto riguarda 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 (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La strumentazione utilizzata per la acquisizione dei dati è costituita da:

- Un sismografo Sara Electronic Instruments a 24 canali;
- 24 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 6 Kg con relativa piastra di battuta



- | | |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria | E: onde rifratte |
| B: onde dirette | F: onde riverberate |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse | |

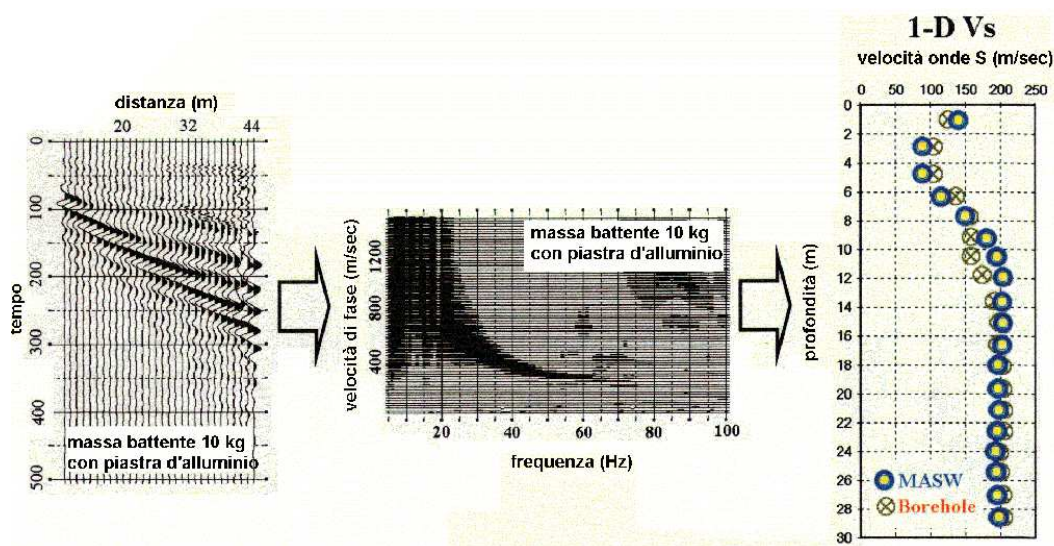
VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE

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:

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



1.2.3.2 Risultati

Di seguito sono riportati i risultati della prova MASW. Nella report riassuntivo vengono mostrate la curva di dispersione, lo spettro f-k, il sismogramma ed il profilo delle velocità delle onde Vs₃₀ 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 metri) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i – esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{s30} come riportato nella seguente tabella.

A	<i>Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ KPa nei terreni a grana fine)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ KPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Nell'indagine eseguita si sono riscontrati i seguenti valori calcolati:

Masw 1: $V_{s30} = 361.2$ m/s (ipotesi con piano fondazione a 2 m da p.c.) – 378.0 m/s (ipotesi con piano fondazione a 4 m da p.c.)

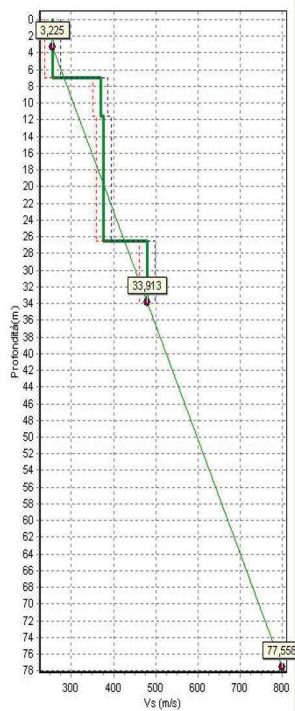
Masw 2: $V_{s30} = 368.6$ m/s (ipotesi con piano fondazione a 2 m da p.c.) – 387.1 m/s (ipotesi con piano fondazione a 4 m da p.c.)

Si vedano di seguito i tabulati dell'interpretazione delle prospezioni sismiche MASW.

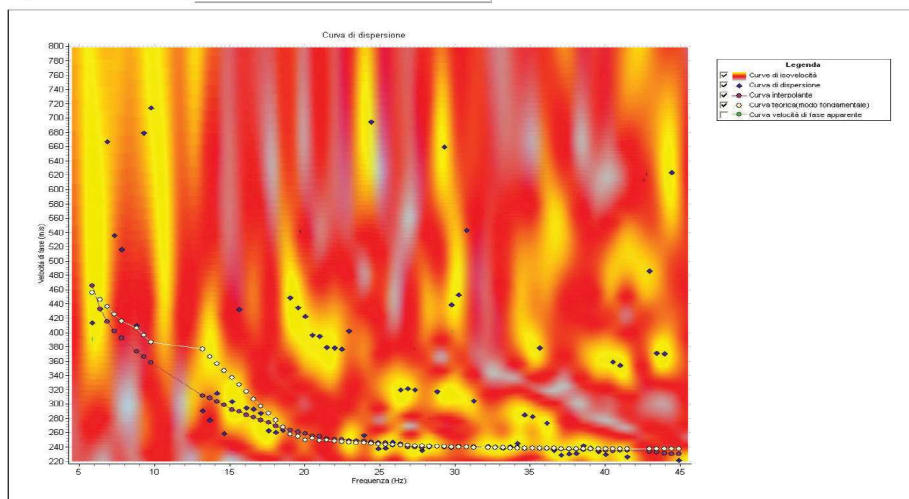
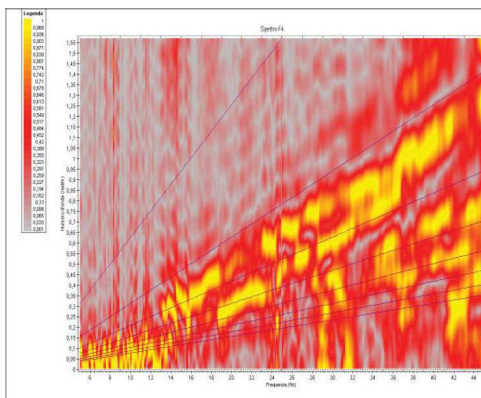
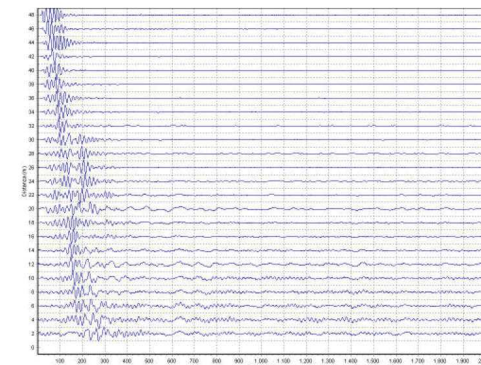
La tipologia stratigrafica risulta essere: categoria di sottosuolo di tipo B, da confermarsi a seguito di verifica di secondo livello.

RIASSUNTO interpretazione MASW 1 Bergamo c/o Stadio Atalanta

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	7,0	255,0
2	11,5	369,0
3	26,5	377,0
4	34,0	480,0

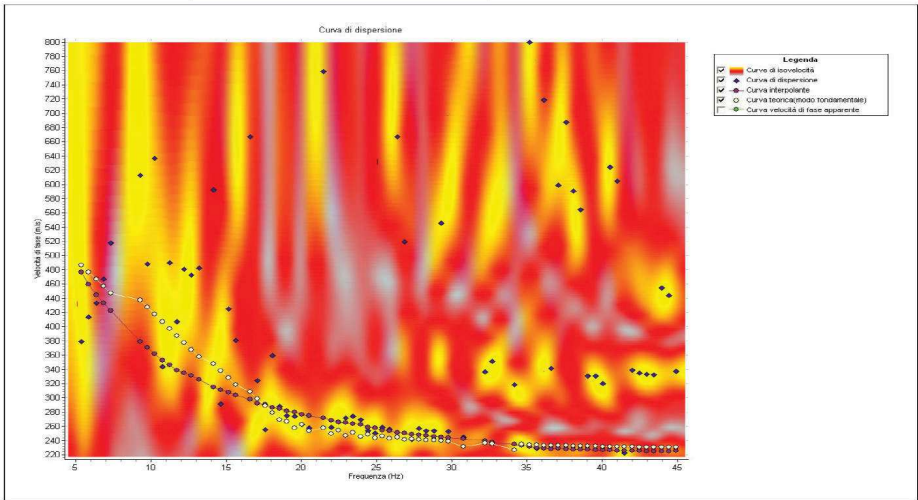
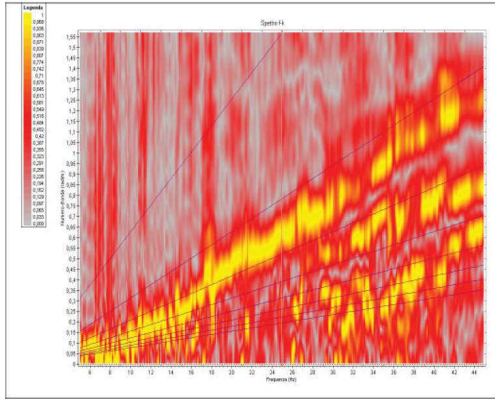
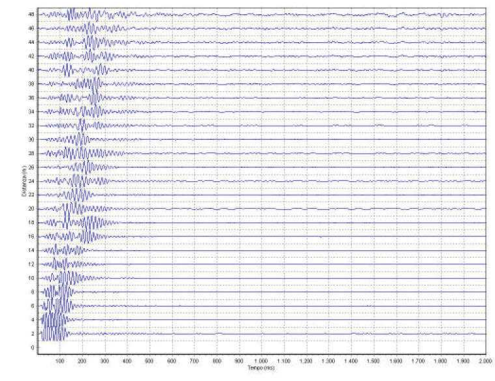
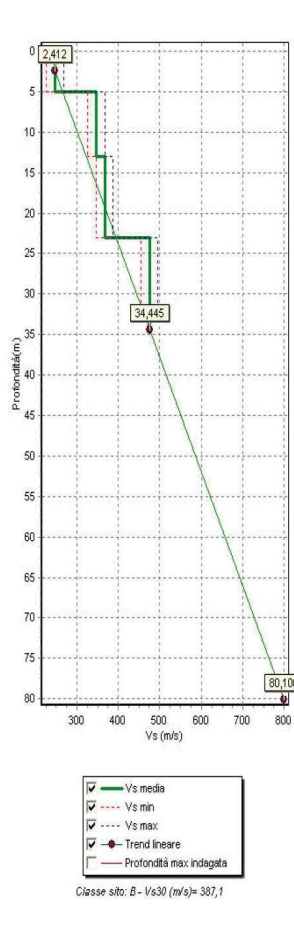


Classe sito: B - Vs30 (m/s) = 378,0



Riassunto interpretazione MASW 2 Bergamo c/o Stadio Atalanta

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	5,0	247,0
2	13,0	347,0
3	23,0	367,0
4	34,0	475,0

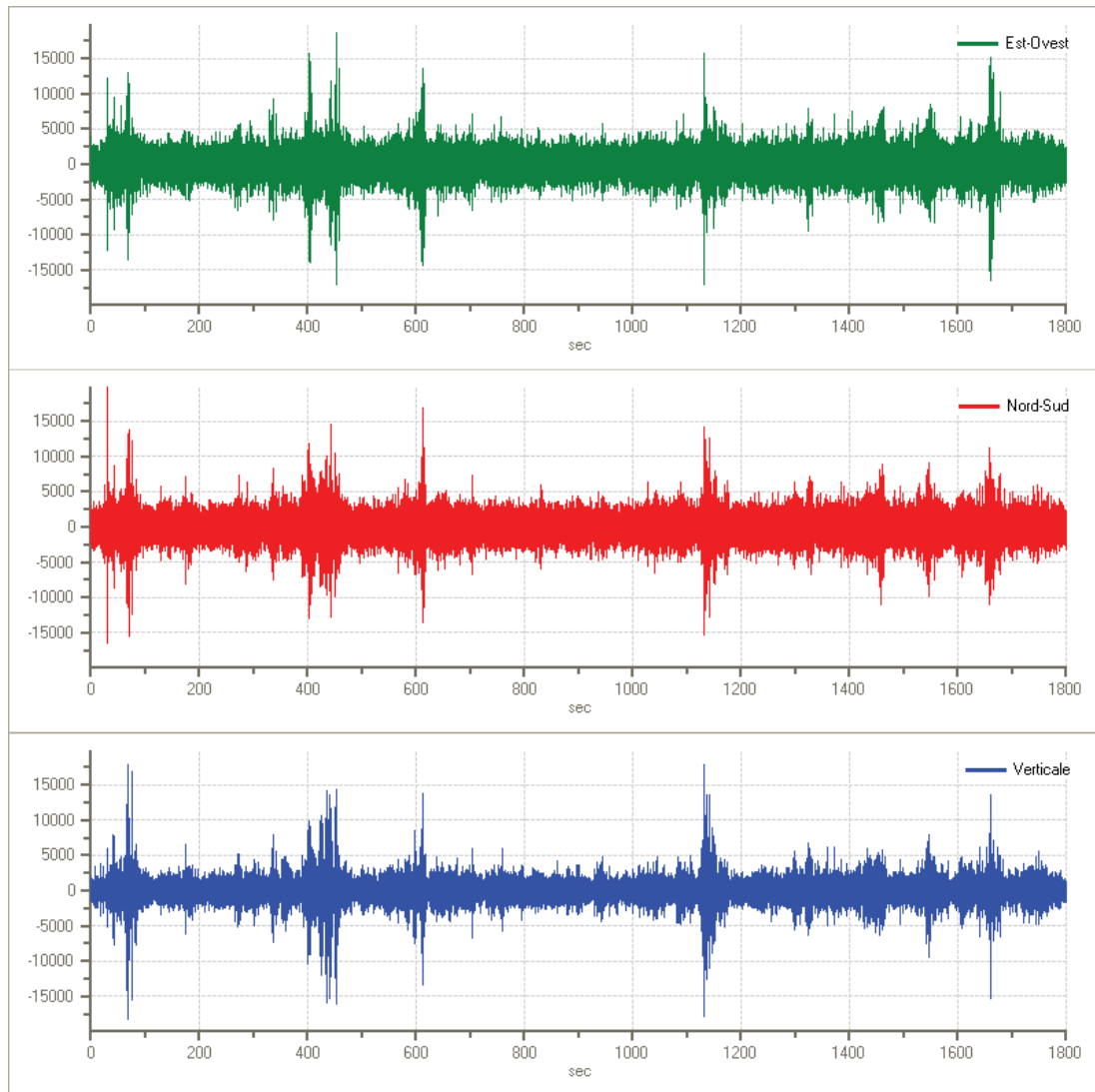


1.2.4 Modalità della prospezione geosismica con metodo geofisico H.V.S.R.

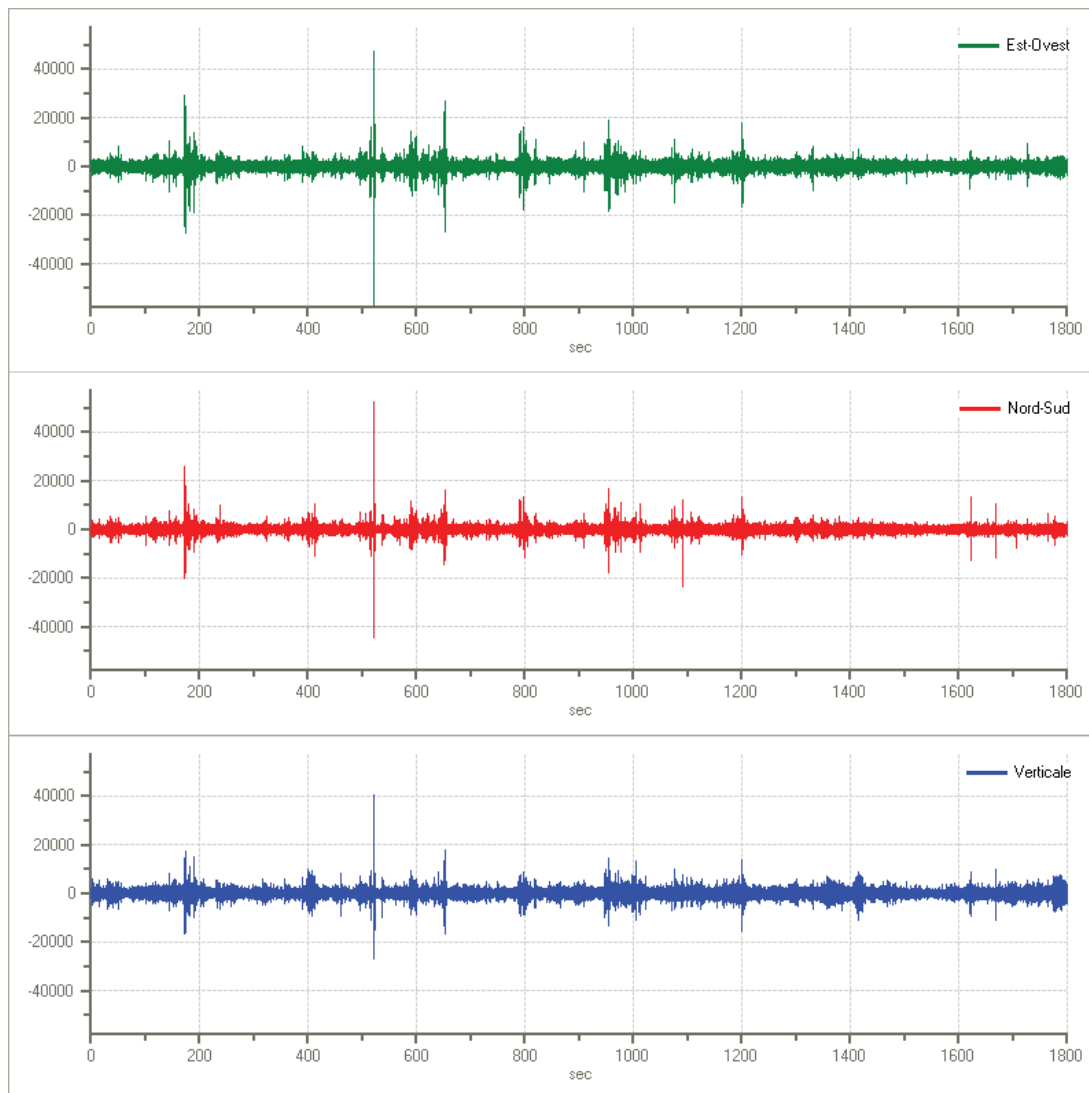
La tecnica H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

La tecnica H.V.S.R. richiede l'utilizzo di un *velocimetro triassiale*, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti).

Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore.



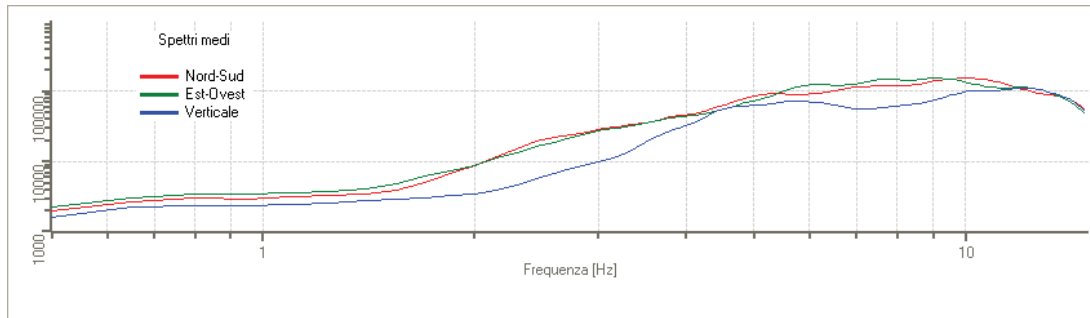
Grafici registrazioni tracce nelle 3 direzioni – HVSr 1



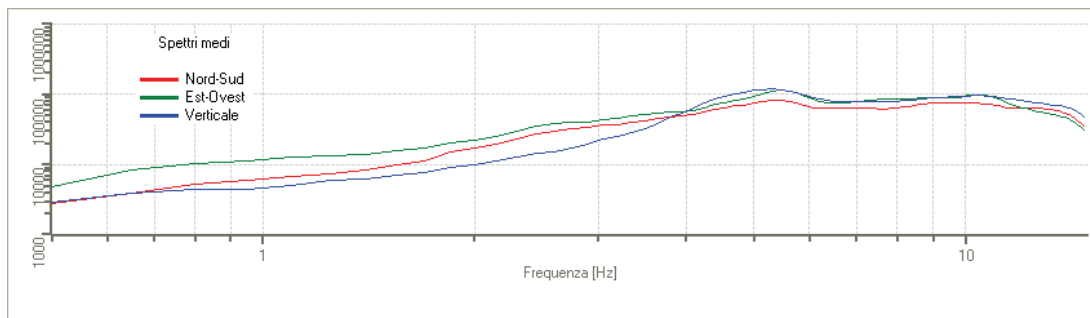
Grafici registrazioni tracce nelle 3 direzioni – HVSr 2

Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della

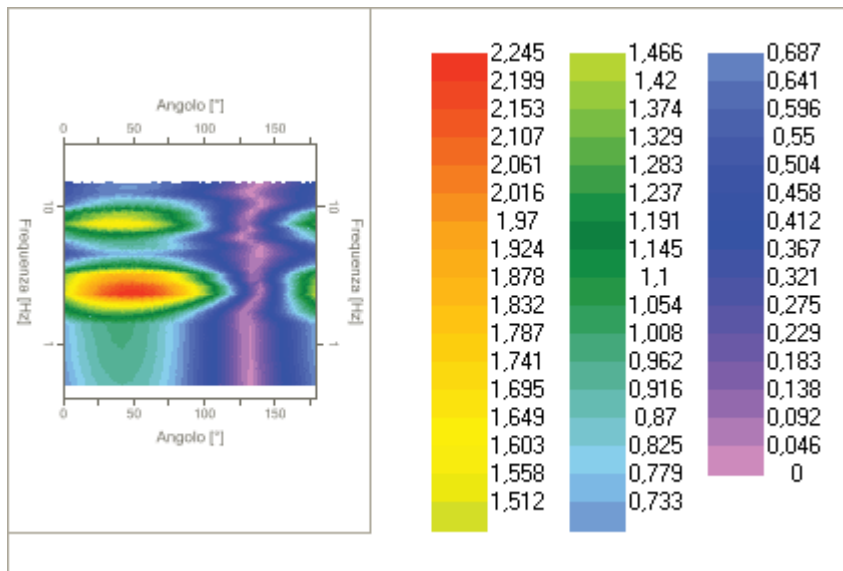
frequenza).



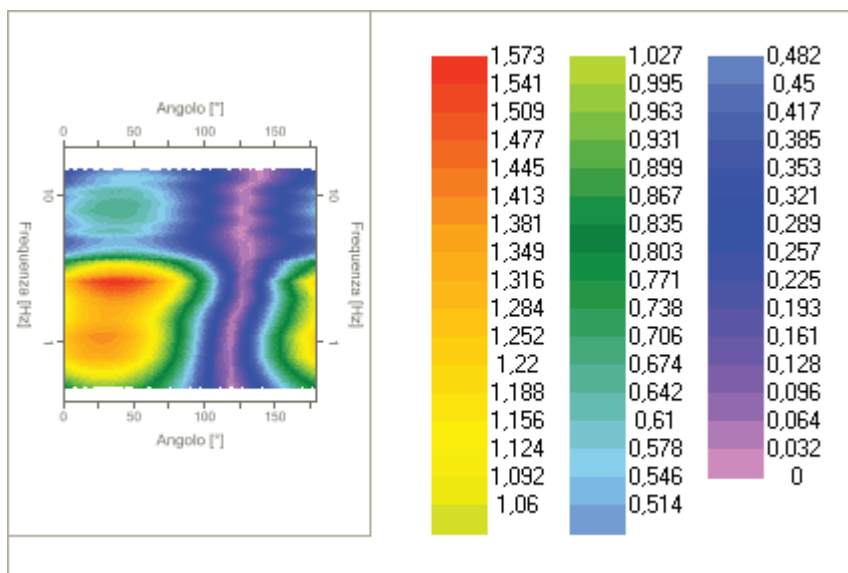
Spettri medi nelle tre direzioni – HVSr 1



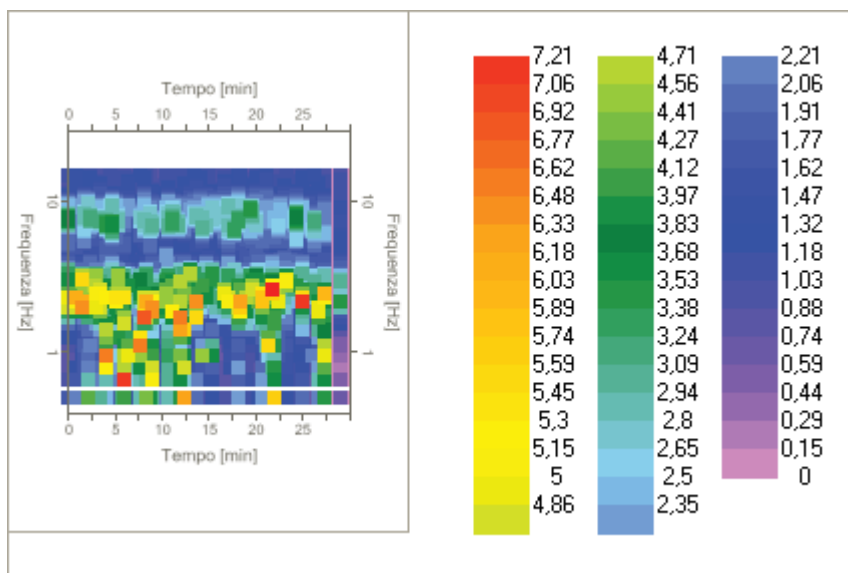
Spettri medi nelle tre direzioni – HVSr 2



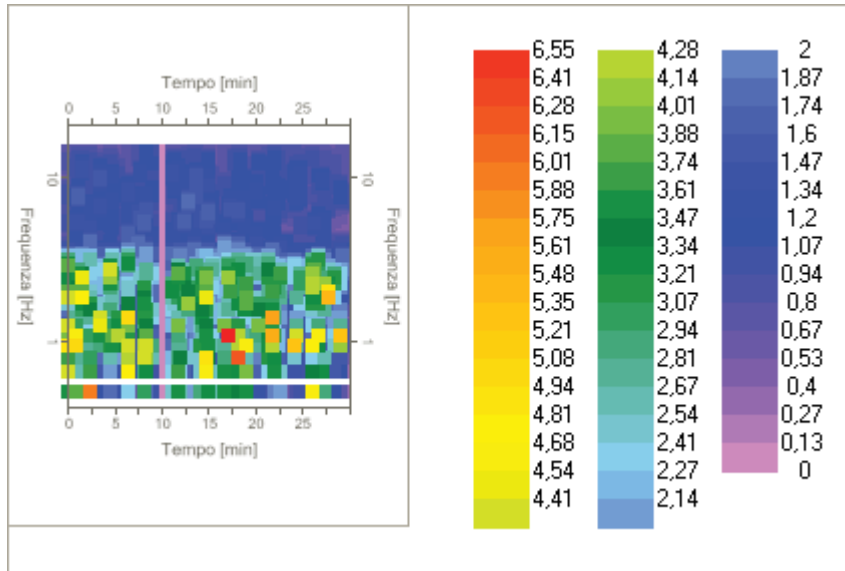
Mappa direzionalità – HVSr 1



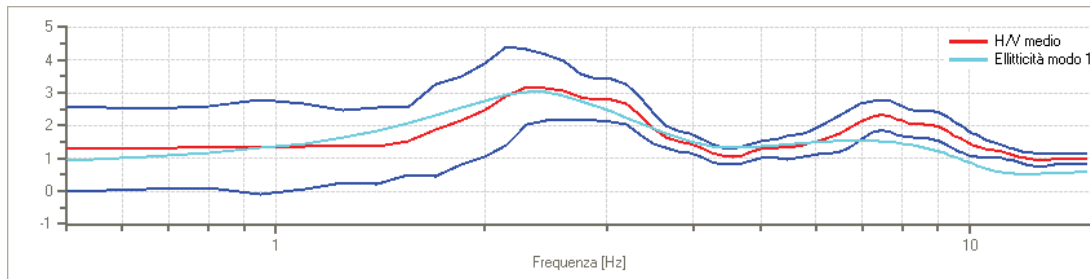
Mappa direzionalità – HVSZ 2



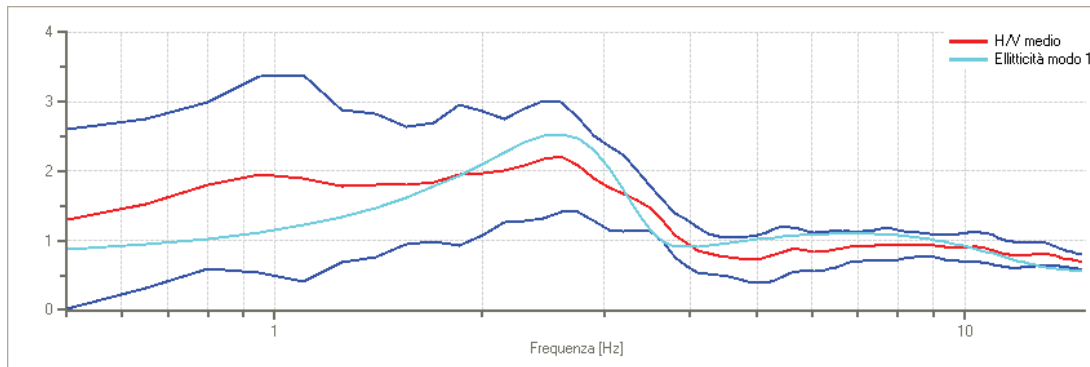
Mappa stazionarietà – HVSZ 1



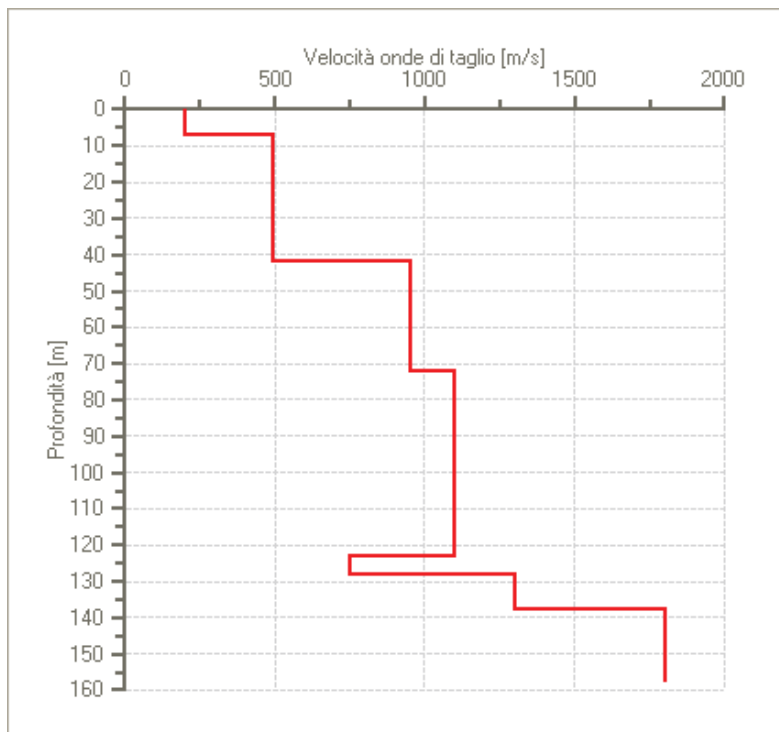
Mappa stazionarietà – HVSR 2



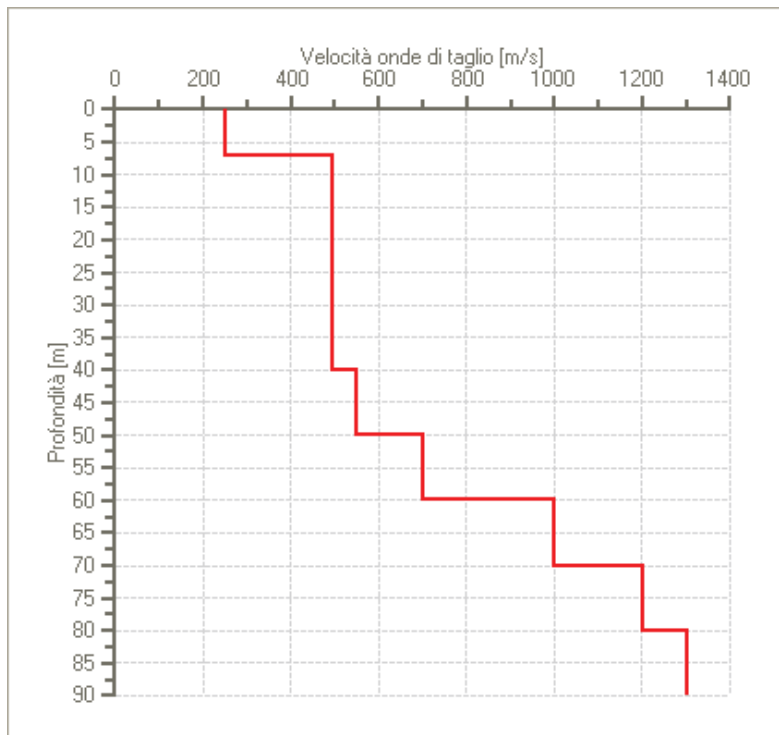
Rapporto spettrale H/V – HVSR 1



Rapporto spettrale H/V – HVSR 2



Profilo Vs/Profondità - HVS1



Profilo Vs/Profondità - HVS2

Dati riassuntivi HVSr 1

- **Vs 30 (m/s): 397.32** (profondità piano posa fondazioni a 2m da p.c.) - **431.37** (profondità piano posa fondazioni a 4m da p.c.) -
- Frequenza massima: 15 Hz
- Frequenza minima: 0.5 Hz
- Passo della frequenza: 0.15 Hz
- Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
- Percentuale lisciamento: 10%
- Tipo di somma componenti orizzontali: Media aritmetica
- Frequenza massimo H/V medio: 2.3 ±0.36 Hz
- Frequenza massimo ellitticità: 2.3 Hz

Dati riassuntivi HVSr 2

- **Vs 30 (m/s): 425.5** (profondità piano posa fondazioni a 2m da p.c.) - **450.82** (profondità piano posa fondazioni a 4m da p.c.)
- Frequenza massima: 15 Hz
- Frequenza minima: 0.5 Hz
- Passo della frequenza: 0.15 Hz
- Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
- Percentuale lisciamento: 10%
- Tipo di somma componenti orizzontali: Media aritmetica
- Frequenza massimo H/V medio: 2.6 ±0.36 Hz
- Frequenza massimo ellitticità: 2.6 Hz

Le **tecniche di lisciamento** implementate in **Easy HVSr** (Software Geostru) sono 4. Per ciascuna di esse viene mostrato il criterio di lisciamento.

Konno & Ohmachi

Questo tipo di lisciamento prevede che le ampiezze delle frequenze attorno ad una frequenza centrale vengano pesate secondo la seguente formula:

$$W(f) = \left[\frac{\sin \left(\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right) \right)^b \right)}{\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right) \right)^b} \right]^4$$

dove:

f_c rappresenta la frequenza centrale

f la frequenza da pesare

b il coefficiente di banda

La banda di frequenza da pesare è su scala logaritmica, e la sua ampiezza viene stabilita dalla percentuale di lisciamento, ovvero è pari alla percentuale di lisciamento per l'ampiezza dell'intera banda da lisciare.

Media mobile

Questo tipo di lisciamento prevede che si compia la media delle ampiezze di un determinato intervallo di frequenze attorno ad una frequenza centrale. Ampiezza dell'intorno da lisciare viene indicato dal valore della percentuale di lisciamento, ovvero è pari alla percentuale di lisciamento per l'intera banda di frequenza da lisciare.

Triangolare costante

Questo tipo di lisciamento prevede che le ampiezze delle frequenze nell'intorno di una frequenza centrale vengano pesate secondo un andamento lineare decrescente dalla frequenza centrale, dove il peso assume valore unitario, alla frequenza limite dell'intorno, dove il peso assume valore pari a zero. L'intorno ha

ampiezza pari alla percentuale di lisciamento per l'ampiezza dell'intera banda da lisciare.

Triangolare proporzionale

Questo tipo di lisciamento è il medesimo del precedente con la differenza che l'ampiezza dell'intorno è proporzionale con la frequenza centrale, ovvero pari alla percentuale di lisciamento per il valore che di volta in volta assume la frequenza centrale f_c .

I tipi di **somma direzionale** implementate in Easy HVSR sono:

Direzione NS

La scelta di questa opzione prevede che non venga eseguita alcuna somma direzionale ma che venga presa esclusivamente la traccia nella direzione Nord-Sud della registrazione.

Direzione EO

La scelta di questa opzione prevede che non venga eseguita alcuna somma direzionale ma che venga presa esclusivamente la traccia nella direzione Est-Ovest della registrazione.

Media aritmetica

La scelta di questa opzione prevede che le due tracce orizzontali vengano sommate tra loro con una semplice media aritmetica.

Media geometrica

La scelta di questa opzione prevede che le due tracce orizzontali vengano sommate tra loro con una semplice media euclidea.

Media quadratica

La scelta di questa opzione prevede che le due tracce orizzontali vengano sommate tra loro con la media aritmetica dei quadrati.

Mappa stazionarietà

Questa mappa mostra il rapporto spettrale H/V di ogni singola finestra. E' infatti organizzata in modo tale che lungo l'asse delle ascisse siano presenti gli istanti temporali iniziali di ciascuna finestra, mentre in quello delle ordinate le frequenze analizzate. La mappa dei colori quindi rappresenta, in ciascun punto, l'ampiezza spettrale per una data frequenza del rapporto spettrale H/V associato ad una data finestra selezionata, secondo una codifica in colori.

L'utilità di tale grafico risiede nella possibilità di verificare che il rapporto spettrale H/V di tutte le finestre abbia un comportamento omogeneo. In parole povere questa mappa deve mostrare un andamento delle ampiezze spettrali costante nel tempo, e quindi un addensamento delle ampiezze spettrali lungo le medesime frequenze.

Mappa direzionalità

Questa mappa mostra l'andamento del rapporto spettrale H/V al variare dell'angolo formato dalla direzione di registrazione ed il sistema di riferimento. Nel calcolo infatti si ricompono lo spettro in una direzione supponendo di far variare i due sistemi di riferimento (quello dello strumento e quello di riferimento del calcolo) attraverso una rotazione intorno all'asse verticale, da 0 a 180°.

In pratica sull'asse delle ascisse sono presenti i gradi di questa rotazione, sull'asse delle ordinate le frequenze e la mappa di colori rappresenta l'ampiezza spettrale del rapporto H/V. Quindi ogni punto rappresenta l'ampiezza spettrale ad un data frequenza per un dato angolo di inclinazione della direzione dello spettro orizzontale rispetto al sistema di riferimento.

Questa mappa serve a dimostrare l'isotropia della registrazione, ovvero l'assenza di una sorgente che abbia una direzione preferenziale e che quindi inficerebbe la

validità della registrazione. Infatti violerebbe l'ipotesi alla base della teoria che le sorgenti siano uniformemente distribuite.

1.3 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Sulla base ai risultati ottenuti dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. ed H.V.S.R. è stato possibile calcolare il valore del Fattore di Amplificazione (**Fa**) atteso per l'area in esame.

Il valore ottenuto è stato 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 valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5-1.5s (per strutture alte e più flessibili).

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati on line della Regione Lombardia e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene conto della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Per il comune di Bergamo (zona sismica 3) e con un suolo in Classe B (determinato con la prospezione MASW) i valori di *Fa soglia* risultano:

$$\mathbf{Fa (0.1-0.5 s) = 1.5}$$

$$\mathbf{Fa (0.5-1.5 s) = 1.7}$$

Per procedere con il calcolo del valore di Fa per il sito in esame si è scelto di applicare, tra quelle disponibili, la scheda litologica sabbiosa in quanto unica tra quelle disponibili per la quale l'andamento delle Vs risulta compatibile.

All'interno della suddetta scheda litologica si è scelta, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, la curva n° 2 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 stato calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs uguale o superiore a 800 m/s utilizzando la seguente equazione:

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

Nel caso in esame con le indagini Masw non è stata raggiunta la velocità di 800 m/s ed è stato quindi estrapolato un opportuno andamento delle Vs con la profondità fino al raggiungimento della stessa che è stata stimato rispettivamente a circa 77.6 m da p.c. (Masw 1) e 80.1 m da p.c. (Masw 2).

In entrambi i casi è stato prolungato l'ultimo strato rilevato dall'indagine fino a quota 45 m da p.c. e sono stati aggiunti tre ulteriori sismostrati corrispondenti ai punti della retta che mostra il trend lineare di estrapolazione completando nel modo seguente la tabella profondità-Vs (in carattere rosso i valori corrispondenti al tratto estrapolato):

Masw 1

Profondità (m)	Vs (m/s)
7.0	255
11.5	369
26.5	377
45.0	480
55.0	561
65.0	635
77.6	708

Masw 2

Profondità (m)	Vs (m/s)
5.0	247
13.0	347
23.0	367
45.0	475
57.0	550
69.0	636
80.1	721

Per quanto riguarda le indagini H.V.S.R. non è stato necessario attuare tale procedimento di estrapolazione in quanto la profondità alla quale si è riscontrata la velocità di 800 m/s risulta raggiunta in entrambi i casi. Il profilo profondità - Vs risulta quindi il seguente:

Hvsr 1

Profondità (m)	Vs (m/s)
7.0	200
42.0	495
72.0	950
123.0	1100
128.0	750
138.0	1300
158.0	1800

Hvsr 2

Profondità (m)	Vs (m/s)
7.0	250
40.0	495
50.0	550
60.0	700
70.0	1000
80.0	1200
90.0	1300

I valori di T e di Fa così determinati vengono approssimati alla prima cifra decimale e per il sito in esame risultano:

Masw 1 Ipotesi con piano fondazione a -2 m da p.c.

T = 0.60 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.3

Fa (0.5-1.5s) = 2.0

Masw 1 Ipotesi con piano fondazione a -4 m da p.c.

T = 0.57 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.3

Fa (0.5-1.5s) = 1.9

Masw 2 Ipotesi con piano fondazione a -2 m da p.c.

T = 0.61 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.3

Fa (0.5-1.5s) = 2.0

Masw 2 Ipotesi con piano fondazione a -4 m da p.c.

T = 0.59 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.3

Fa (0.5-1.5s) = 1.9

Hvsr 1 Ipotesi con piano fondazione a -2 m da p.c.

T = 0.35 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.7

Fa (0.5-1.5s) = 1.5

Hvsr 1 Ipotesi con piano fondazione a -4 m da p.c.

T = 0.32 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.7

Fa (0.5-1.5s) = 1.5

Hvsr 2 Ipotesi con piano fondazione a -2 m da p.c.

T = 0.33 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.7

Fa (0.5-1.5s) = 1.5

Hvsr 2 Ipotesi con piano fondazione a -4 m da p.c.

T = 0.30 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.7

Fa (0.5-1.5s) = 1.4

Per quanto riguarda entrambe le indagini Masw: nel primo caso : Fa 0.1-0.5s, il valore riscontrato risulta inferiore al valore soglia per il comune di Bergamo: la normativa è quindi da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche dei possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

Nel secondo caso: Fa 0.5-1.5 ,il valore riscontrato risulta superiore al valore soglia: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione dei possibili effetti di amplificazione litologica e risulta quindi necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (Categoria C nel presente caso).

Per quanto riguarda entrambe le indagini Hvsr: nel primo caso :Fa 0.1-0.5s il valore riscontrato risulta superiore al valore soglia per il comune di Bergamo; la normativa è insufficiente a tenere in considerazione dei possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (**Categoria di sottosuolo C** in questo caso).

Nel secondo caso:Fa 0.5-1.5, il valore riscontrato risulta inferiore al valore soglia:la normativa è quindi da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche dei possibili effetti di amplificazione litologica del sito(**Categoria di sottosuolo B** in questo caso).

1.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza esclusiva di depositi quaternari e l'attuale configurazione del territorio è in larga parte legata alla successione dei fenomeni erosivi e di deposizione avvenuti durante le varie fasi glaciali e postglaciali.

La distribuzione areale delle diverse unità geolitologiche presenti nel territorio circostante l'area in esame risulta illustrata in Figura n° 1 a scala 1:25.000 costituente uno stralcio della Carta Geologica d'Italia (progetto CARG, legge 67/1988) – Foglio Bergamo.

Di seguito vengono descritte le caratteristiche salienti delle unità presenti in tale stralcio cartografico con particolare attenzione a quella caratterizzante l'area in esame.

Si premette che, nella nuova cartografia, i depositi continentali sono stati rilevati *ex novo* alla scala 1:10.000 ed in particolare essi sono stati:

- Caratterizzati dal punto di vista sedimentologico, petrografico e dell'alterazione;
- Gerarchizzati in supersintemi/sintemi, gruppi/formazioni ed unità informali, a seconda dei caratteri dei sedimenti di volta in volta cartografati e delle problematiche affrontate;

- Suddivisi sulla base dei bacini di appartenenza, laddove tale distinzione risulti significativa per la ricostruzione della storia geologica, oppure distinti sulla base dei processi e delle dinamiche di formazione, indipendentemente dal bacino di appartenenza.

Nella cartografia dei depositi continentali neogenico - quaternari sono state utilizzate sia unità litostratigrafiche sia unità a limiti in conformi (UBSU), come prescritto in SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992, e successive circolari integrative).

SUCCESSIONE NEOGENICO QUATERNARIA

UNITÀ DEL BACINO DELLA MORLA

OR: Supersistema della Morla. *Pleistocene medio - Olocene (sino al XIV secolo)*

Ghiaie a ciottoli arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille, limi e sabbie (depositi di bassa energia e lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.

L'area in esame si colloca all'interno della presente unità.

UNITÀ DEL BACINO DEL SERIO

BB: Supersistema di Grassobbio.
Pleistocene medio - superiore?

Ghiaie a clasti arrotondati, sabbie e limi (depositi alluvionali). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie ben conservate. Cementazione da assente a buona.

RL: Supersistema di Gorle.
Pleistocene medio

Conglomerati in strati sub orizzontali, a supporto clastico, clasti calcarei e silicei arrotondati, cementazione da buona ad ottima; ghiaie a clasti arrotondati, sabbie e limi (depositi alluvionali). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.

SNZ: Sistema di Scanzorosciate.
Pleistocene medio

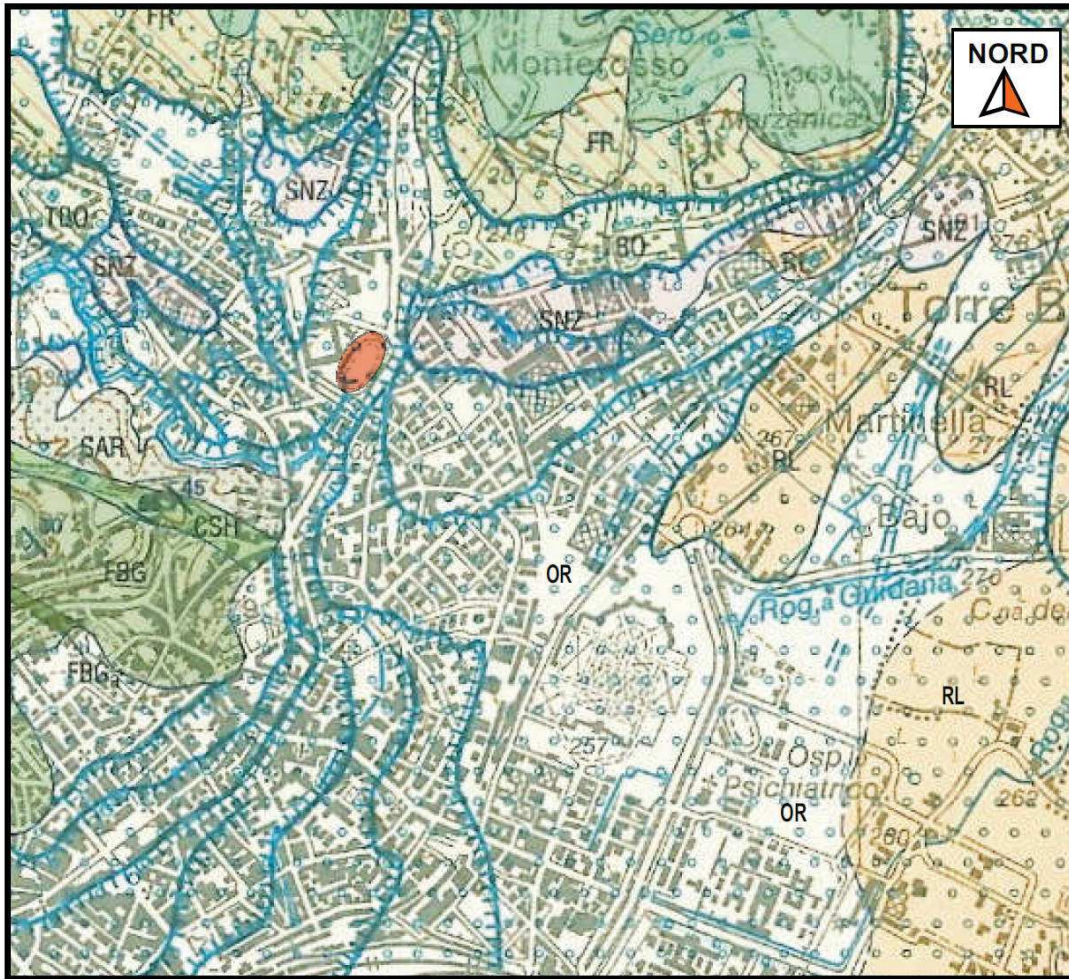
Diamicton massivo a supporto di matrice con clasti arrotondati (depositi alluvionali pedogenizzati). Profilo di alterazione evoluto con singola coltre

loessica non sempre conservata; spessore osservato superiore ai 2m, con silicoclasti arenizzati, carbonati assenti, colore matrice 5YR con glosse 2.5YR, e diffuse patine Fe-Mn. Morfologie parzialmente conservate.

SRT: Conglomerato di Seriate.

Calabriano - Pleistocene medio

Conglomerati a supporto clastico, matrice arenacea, clasti arrotondati, ben selezionati, cementazione da ottima sino a completa litificazione. Presenti sia litosomi a clasti carbonatici e silicei, sia litosomi a clasti prevalentemente carbonatici con silicoclasti dell'alta valle nettamente subordinati, separati da un paleo suolo (depositi alluvionali).



stralcio da: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA scala 1:50000 - FOGLIO BERGAMO
 ● Area in esame: Bergamo - Stadio Atleti Azzuri d'Italia

Successione neogenico - Quaternaria

Unità del bacino della Morla:

- OR: Supersistema della Morla. *Pleistocene medio - Olocene (sino al XIV secolo)*
- RL: Supersistema di Gorle. *Pleistocene medio*
- SNZ: Sintema di Scanzorosciate. *Pleistocene medio*

Unità del bacino del Serio:

- BB: Supersistema di Grassobbio. *Pleistocene medio - superiore?*
- SRT: Conglomerato di Seriate. *Calabriano - Pleistocene medio*


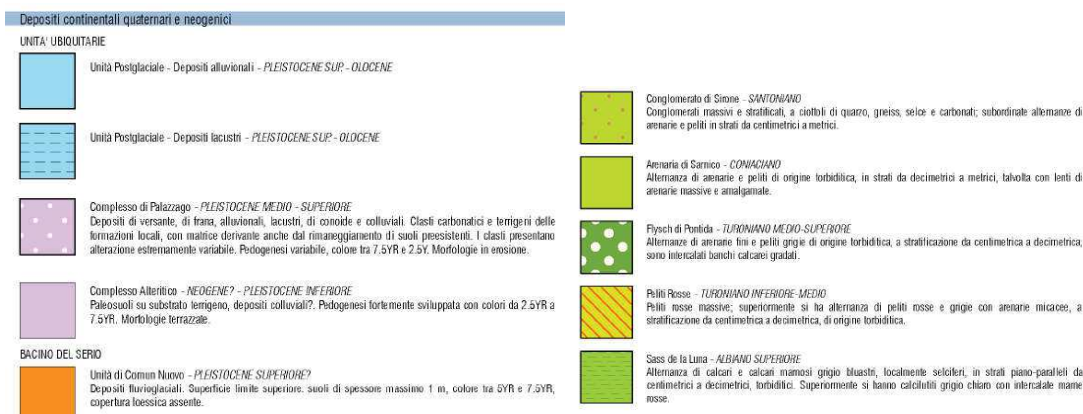
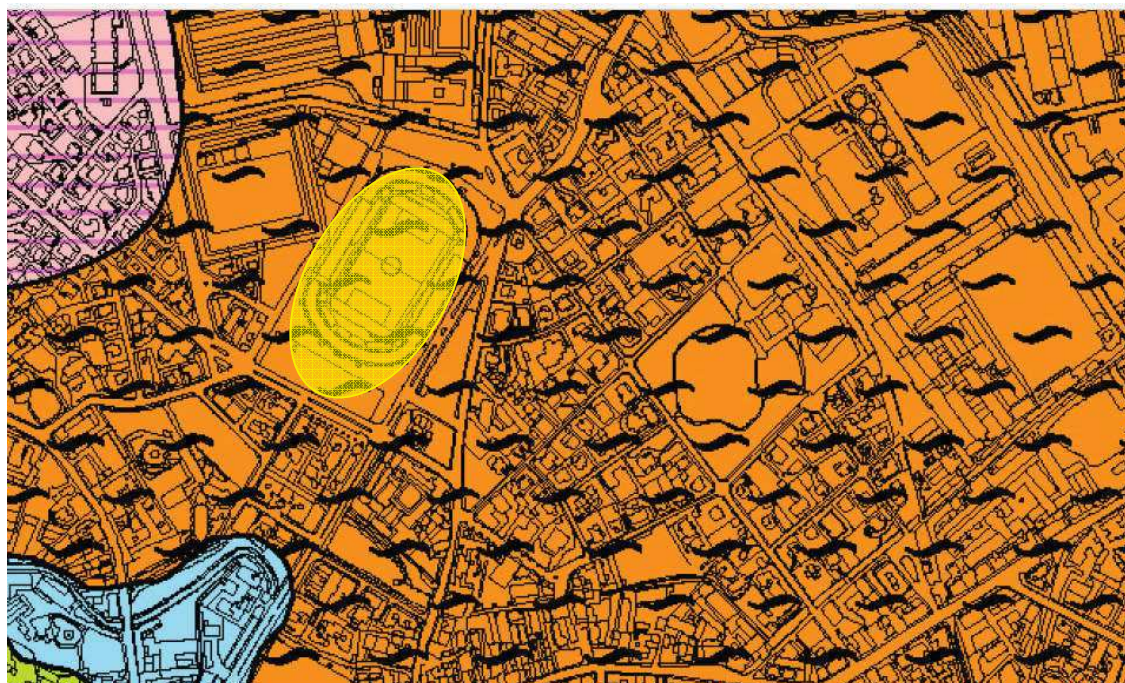
 Orlo di terrazzo

Figura n°1: Carta geologica d'Italia

Per un inquadramento di dettaglio si può consultare la Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale. Per il comune di Bergamo essa è stata redatta da EUROGEO Bergamo a firma dei Dott.i Elitropi M. e Caldarelli R; l'ultimo aggiornamento di tale studio è del Settembre 2011 con consulenza degli stessi. La Carta Geologica di tale componente, di cui si riporta stralcio di seguito in figura n°2, colloca l'area in esame nell'ambito del Bacino del Serio e più precisamente indica come affiorante il "Complesso di Ponte della Selva - Unità di Torre Boldone" (Pleistocene Medio): trattasi di depositi fluvio-glaciali con suoli spessi più di 3.5 m e copertura loessica.



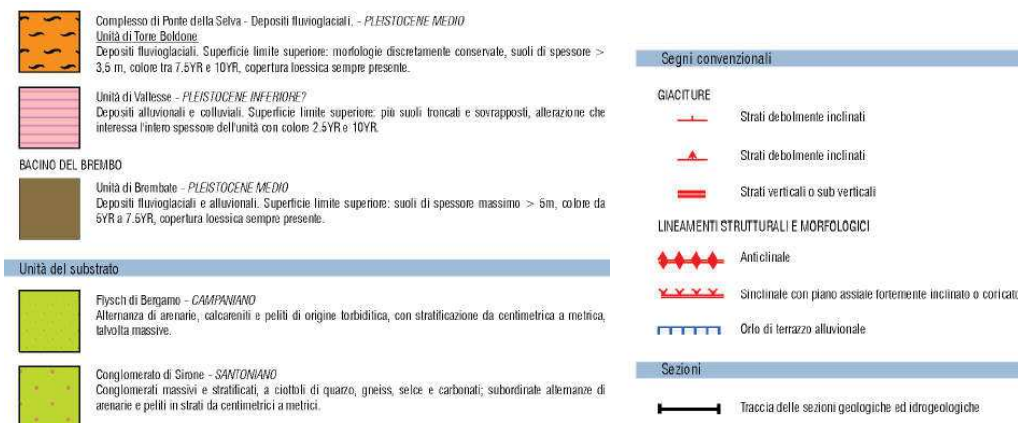

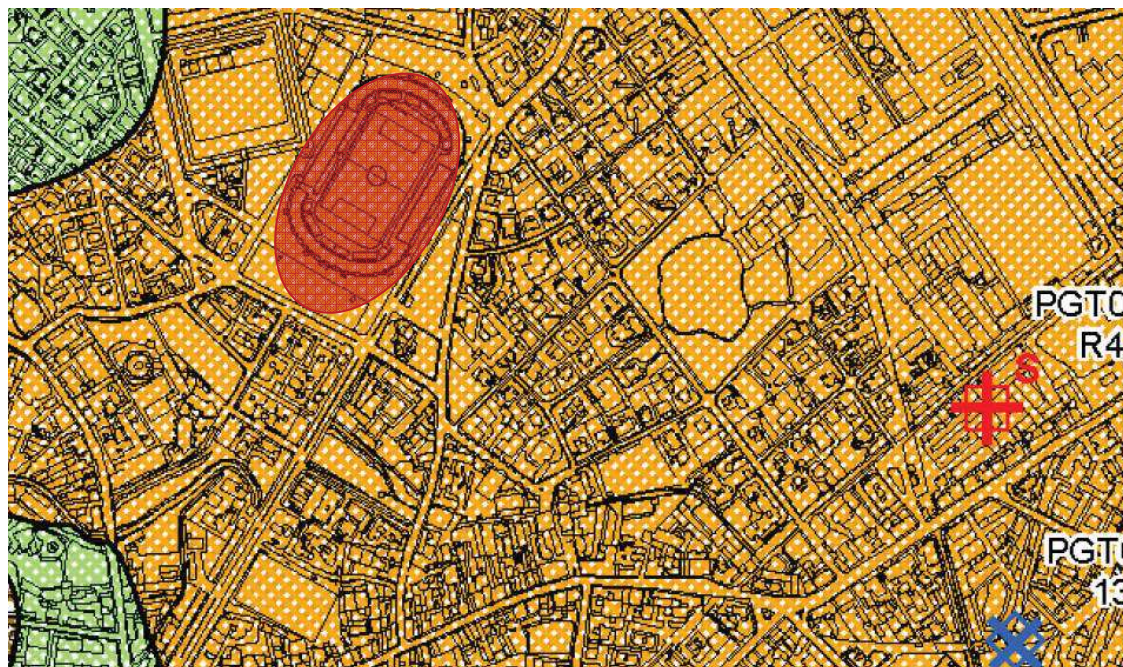


Figura n° 2: Carta Geologica del PGT  area in esame

La Carta Geotecnica della componente geologica del PGT, di cui pure si riporta stralcio, colloca i depositi presenti nell'area nella classe Gt3: argilloso-limosi con ghiaie e sabbie in percentuale variabile, con clasti variamente alterati, e con $\phi=23^{\circ}-32^{\circ}$.



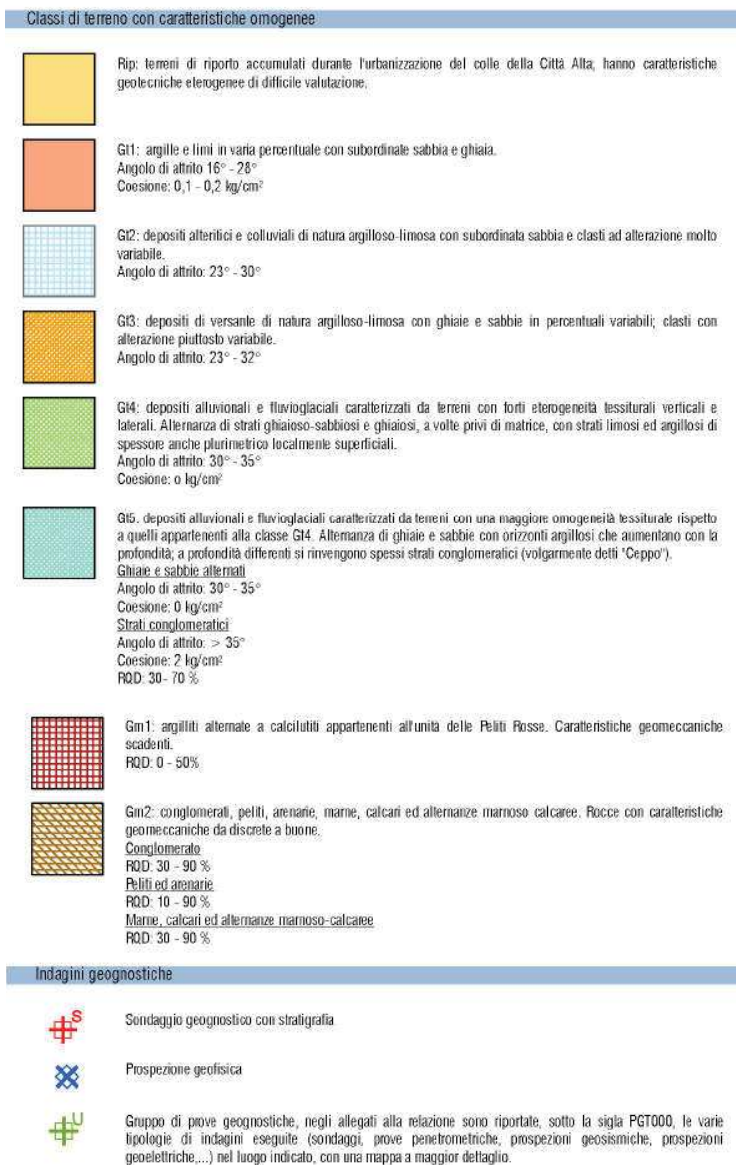

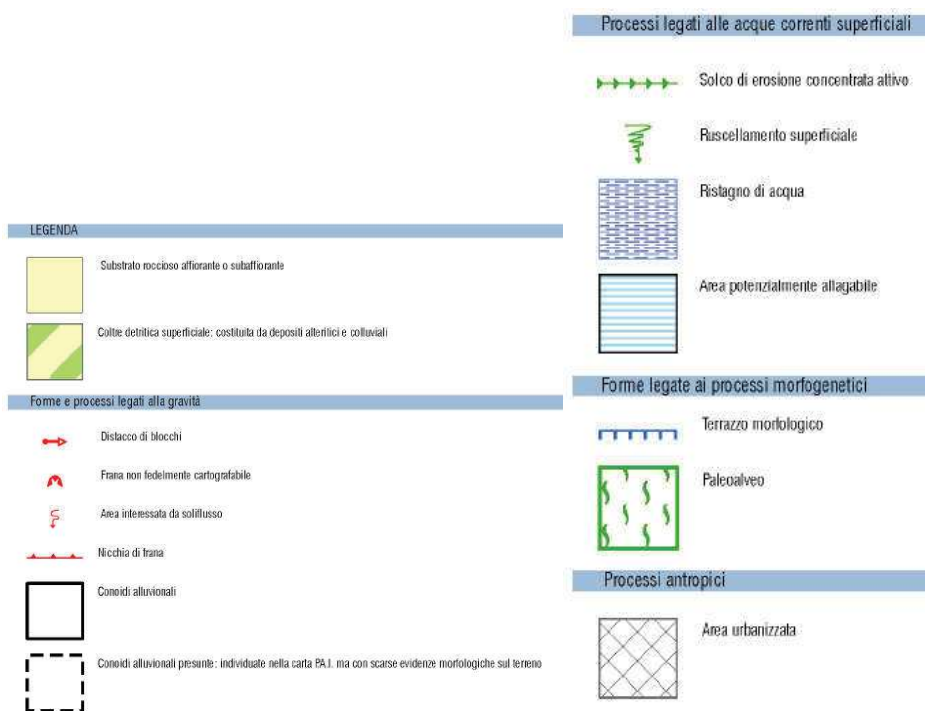
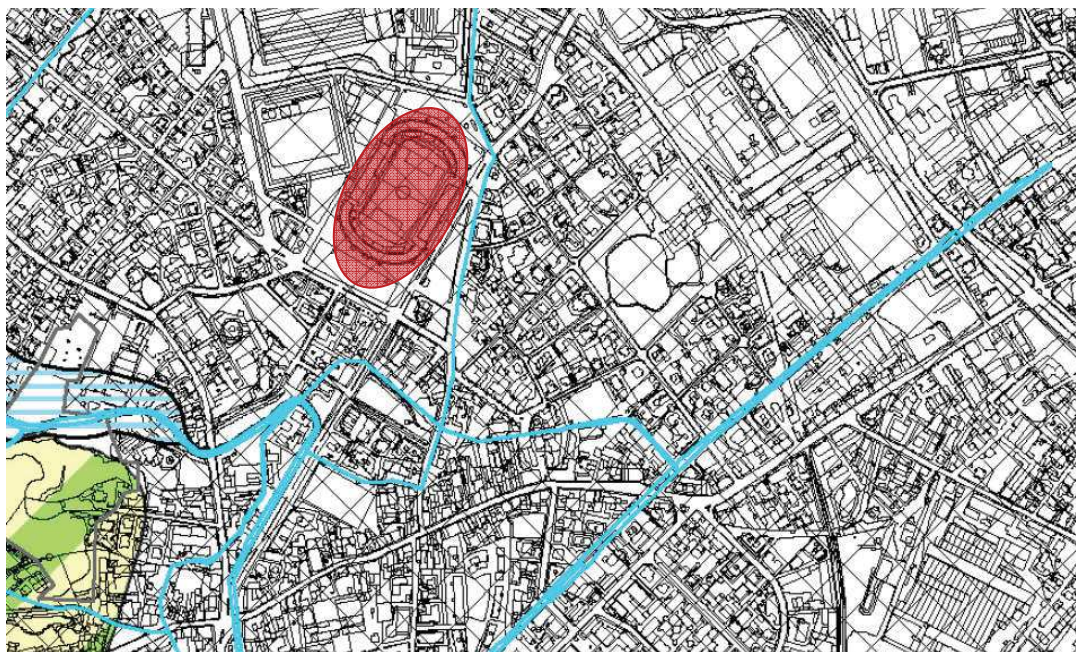




Figura n° 3: Carta Geotecnica del PGT  area in esame

Le Carte Geomorfologiche del PGT non segnalano alcun fenomeno in atto né quiescente né forme correlate.











LEGENDA

-  Substrato roccioso affiorante o subaffiorante
-  Coltre detritica superficiale: costituita da depositi alluvionali e colluviali





Forme e processi legati alla gravità

-  Nicchia di frana
-  Orlo di scarpata di degradazione attivo
-  Frana non fedelmente cartografabile
-  Area interessata da soliflusso
-  Distacco di blocchi
-  Area interessata da soliflusso generalizzato
-  Area con morfologia terrazzata antropizzata
-  Area con morfologia terrazzata non antropizzata

Processi legati alle acque correnti superficiali

-  Solco di erosione concentrata
-  Orlo di scarpata di erosione torrenziale con altezza inferiore a 2 metri
-  Orlo di scarpata di erosione torrenziale con altezza superiore a 2 metri
-  Ruscellamento diffuso delle acque superficiali
-  Area potenzialmente allagabile
-  Area con possibilità di ristagno di acqua
-  Bacino sedimentario del paleolago di Longuelo

Conoidi

-  Canale centrale della conoide, in erosione
-  Settore quiescente della conoide
-  Settore stabilizzato della conoide
-  Conoide presunta

Elementi di intervento antropico

-  Terrazzi antropici



Proposta di modifiche ed integrazioni

ESONDAZIONI E DISSESTI MORFOLOGICI DI CARATTERE TORRENTIZIO




Em - Area a pericolosità media o moderata.

TRASPORTO DI MASSA SUI CONOIDI



Cn - Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta.

Figure n° 4, 5 e 6: Carta Geomorfológica, Carta della Dinamica Geomorfológica e Carta del Dissesto con legenda uniformata PAI del PGT

 area in esame

1.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area in esame si colloca in un settore posto immediatamente a valle dei rilievi collinari e nell'ambito del quale inizia a trarre origine la struttura idrica direttamente ricollegabile al corpo idrico principale che caratterizza il sottosuolo della pianura di Bergamo.

La Carta Idrogeologica del PGT fornisce informazioni sulla profondità della falda e sulla permeabilità dei terreni. La piezometria indicata è di 252-254 m (da Sud verso Nord), e dunque considerata la quota dell'area (circa 265 m.s.l.m.) si calcola una soggiacenza pari a circa 11-13 metri dal piano campagna; la permeabilità indicata è medio-alta, compresa tra 10^{-4} e 10^{-2} m/s.

Tuttavia risulta nota allo scrivente, comprovata da rilevazioni effettuate in aree molto vicine a quella oggetto di studio, nonché delle misure effettuate nei micropiezometri appositamente installati in questa fase di indagine, seppure interessanti solo gli strati superficiali del sottosuolo, la presenza di una falda sospesa con valori di soggiacenza prossimi il piano di campagna.

Tale circolazione idrica, che è possibile sia alimentata anche dal torrente Tremana e dalla Roggia Serio Superiore, dà luogo a formazione di falde sospese localizzate o di modeste falde in pressione contenute entro livelli maggiormente permeabili confinati a tetto e a letto da terreni argillosi.

Essa assume alla data attuale valori di soggiacenza compresi fra 2 e 3 metri nella zona sud dell'area di indagine e di 4 metri in quella Nord, dal piano campagna, con direttrice di deflusso principale complessivamente orientata verso S.SE.

Si veda al proposito la seguente tabella con indicati i valori misurati di soggiacenza della falda.

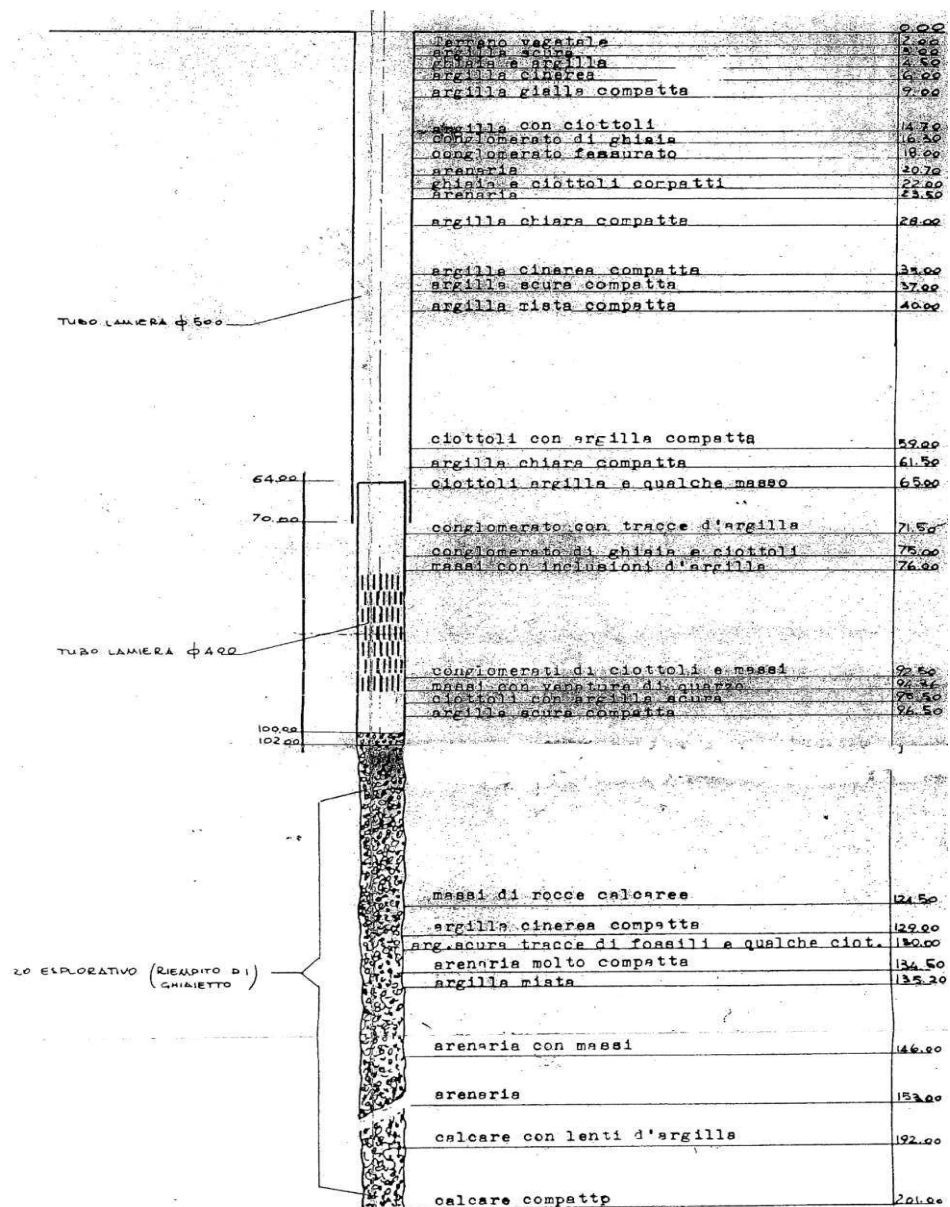
Prova penetrometrica n°	Profondità prova m	Profondità micropiezometro m	Profondità acqua il 29/11/2017	Profondità acqua il 30/11/2017	Profondità acqua il 18/01/2018
1 dinamica	7.5	6.5	2.10	2.10	2,20
2 dinamica	7.5	4.0	2.90	2.90	2,90
2 statica					4,0

Tabella 1

Quanto descritto trova conferma nelle indagini relative alla zona poco ad Est dell'area in esame (quartiere Finardi ed area ex Reggiani) ove si è rilevata la presenza di due corpi idrici sotterranei superficiali:

- una falda più superficiale con direttrice di deflusso principale complessivamente orientata verso S.SE, con soggiacenza attestata a circa 1-2.5 metri dal piano campagna,
- una falda più profonda con direttrice di deflusso complessivamente orientata verso SE con gradienti idraulici prossimi al 2.5%. La soggiacenza di questa falda è mediamente attestata intorno ai 10 m dal piano campagna, concordando questa seconda con quanto indicato nella carta idrogeologica del PGT comunale .

Alle quali falde idriche si aggiunge un ulteriore corpo idrico profondo, presumibilmente in condizioni di artesianesimo, presente nei conglomerati posti ad oltre 60 metri di profondità e dalla quale attingeva il pozzo della ditta Reggiani, di cui si allega relativa stratigrafia in successiva figura n°7.



STRATIGRAFIA

Handwritten signature or initials

STRATIGRAFIA

POZZO

EX

DITTA

REGGIANI

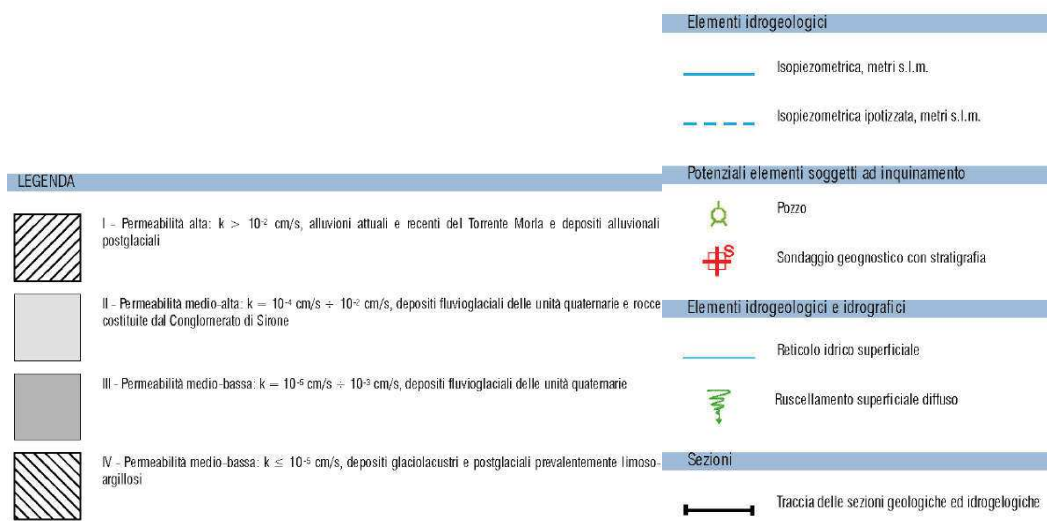


Figura n°8: Carta Idrogeologica del PGT



area in esame

Le Carte della Vulnerabilità dell'Acquifero Superficiale del PGT, per pesi normali e per pesi agricoli, definiscono la suddetta permeabilità alta (tra il 61 ed il 70%) nel primo caso, e molto alta nel secondo caso (tra il 71 e il 80%).

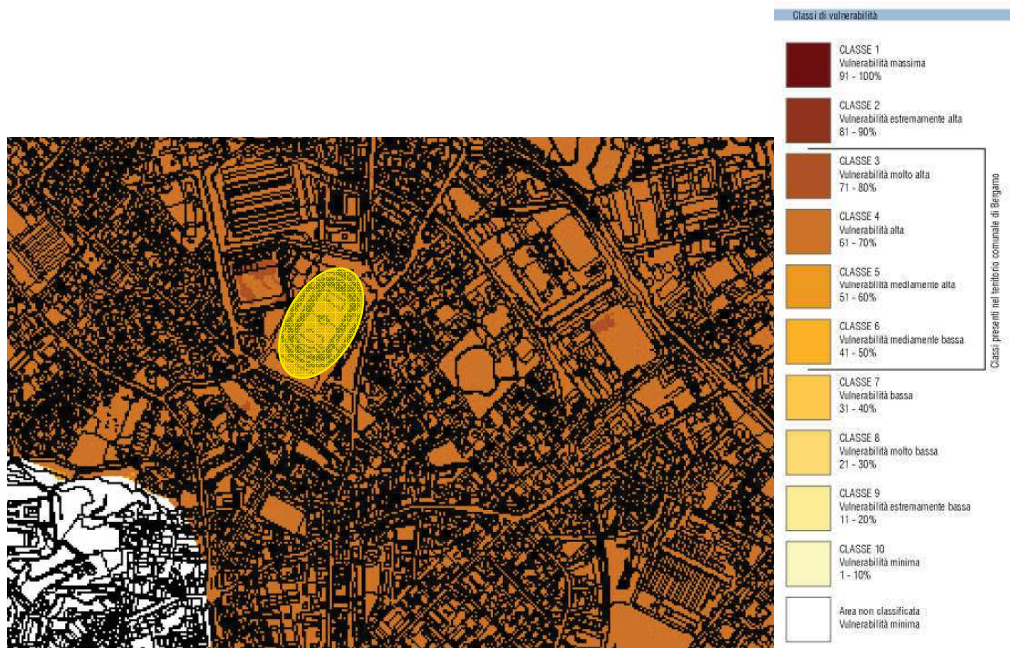


Figure n° 9 e 10: Carte della Vulnerabilità dell'acquifero superficiale per pesi normali e per pesi agricoli del PGT



1.6 VERIFICA DI COERENZA CON ALTRA CARTOGRAFIA DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE

La Carta della Pericolosità Sismica Locale inserisce l'area in classe Z4a, ossia con presenza di fenomeni di amplificazione litologica e/o geometrica dovuti alla presenza di depositi alluvionali/fluvioglaciali.



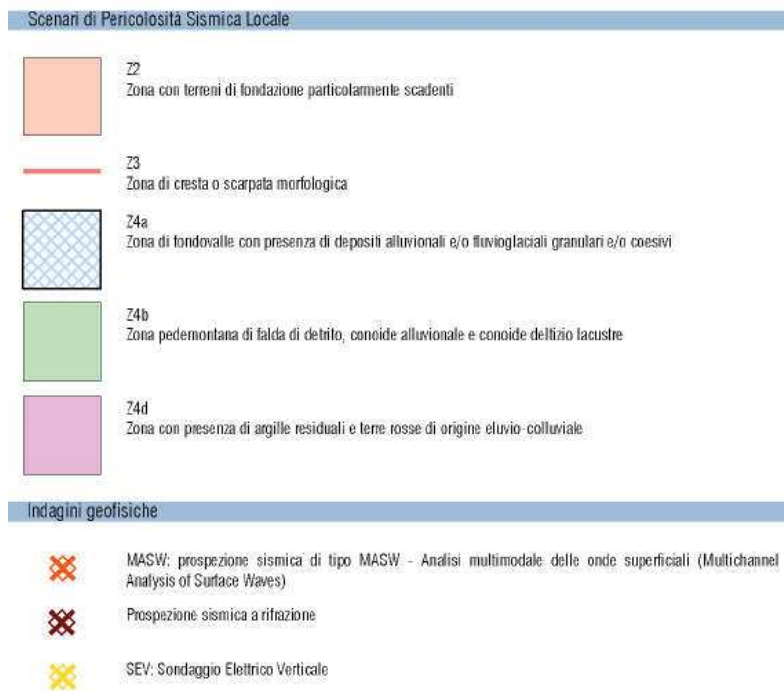


Figura n° 11: Carta della Pericolosità Sismica Locale



area in esame

Le Carte del Fattore di Amplificazione mappano questo valore sull'area. Da esse si può dedurre che il valore di Fa per l'area in esame è compreso tra 1.6 e 1.8 per il periodo 0.1-0.5 s, e tra 1.3 e 1.4 per il periodo 0.5-1.5 s.

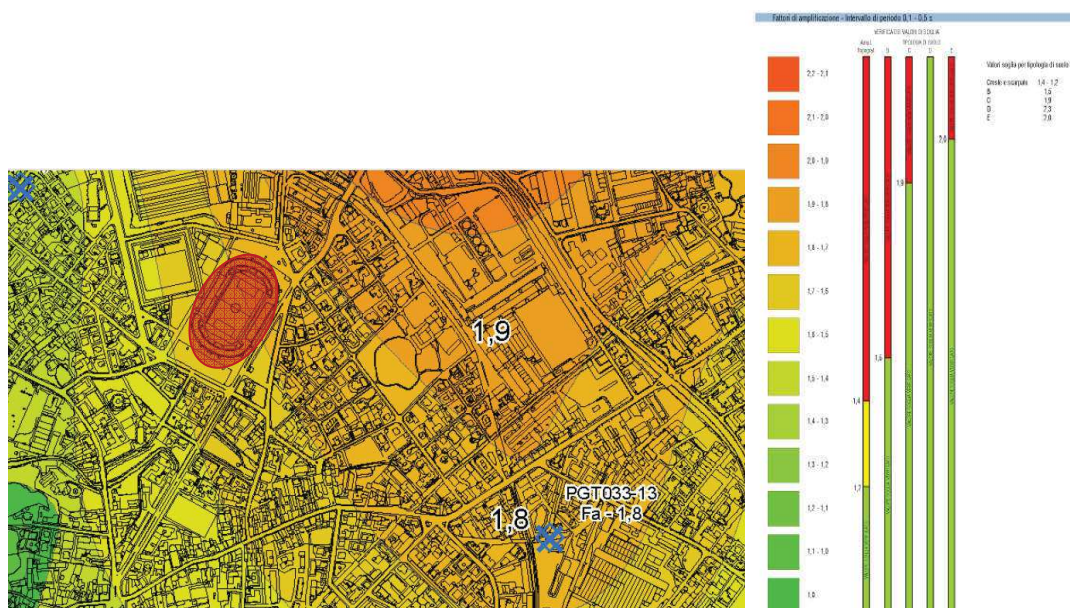
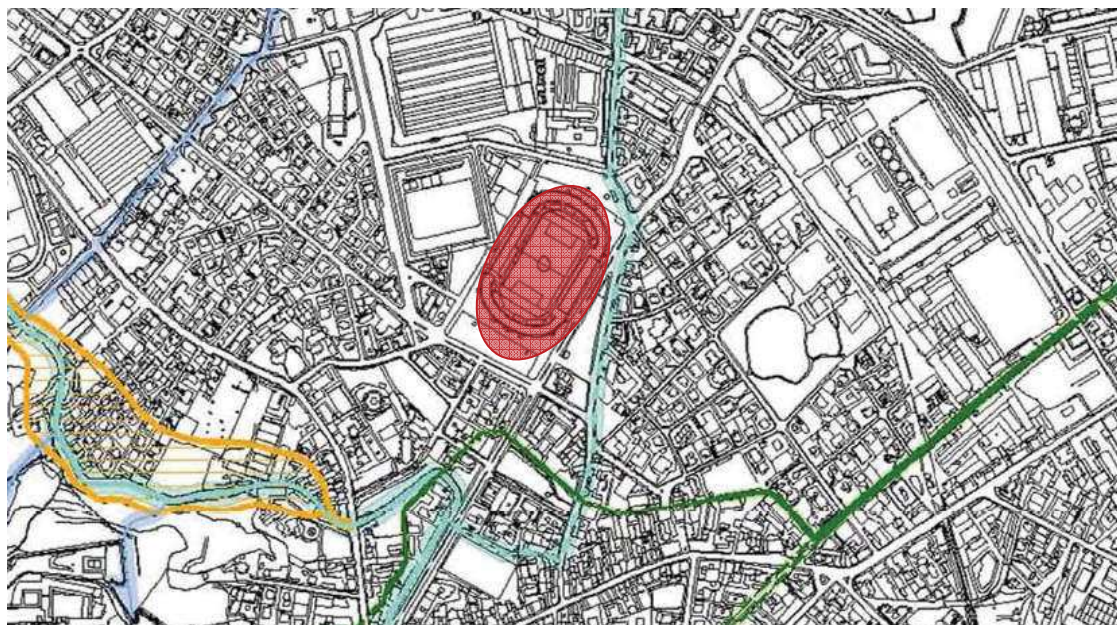




Figura n°12e13 : Carte del Fattore di Amplificazione per i periodi 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s area in esame

La Carta dei Vincoli non evidenzia alcuna restrizione.



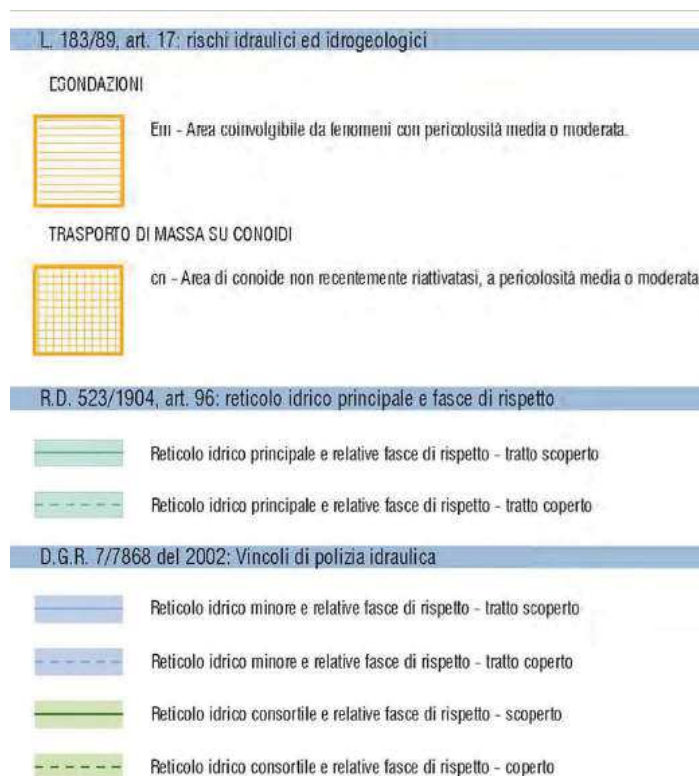


Figura n°14: Carta dei Vincoli  **area in esame**

La Carta di Sintesi riporta la sigla Gt3 presente anche nella Carta Geotecnica, definendo dunque l'area qui esaminata dal punto di vista geotecnico/geomeccanico come "area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali; la capacità portante è da scarsa a buona ma molto variabile in spazi ristretti. La disomogeneità litologica è in parte dovuta alla presenza di *correnti d'acqua sotterranee* originate dalla infiltrazione di acqua dalle rogge".

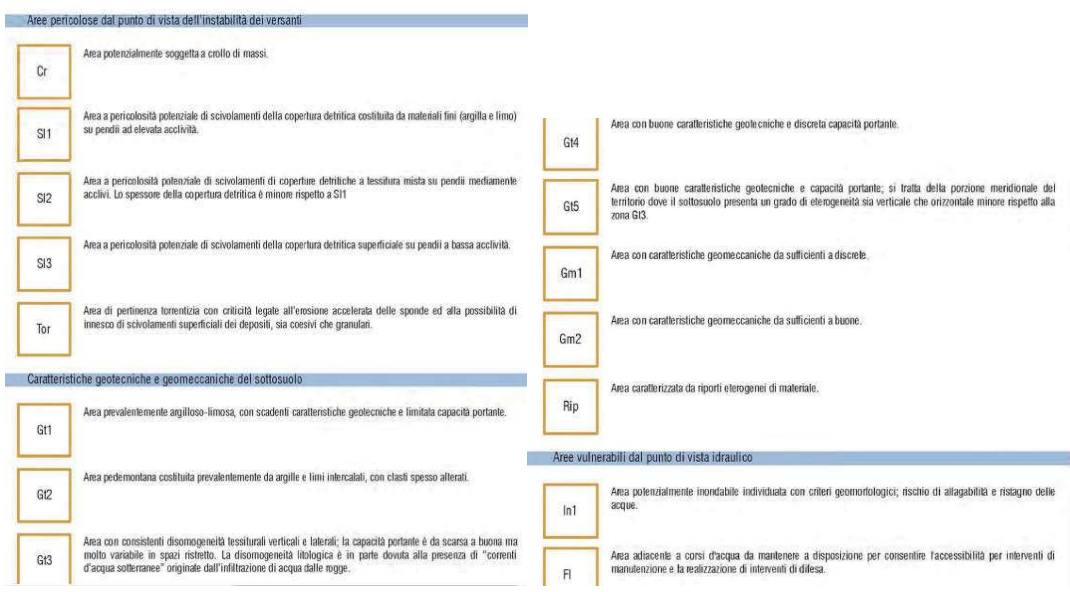
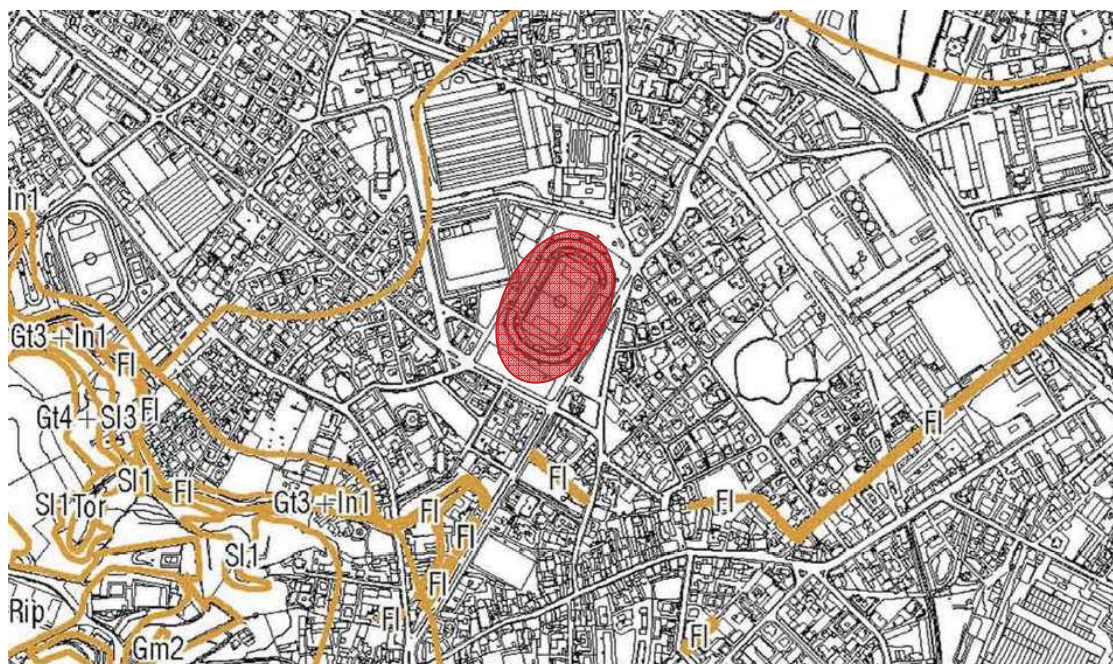









Figura n°15: Carta di sintesi  area in esame

La Carta di Fattibilità inserisce l'area in classe 3 (ossia con consistenti limitazioni), sottoclasse A, per la quale le limitazioni sono connesse alle modeste caratteristiche geotecniche od alle consistenti eterogeneità del sottosuolo, anche possibilmente dovute a presenza di riporto.

La classe 3 comprende per definizione le zone con consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le

condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici od opere di difesa. Per le aree ascrivibili alla sottoclasse A vanno necessariamente eseguite indagini ad hoc per la verifica dei caratteri geomeccanici ed idrogeologici, nonché geomorfologici se non si può escludere il ristagno di acqua.



Classi di fattibilità geologica	
	2a - Area con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono da accertare le proprietà geomeccaniche ed idrogeologiche del sottosuolo.
	2b - Area con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono da accertare le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso, l'eventuale presenza e litologia dei depositi superficiali
	3a - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali ed orizzontali (comprese le zone con materiale di riporto). Sono da accertare le caratteristiche geomeccaniche ed idrogeologiche del sottosuolo. In caso di possibile ristagno di acqua superficiale si dovrà effettuare un'analisi geomorfologica in un intorno significativo all'area di progetto.
	3b - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo ed all'acclività dei pendii. Sono da accertare le caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche del terreno al fine di procedere ad una analisi di stabilità del complesso pendio-opera.
	3c - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alla pendenza della superficie topografica. Si dovranno accertare le caratteristiche dell'ammasso roccioso subaffiorante, la presenza e la natura di una eventuale copertura detritica superficiale e la capacità drenante del primo sottosuolo al fine di procedere ad un'analisi del complesso pendio-opera.
	3d - Area a rischio di esondazione e ristagno delle acque superficiali. Oltre alle prescrizioni della sottoclasse 3a, qualsiasi richiesta di concessione edilizia dovrà comprendere una valutazione del rischio effettivo di alluvionamento/allagamento.
	4a - Area di pertinenza torrentizia a forte rischio idrogeologico. Le problematiche sono connesse all'erosione accelerata lungo le aste torrentizie ed al pericolo di innesco di scivolamenti e franamenti lungo i versanti.

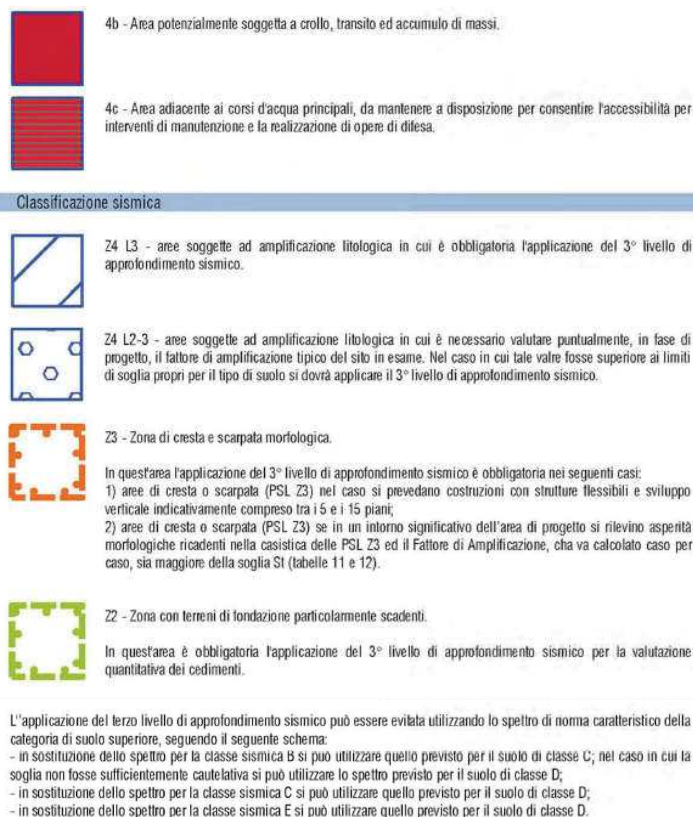


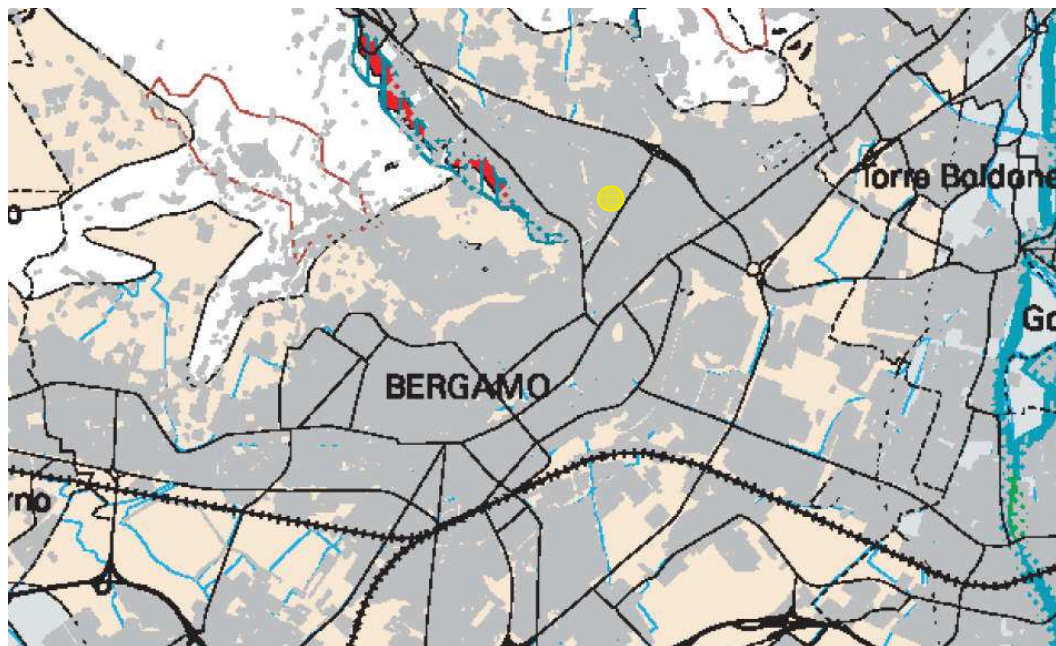
Figura n°16: Carta delle Fattibilità Geologiche di Piano  **area in esame**

1.7 ESAME DELLA CARTOGRAFIA DEL (PTCP) PIANO DI COORDINAMENTO TERRITORIALE PROVINCIALE DI PERTINENZA GEOLOGICA






Si è di seguito esaminata la cartografia del PTCP provinciale.









La Carta degli Elementi di Pericolosità e Criticità colloca l'area esaminata sul confine dell'ambito dei territori così definiti: "Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono mantenere come soglia minimale le condizioni geologiche ed idrauliche esistenti". Tale classificazione è legata, come si legge nelle Norme di Attuazione all'art.44, alla presenza di falda sì profonda, ma tuttavia vulnerabile a causa delle litologie superficiali e/o della abbondante presenza di pozzi. Sempre secondo le prescrizioni delle NdA, in tali aree è necessario "garantire interventi che non riducano le condizioni di assetto idrogeologico esistenti", pertanto evitando la messa in opera di pozzi per quanto

possibile, mentre qualora l'opera risulti necessaria eseguendola a regola d'arte ed attenendosi al D.L. 258/2000 per la gestione.




LEGENDA

-  Perimetrazioni individuate nell'Allegato 4.1 dell' "Atlante dei rischi idraulici ed idrologici" - Modifiche e integrazioni al P.A.I., approvate con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 del 26 aprile 2001 (aree verdi)
-  Perimetrazioni individuate nell'Allegato 4.2 dell' "Atlante dei rischi idraulici ed idrologici" - Modifiche e integrazioni al P.A.I., approvate con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 del 26 aprile 2001 (aree rosse)
-  Delimitazione delle fasce fluviali individuate nelle Tavole del P.A.I. (ex P.S.F.F.) e nelle successive modifiche e integrazioni.
Il perimetro comprende le fasce A e B
-  Aree valanghive che gravano su strutture/infrastrutture (centri abitati, strade, beni s.l.).
Per i restanti ambiti montani si rimanda alla carta di localizzazione probabile delle valanghe pubblicata dalla Regione Lombardia
-  Aree che non consentono trasformazioni territoriali a causa di gravi situazioni dovute alla presenza di ambiti a forte rischio idrogeologico (frane/esondazioni) (art. 43)

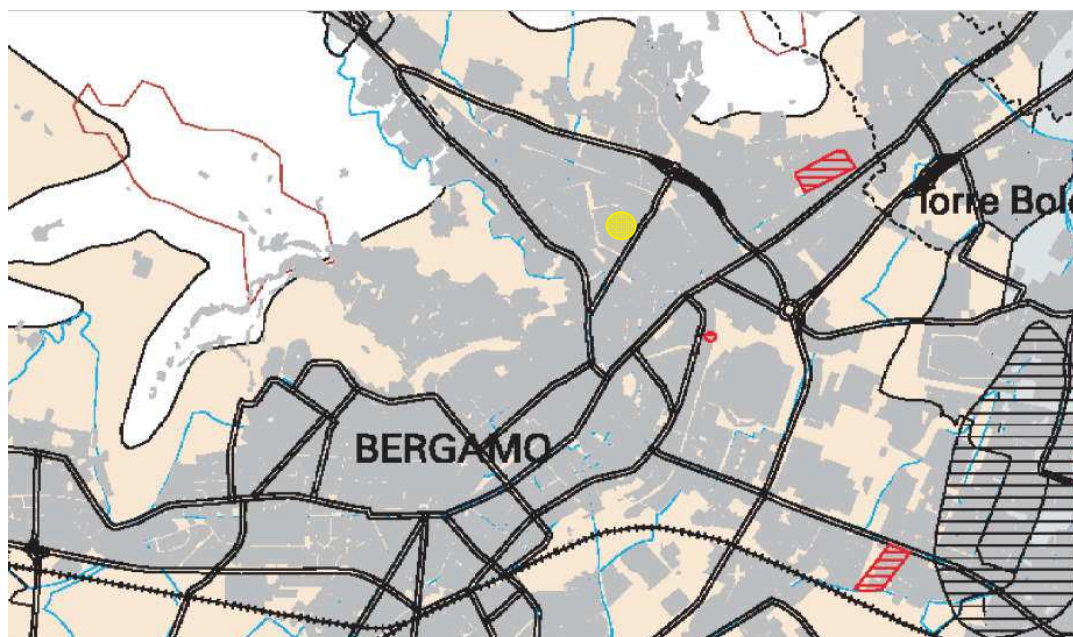
-  Aree prevalentemente inedificate nelle quali la compatibilità degli interventi di trasformazione territoriale è condizionata ad approfondimenti e studi di carattere idrogeologico ed idraulico che accertino la propensione dell'area all'intervento proposto. Ambiti urbani che per particolari condizioni geomorfologiche o idrogeologiche richiedono verifica delle condizioni al contorno e specifica attenzione negli interventi di modificazione edilizia e di nuova costruzione (art. 43)
-  Aree nelle quali gli interventi di trasformazione territoriale sono ammissibili previ approfondimenti finalizzati alla miglior definizione delle condizioni al contorno e delle caratteristiche geotecniche dei terreni (art. 43)
-  Aree di possibile fragilità nelle quali gli interventi sono ammessi solo previa verifiche di tipo geotecnico (art. 43)
-  Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica (art. 44)
-  Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono mantenere come soglia minimale le condizioni geologiche ed idrauliche esistenti (art. 44)
-  Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono garantire il mantenimento delle condizioni geologiche ed idrauliche esistenti (art. 44)
-  Limite superiore delle aree interessate da fontanili per i quali si dovrà verificare e garantire l'equilibrio idraulico e naturalistico (art. 44)
-  Aree ad elevata vulnerabilità per le risorse idriche sotterranee (art. 37)

Per tutte le aree montane non interessate da perimetrazioni, all'interno di questa carta, occorre comunque fare riferimento agli art. 41 e 42 delle N.d.A. del Piano

Figura n°17: PTCP – Sez 1. Suolo e acque – Tav 1: Elementi di pericolosità e di criticità; compatibilità degli interventi di trasformazione del territorio – tavola d'insieme

 area in esame

La carta degli Elementi di Criticità in Ambito di Pianura attribuisce al sito in esame vulnerabilità idrogeologica media, legata alla presenza di orizzonti superficiali impermeabili non troppo persistenti.



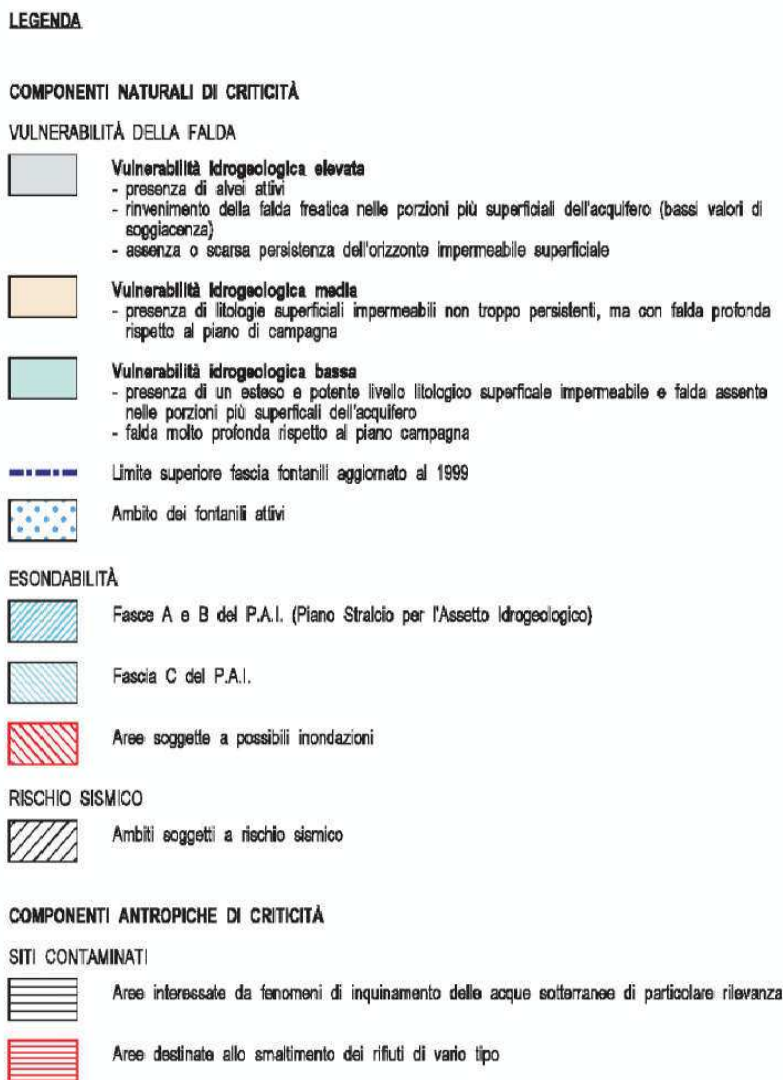
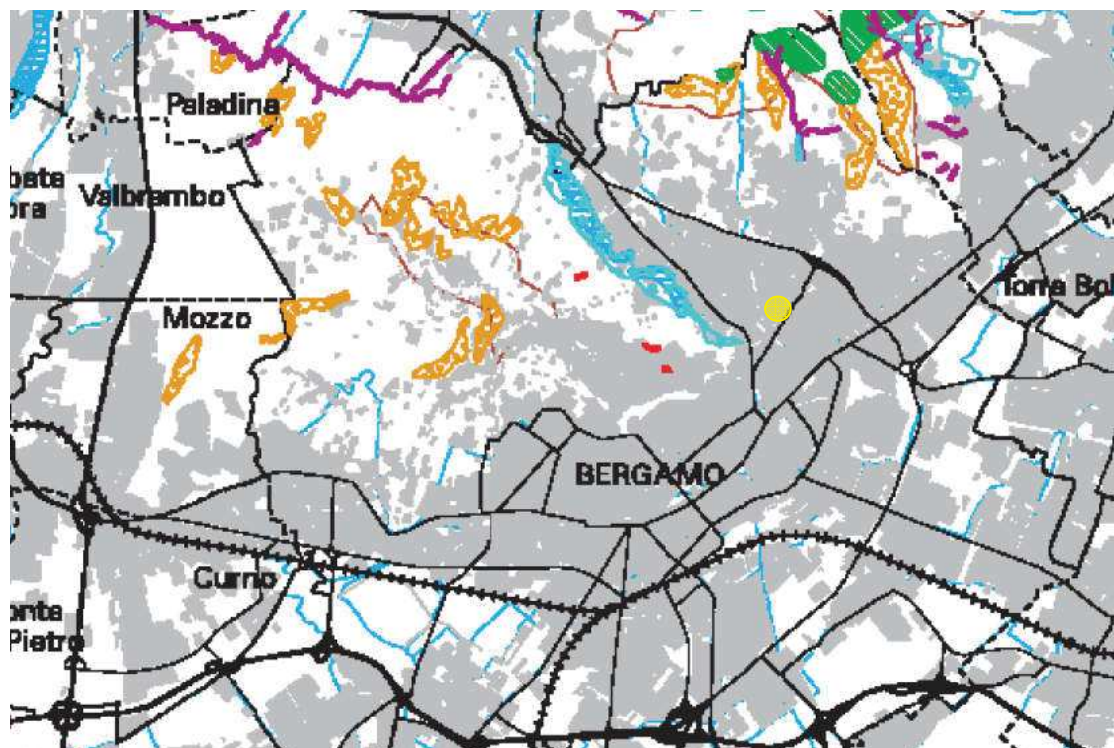








Figura n°18: PTCP – Sez D1: Geologia ed idrogeologia - Tav 1.3.A.: Carta degli elementi di criticità in ambito di pianura ● **area in esame**

La Carta del Dissesto Idrogeologico dei Territori Collinari e Montani infine non segnala alcuna criticità per l'area in esame.




LEGENDA

-  Aree ad elevata instabilità' con presenza di fenomeni franosi attivi ed in continua evoluzione
-  Aree potenzialmente instabili che presentano condizioni fisiche e morfologiche al limite di stabilità'
-  Aree soggette a processi di dilavamento e di erosione superficiale
-  Fenomeni di erosione per azione delle acque incanalate
-  Aree allagabili e alluvionabili
-  Aree ad elevata vulnerabilità' per le risorse idriche sotterranee

N.B.

La carta alla scala originale riporta informazioni di maggior dettaglio rispetto a quanto indicato in questa tavola

Figura n°19: PTCP – Rif. C1: Geomorfologia ed Idrologia del Territorio – Tav 1.3: Carta del Dissesto Idrogeologico e della Pericolosità dei Territori Montani e Collinari

 area in esame

1.8 SISMICITA' DELL'AREA

1.8.1 Normativa

Secondo la Normativa Italiana Sismica (decreti emessi sino al 1988 e DM 16/01/96) l'area in oggetto non era compresa in area sismica.

Nella recente Normativa Sismica (Ordinanza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003) tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in quattro zone.

A seguito 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 comune di Bergamo risulta in Zona Sismica 3 con accelerazione massima di $0,11877 \text{ m/s}^2$.

Nel settembre 2005 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale la nuova Normativa Italiana sulle Costruzioni, il cosiddetto Testo Unico (DM 14/09/2005); poi successivamente viene realizzata una nuova versione (DM 14/01/2008) pubblicata in Gazzetta Ufficiale n°29 del 4 febbraio con successiva pubblicazione della Circolare n° 617 del 02/02/2009, Gazzetta ufficiale n°47 del 27 febbraio 2009-Suppl. Ordinario n°27: Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche non deve più essere fatta sulla base della zona sismica territorialmente definita ma sito per sito secondo l'allegato B del D.M.

Tutte le verifiche vanno fatte con il metodo degli stati limite in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche.

1.9 LITOSTRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Le prove penetrometriche, in particolare la prova statica consentono, ma solo in via indiretta, di presumere la litologia dei terreni che costituiscono il sottosuolo, ma ovviamente non la loro natura naturale od antropica o fisico chimica.

La prova consente inoltre di determinare la resistenza del terreno e conseguentemente di valutare la presenza di orizzonti con valori uniformi nel sottosuolo indagato.

Le prove penetrometriche indicano, al di sotto di una massicciata superficiale:

- orizzonte superficiale costituito da terreni pseudocoerenti presumibilmente riferibili a limi argillosi o argille limose a clasti inglobati, spesso molto alterati, con interstratificazioni più sabbiose (limi sabbiosi più o meno argillosi), che assumono una percentuale di clasti ghiaiosi, oltre i circa 6.0-8.0 metri di profondità, che localmente arrestano l'avanzamento delle prove statiche. Questi terreni risultano da mediamente a moderatamente consistenti.

Si è inoltre fatto riferimento ad altri lavori eseguiti in zone limitrofe dallo scrivente per valutare la stratigrafia presunta del sottosuolo.

Sondaggi eseguiti presso l'area ex Reggiani , situata circa 400 metri ad Est, spinti a maggiore profondità , danno le seguenti indicazioni relativa alla litostratigrafia:

- oltre i circa 14/17 metri risultano presenti terreni meno coerenti e presumibilmente più permeabili, ghiaie sabbioso limose da argillose a debolmente argillose con interstratificazioni subordinate limoso argillose.

Si veda inoltre nella precedente figura n°7 anche la litostratigrafia del pozzo per acqua più vicino di cui è stato possibile reperire la stratigrafia, presente sempre presso l'area della ditta ex Reggiani, perforato sino a profondità di 201 metri, con tratto fenestrato tra i 76 ed i 95 metri , che permette la ricostruzione della litostratigrafia ancora più profonda del sottosuolo.

Da esso si ricava la conferma della presenza di terreni prevalentemente argillosi sino a circa 15 metri di profondità, poi un orizzonte arenaceo conglomeratico sino a circa 20-21 metri e poi nuovamente un pacco argilloso impermeabile che si estende sino a circa 60 metri di profondità, con qualche ciottolo dai 40 metri. Risulta poi presente un orizzonte prevalentemente conglomeratico sino a circa 90 metri di profondità costituente un acquifero presumibilmente in condizioni artesiane nel cui ambito attinge il pozzo in oggetto. A maggiore profondità segue alternanza di argille (argilliti?), roccia calcarea e arenaria, che potrebbero essere riferiti al substrato roccioso flyshoide, sterile d'acqua.

Indagini geognostiche eseguite in terreni verso Nord, in direzione dei Colli di Bergamo, hanno pure rilevato terreni coerenti limoso argillosi legati a fasi di

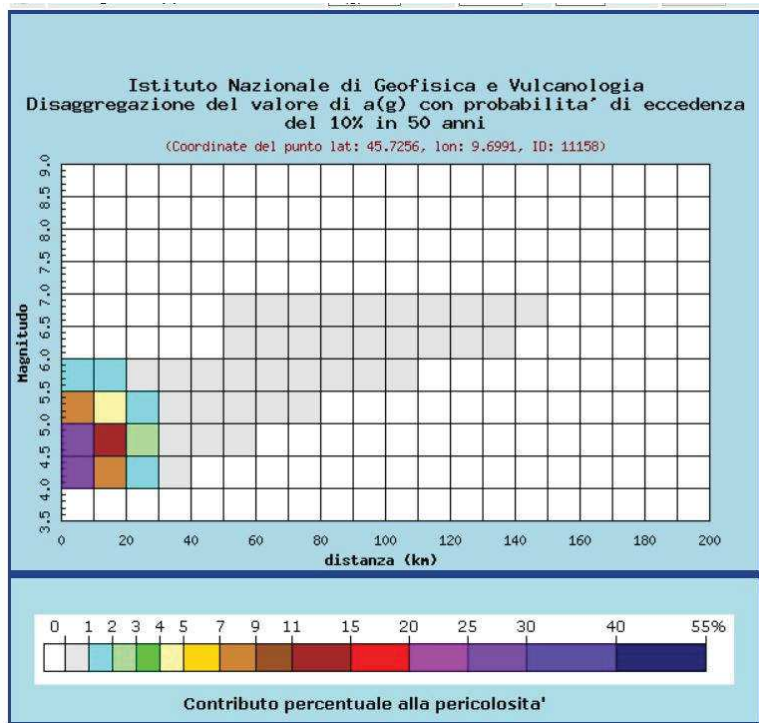
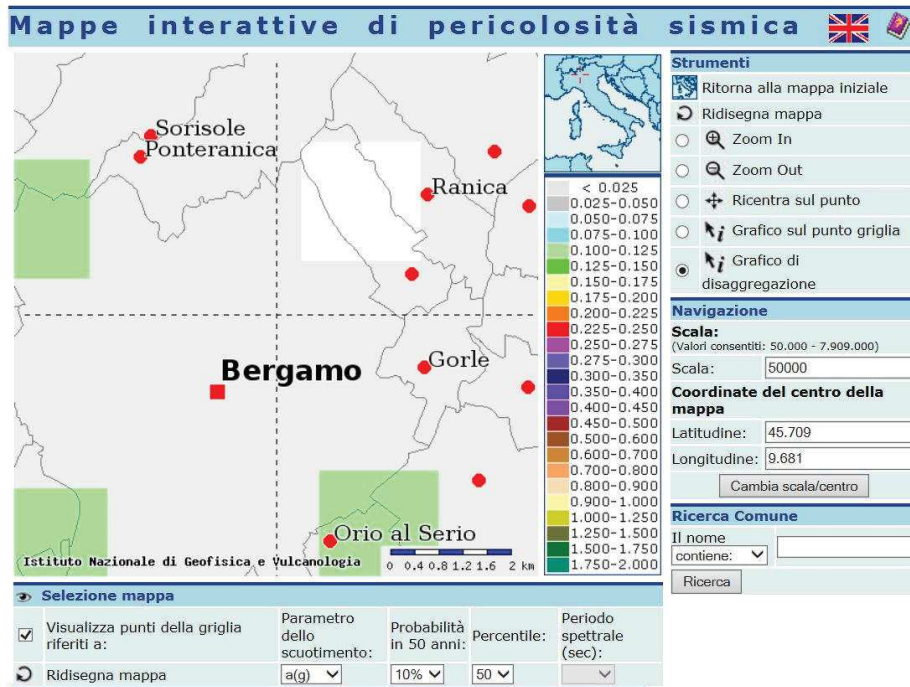
colmamento di bacini lacustri o comunque alla bassa energia deposizionale con anche resti fossili di vegetali, sino a profondità di oltre 20 – 30 m e nel complesso da moderatamente a poco consistenti.

1.10 VERIFICA DEL FENOMENO DELLA LIQUEFACIBILITA'

La verifica della esclusione della liquefazione del terreno si può assumere, secondo la NTC 2008, quando la magnitudo del terremoto atteso risulta inferiore a 5 (valore di soglia della Normativa): in questo caso il fenomeno della liquefazione non si verifica poiché solo nel caso di sismi con Mw superiore a 4,9 manifestazioni dovute alla liquefacibilità di depositi sciolti saturi diventano significative.

Un procedimento scientificamente corretto per valutare tale valore di magnitudo si basa sul concetto di disaggregazione della pericolosità sismica. Con tale procedimento vengono sommati i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo distanza degli epicentri ricadenti all'interno di un'area di riferimento allo scopo di individuare, con una procedura di tipo probabilistico (Cornell 1968), l'evento sismico dominante. Il terremoto individuato, detto terremoto di scenario, è caratterizzato da una magnitudo, una distanza dal sito indagato ed un tempo di ritorno. Per applicare tale sistema si fa riferimento al sito dell'I.N.G.V. che consente di calcolare il terremoto di scenario sulla base della Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano.

Nello specifico caso si è ottenuto quanto risulta dalle seguenti tabelle e schemi, da cui risulta che il valore ottenuto di magnitudo è uguale a 4,73 , permettendo quindi di omettere la verifica alla liquefacibilità.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.7256, lon: 9.6991, ID: 11158)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	25.800	29.600	8.140	1.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	7.290	11.600	4.970	1.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.360	2.980	1.900	0.731	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.115	0.585	0.579	0.286	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.075	0.202	0.131	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.002	0.069	0.112	0.071	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.014	0.072	0.075	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.001	0.030	0.049	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.028	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.015	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.730	9.770	0.350

1.11 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La Carta di Fattibilit  inserisce l'area in classe 3 (ossia con consistenti limitazioni), sottoclasse A, per la quale le limitazioni sono connesse alle modeste caratteristiche geotecniche od alle consistenti eterogeneit  del sottosuolo, anche possibilmente dovute a presenza di riporto.

L'intervento in oggetto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico dei luoghi nel rispetto della adozione di misure di salvaguardia dell'acquifero in ragione della prossimit  della superficie piezometrica al piano di campagna. Sono pertanto da prevedersi, finalizzati alla mitigazione del rischio, collegamenti alla rete fognaria.

Risulta gi  prevista la esecuzione in fase successiva di una approfondita indagine geognostica comportante la realizzazione di quattro sondaggi a carotaggio continuo a profondit  comprese fra i 20 e 30 metri con prove in foro SPT e prelievo di campioni di terreno da analizzarsi in laboratorio delle terre. Conseguentemente andranno adeguatamente osservate le indicazioni e verifiche che risulteranno nella relazione geotecnica.



INDICE

1.0 Relazione geologica	1
1.1 Premessa	1
1.2 Metodologia dell'indagine	1
1.2.1 Modalità esecuzione prove penetrometriche statiche C.P.T	1
1.2.2 Modalità esecuzione prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T	2
1.2.3 Modalità esecuzione indagine sismica MASW	4
1.2.3.1 Analisi multicanale delle onde superficiali	4
1.2.3.2 Risultati	8
1.2.4 Modalità della prospezione geosismica con metodo geofisico H.V.S.R.	12
1.3 Analisi sismica di secondo livello	23
1.4 Inquadramento geologico	28
1.5 Inquadramento idrogeologico	37
1.6 Verifica di coerenza con altra cartografia dello studio geologico comunale	43
1.7 Esame della cartografia del PTCP di pertinenza geologica	49
1.8 Sismicità dell'area	54
1.8.1 Normativa	54
1.9 Litostratigrafia del sottosuolo	54
1.10 Verifica del fenomeno della liquefacibilità	56
1.11 Considerazioni conclusive	58



COROGRAFIA CON RETE IDRICA SUPERFICIALE



Area in esame



Rete idrica principale

Foglio C5b2 della
Carta Tecnica Regionale
SCALA 1:10.000

TAV. 1

CENTRO SPORTIVO LAZZARETTO



STADIO "ATLETI AZZURRI D' ITALIA"

PS1
HVS R 1

HVS R 2

PS2

PD1

INDAGINI
EFFETTUATE

geometrica dinamica

strutturale statica

SCIENZE

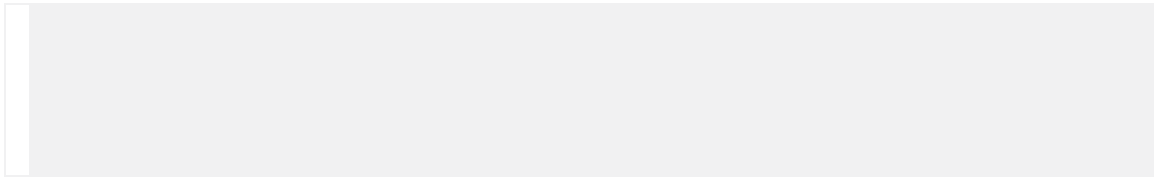
VIA MANARDI NEDO

VIA DEL LAZZARETTO

VIA G. CESARE

VIA DEI CELESTINI

Allegato n° 1



PROVA PENETROMETRICA STATICA TIPO CPT



Prova n°: 1 **Eseguita il:** 18/01/2018

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Bergamo **Località:** Stadio Comunale

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-200

Caratteristiche strumentazione: Ct = 10 - velocità avanzamento punta 2 cm/s - diam punta Begemann 35.7 mm

Operatore: Ardesi Innocente

rapporto di prova n° 979/GD/18 del 25/01/2018

quota inizio prova: p.c.

profondità della falda: -3,0 m

Prof. m	Letture di campagna		qc kg/cm ²	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc kg/cm ²	fs	qc/fs
	punta	laterale					punta	laterale			
0.20	---	---	--	----	---	3.60	7.0	13.0	7.0	1.93	4.0
0.40	---	---	--	----	---	3.80	31.0	60.0	31.0	1.20	26.0
0.60	---	---	--	----	---	4.00	33.0	51.0	33.0	1.00	33.0
0.80	---	---	--	----	---	4.20	15.0	30.0	15.0	0.73	20.0
1.00	---	---	--	----	---	4.40	11.0	22.0	11.0	0.53	21.0
1.20	---	---	--	0.27	----	4.60	12.0	20.0	12.0	0.47	26.0
1.40	8.0	12.0	8.0	0.47	17.0	4.80	13.0	20.0	13.0	0.53	24.0
1.60	7.0	14.0	7.0	0.53	13.0	5.00	13.0	21.0	13.0	0.60	22.0
1.80	10.0	18.0	10.0	0.80	12.0	5.20	12.0	21.0	12.0	0.60	20.0
2.00	20.0	32.0	20.0	0.93	21.0	5.40	12.0	21.0	12.0	0.73	16.0
2.20	22.0	36.0	22.0	1.07	21.0	5.60	13.0	24.0	13.0	0.67	19.0
2.40	22.0	38.0	22.0	0.93	24.0	5.80	15.0	25.0	15.0	0.80	19.0
2.60	21.0	35.0	21.0	1.07	20.0	6.00	15.0	27.0	15.0	1.00	15.0
2.80	18.0	34.0	18.0	0.80	22.0	6.20	15.0	30.0	15.0	0.87	17.0
3.00	20.0	32.0	20.0	1.20	17.0	6.40	15.0	28.0	15.0	1.07	14.0
3.20	15.0	33.0	15.0	0.80	19.0	6.60	18.0	34.0	18.0	----	----
3.40	10.0	22.0	10.0	0.40	25.0						

Prova n°: 1 **Eseguita il:** 18/01/2018

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Bergamo **Località:** Stadio Comunale

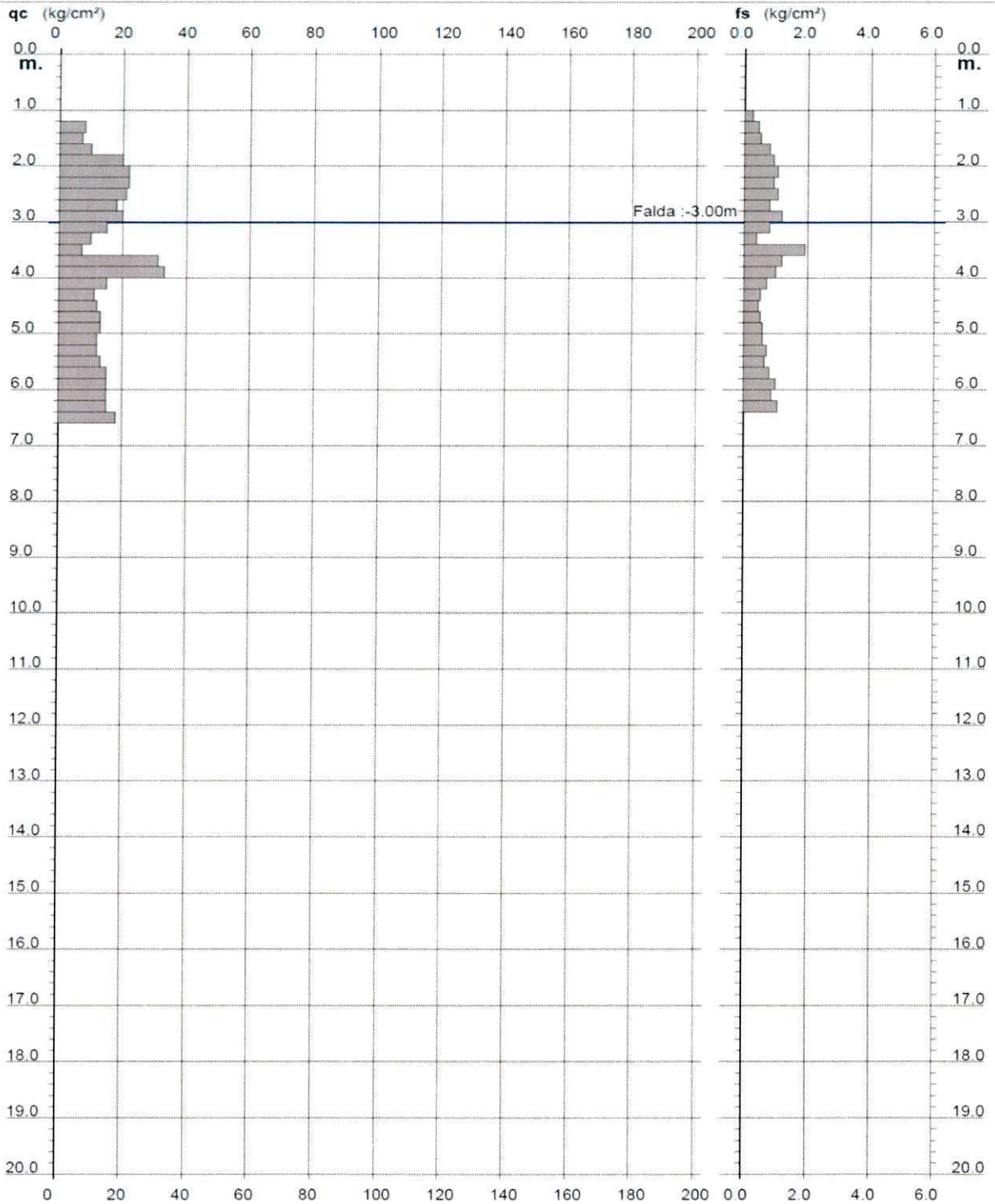
Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-200

Caratteristiche strumentazione: Ct = 10 - velocità avanzamento punta 2 cm/s - diam punta Begemann 35.7 mm

Operatore: Ardesi Innocente

rapporto di prova n° 979/GD/18 del 25/01/2018



Signature
Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli
n° 355

PROVA PENETROMETRICA STATICA TIPO CPT



Prova n°: 2 **Eseguita il:** 18/01/2018

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Bergamo **Località:** Stadio Comunale

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-200

Caratteristiche strumentazione: Ct = 10 - velocità avanzamento punta 2 cm/s - diam punta Begemann 35.7 mm

Operatore: Ardesi Innocente

rapporto di prova n° 980/GD/18 del 25/01/2018

quota inizio prova: p.c.

profondità della falda: -4,1 m

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm²				punta	laterale	kg/cm²		
0.20	---	---	---	---	---	5.40	31.0	51.0	31.0	1.27	24.0
0.40	---	---	---	---	---	5.60	29.0	48.0	29.0	1.40	21.0
0.60	---	---	---	---	---	5.80	21.0	42.0	21.0	1.67	13.0
0.80	---	---	---	---	---	6.00	23.0	48.0	23.0	1.60	14.0
1.00	---	---	---	---	---	6.20	23.0	47.0	23.0	1.07	22.0
1.20	---	---	---	2.00	---	6.40	20.0	36.0	20.0	1.00	20.0
1.40	24.0	54.0	24.0	1.47	16.0	6.60	21.0	36.0	21.0	0.80	26.0
1.60	27.0	49.0	27.0	0.67	40.0	6.80	30.0	42.0	30.0	2.47	12.0
1.80	30.0	40.0	30.0	1.47	20.0	7.00	82.0	119.0	82.0	2.87	29.0
2.00	34.0	56.0	34.0	0.87	39.0	7.20	51.0	94.0	51.0	2.00	26.0
2.20	29.0	42.0	29.0	0.93	31.0	7.40	16.0	46.0	16.0	0.47	34.0
2.40	24.0	38.0	24.0	1.13	21.0	7.60	19.0	26.0	19.0	0.67	28.0
2.60	32.0	49.0	32.0	1.13	28.0	7.80	20.0	30.0	20.0	0.80	25.0
2.80	36.0	53.0	36.0	1.00	36.0	8.00	15.0	27.0	15.0	0.27	56.0
3.00	31.0	46.0	31.0	1.73	18.0	8.20	8.0	12.0	8.0	0.13	60.0
3.20	37.0	63.0	37.0	2.27	16.0	8.40	10.0	12.0	10.0	0.13	75.0
3.40	49.0	83.0	49.0	2.13	23.0	8.60	10.0	12.0	10.0	0.80	12.0
3.60	33.0	65.0	33.0	1.60	21.0	8.80	12.0	24.0	12.0	3.60	3.0
3.80	28.0	52.0	28.0	1.40	20.0	9.00	48.0	102.0	48.0	3.73	13.0
4.00	29.0	50.0	29.0	2.80	10.0	9.20	30.0	86.0	30.0	4.27	7.0
4.20	23.0	65.0	23.0	1.00	23.0	9.40	104.0	168.0	104.0	6.07	17.0
4.40	24.0	39.0	24.0	1.67	14.0	9.60	105.0	196.0	105.0	4.13	25.0
4.60	28.0	53.0	28.0	1.00	28.0	9.80	94.0	156.0	94.0	5.13	18.0
4.80	24.0	39.0	24.0	2.20	11.0	10.00	168.0	245.0	168.0	11.33	15.0
5.00	33.0	66.0	33.0	1.60	21.0	10.20	160.0	330.0	160.0	1.60	100.0
5.20	27.0	51.0	27.0	1.33	20.0	10.40	186.0	210.0	186.0	---	---

PROVA PENETROMETRICA STATICA TIPO CPT



Prova n°: 2 **Eseguita il:** 18/01/2018

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Bergamo

Località: Stadio Comunale

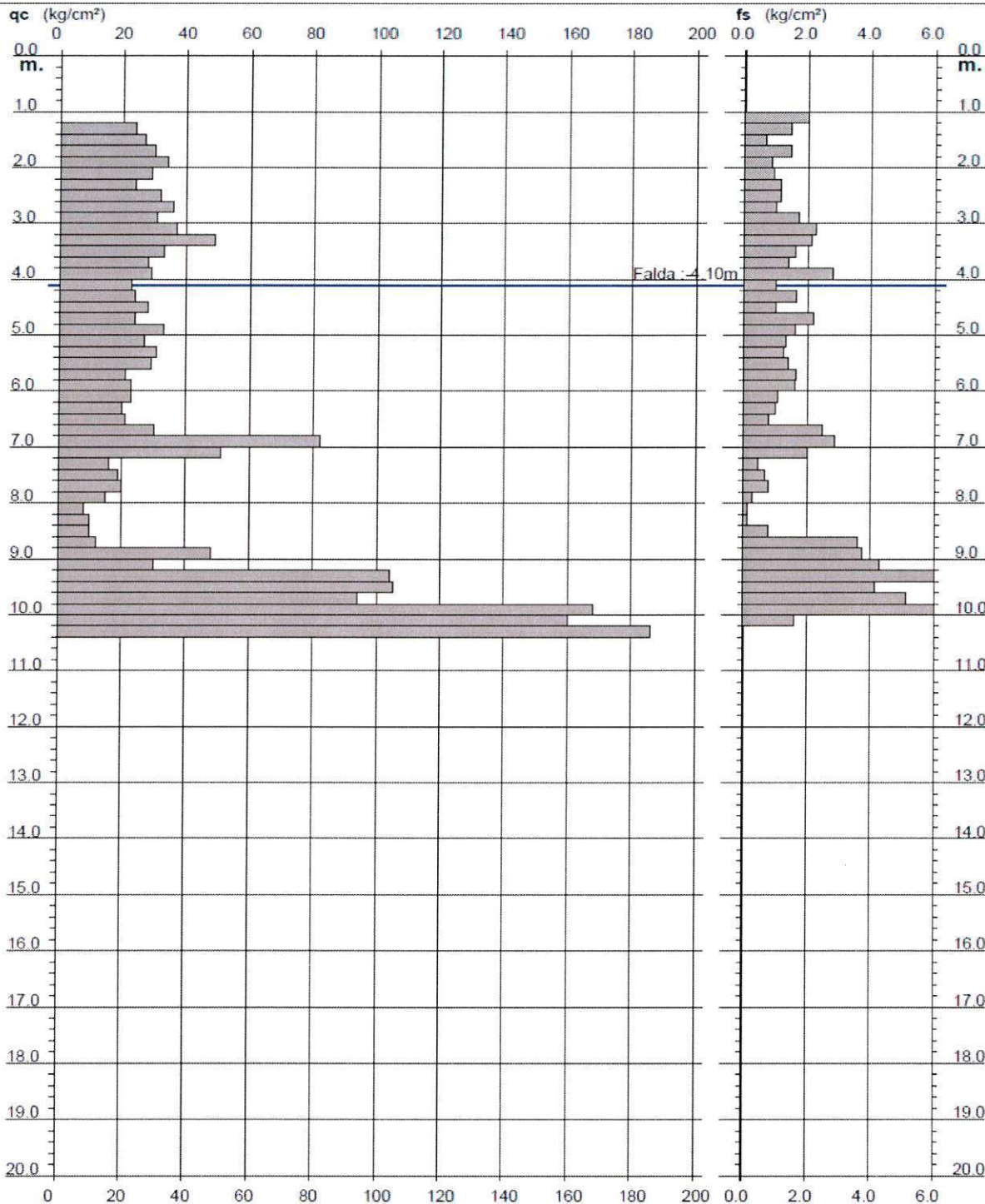
Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-200

Caratteristiche strumentazione: Ct = 10 - velocità avanzamento punta 2 cm/s - diam punta Begemann 35.7 mm

Operatore: Ardesi Innocente

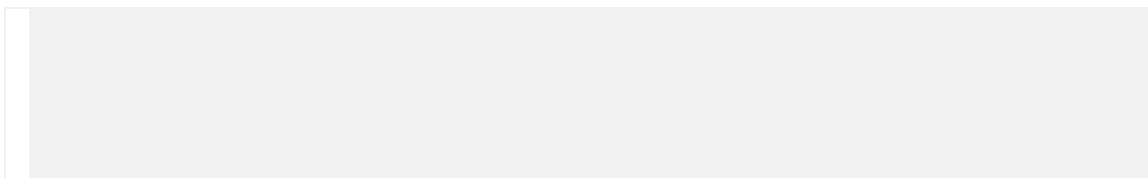
rapporto di prova n° 980/GD/18 del 25/01/2018





 Il Direttore tecnico
 Dott. Marco Belloli

Allegato n° 2



LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

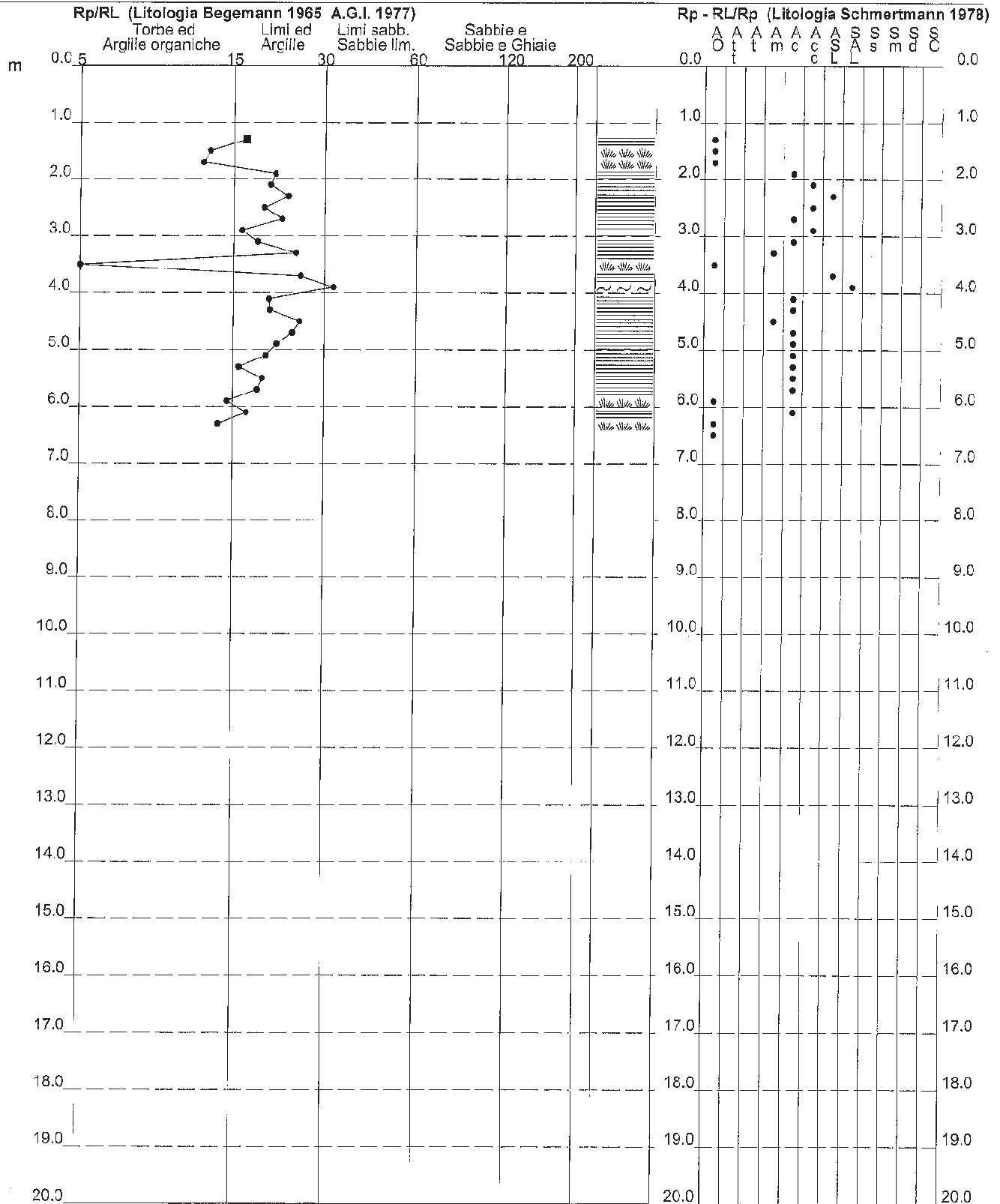
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.01PG05-082

- committente : Stadio Atalanta
 - lavoro :
 - località : Bergamo stadio
 - note :

- data : 18/01/2018
 - quota inizio : pc
 - prof. falda : -3.00 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100



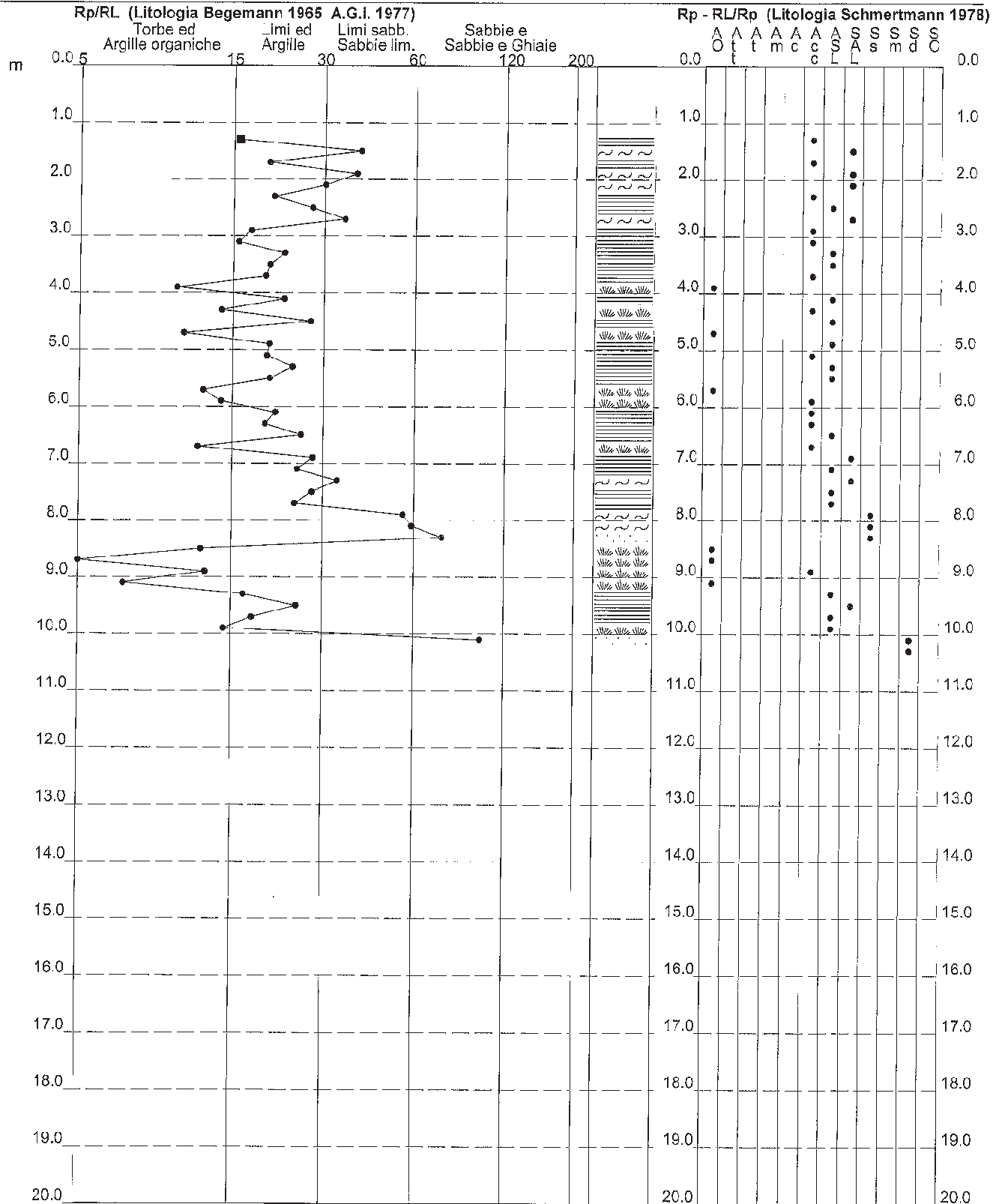
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

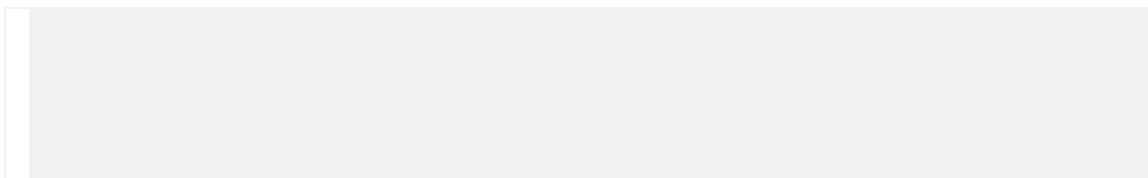
2.01PG05-082

- committente : Stadio Atalanta
- lavoro :
- località : Bergamo stadio
- note :

- data : 18/01/2018
- quota inizio : pc
- prof. falda : -4.10 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



Allegato n° 3





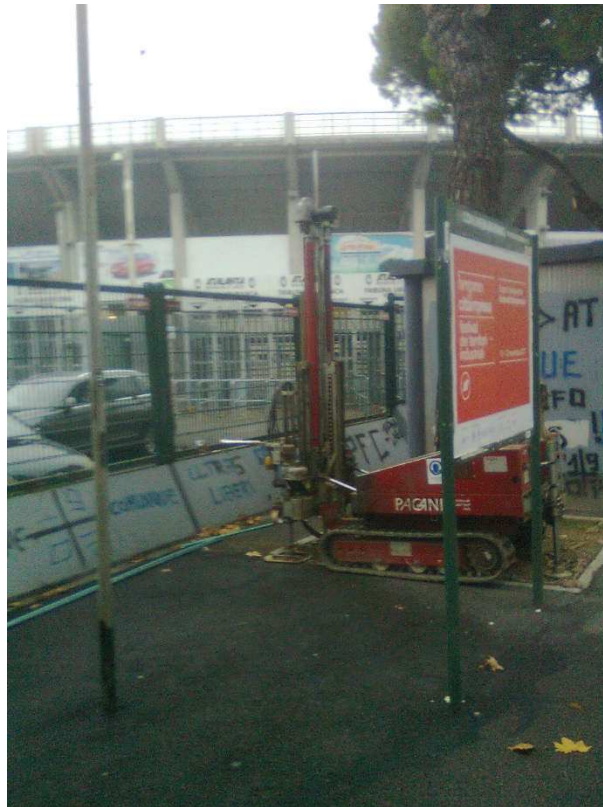
Postazione prova penetrometrica statica n°1



Postazione prova penetrometrica statica n°2



Postazione prova penetrometrica dinamica n°1



Postazione prova penetrometrica dinamica n°2



Prova con tromografo n°1



Prova con tromografo n° 2



Stendimento MASW n° 1



Stendimento MASW n° 2