



comune di  
**PRATO**

Codice Fiscale: 84006890481

Progetto :

**Spogliatoi e Club house del Campo di rugby C. Montano**

Titolo:

**OPERE DI RIQUALIFICAZIONE**

Fase:

**ESECUTIVO**

Assessore ai lavori pubblici **Valerio Barberis**  
Servizio **Lavori Pubblici**

Dirigente del Servizio **Arch. Emilia Quattrone**  
Responsabile Unico del Procedimento **Arch. Luca Piantini**

### Progettisti

Progetto Architettonico:	<b>Arch. Luca Piantini</b>
	<b>Geom. Francesca Logli</b>
	<b>Arch. Stefano Daddi (collab.)</b>
Progetto strutture:	<b>Ing. Paolo Nistri</b>
Impianti elettrici:	<b>P.I. Mauro Tenori</b>
Coord. Sicurezza in fase di progetto ed esecuzione:	<b>Geom. Massimo Masiani</b>



Elaborato: **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

Spazio riservato agli uffici:



**Dott.ssa Gioia Innocenti**

**GEOLOGO**

Via Molina di Gora n° 19/A - 51100 Pistoia

Tel 0573 570566 - fax 0573 910056 - cell 328/1662379

EMAIL: gioia.innocenti@libero.it

## Comune di Prato

### PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DELLO SPOGLIATOIO DEL CAMPO DA RUGBY C. MONTANO CON UN SUO PICCOLO AMPLIAMENTO

Viale G. Galilei

#### RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi della normativa vigente:

- Decreto Ministeriale 14.01.2008
- Consiglio Superiore per i Lavori Pubblici
  - D.P.C.M. 5.11.1999
  - PAI - D.P.C.M. 6.05.2005
- PIT - D.C.R.T. n. 72 del 24.07.2007
  - Piano Strutturale

**Committente:** COMUNE DI PRATO

**RELATORE:** Dott. ssa Geol. Gioia Innocenti

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1205

**GENNAIO 2016**

## 1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati di uno studio geologico eseguito su un lotto di terreno per il progetto di riqualificazione dello spogliatoio del campo da rugby C. Montano con un suo piccolo ampliamento posto lungo Viale Galilei nel Comune di Prato.

L'area oggetto dell'intervento è riportata nella planimetria scala 1:10.000 allegata.



Lo studio geologico ha avuto lo scopo di fornire al progettista indicazioni sulla fattibilità delle opere in funzione delle tematiche geologiche sia di superficie che di sottosuolo e più specificatamente:

- **descrizione** delle caratteristiche morfologiche e geologiche dei luoghi
- **valutazione** della fattibilità dell'intervento in riferimento alle normative in tema di rischio idraulico
- **considerazioni** stratigrafiche, litologiche e idrologiche del sottosuolo
- **indicazione** ai fini edificatori dei principali parametri geotecnici dei livelli litologici incontrati.

Le determinazioni sopra indicate si sono rese necessarie oltre che per valutare gli aspetti puramente fisico ambientali anche per ottemperare a quanto previsto dalla normativa vigente con particolare attenzione a:

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008** - Testo unitario Norme Tecniche per le Costruzioni.
- **Consiglio Superiore per i Lavori Pubblici** - Istruzione per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 Gennaio 2008. Circolare 2 Febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Pericolosità Sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007.
- **D.P.C.M. del 5.11.1999** pubblicato su G.U. n° 229 del 22/12/1999 riguardante "Approvazione del piano stralcio relativo alla riduzione del Rischio Idraulico del bacino del fiume Arno"
- **PAI - D.P.C.M. 6.05 2005**: "Approvazione del Piano di Bacino del Fiume Arno, Stralcio Assetto Idrogeologico" (GU n. 230 del 3 ottobre 2005).
- **PIT - D.C.R.T. n. 72 del 24.07.2007** inerente le problematiche di natura idraulica già definite a suo tempo con la Delib. R.T. 230/94.
- **Normativa sismica**
- **Regolamento Urbanistico Comune di Prato** ai sensi art. 38/bis delle N.T.A. vigenti e art. 121 del R. U. adottato con D.C.C. n. 56 del 15.04.1999.

## 2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO

### Ubicazione e morfologia

L'area in esame si trova in località Coiano a nord dell'abitato di Prato lungo Viale G. Galilei, sulla destra idrografica del Fiume Bisenzio ad una quota di 72 mt. s.l.m..

La morfologia dei luoghi è stata modificata dall'intervento antropico dell'uomo mediante la realizzazione sia di edifici destinati ad attività commerciali e artigianali che di edifici ad uso abitativo.

La zona è intensamente urbanizzata e è interamente pianeggiante e tale configurazione porta ad escludere che si abbiano fenomeni di dissesto per movimenti gravitativi per cui l'area è da ritenersi stabile.



L'area non ricade nel vincolo idrogeologico.

## **Geologia**

L'area è situata nella zona centrale dell'ampia pianura che da Pistoia si estende fino a Firenze, ed è ciò che resta del paleolago insediato nella depressione tettonica, formatasi circa 2 milioni di anni fa (tardo Pliocene) in seguito a movimenti di orogenesi distensiva che interessarono la Toscana con inizio dall'area tirrenica: la facies di sedimentazione lacustre poggia su una successione di rocce di origine marina (pre-miocene) con caratteristiche strutturali e stratigrafiche analoghe a quelle che attualmente caratterizzano i fianchi del paleoinvaso e l'evoluzione del bacino ebbe come prima fase una lenta sedimentazione di materiali fini (argille e limi) cui fece seguito una sedimentazione di materiali più grossolani di ambiente fluvio lacustre in concomitanza di un aumentato regime di trasporto dei corsi d'acqua.

I rilievi collinari e montuosi che delimitano il bacino sono costituiti da terreni appartenenti sia alle formazioni **Liguri s.l.** che a quelle del **Dominio Toscano**; i primi, sovrascorsi da ovest sui terreni della serie Toscana, sono rappresentati da rocce calcaree tipo "alberese" e da termini argillitici del Complesso di Base mentre i terreni arenacei sono rappresentati da termini della Serie Toscana di cui affiorano rocce della formazione torboidica del macigno e da terreni dell'Unità Monte Modino - Monte Cervarola.

La parte alluvionale è costituita dai depositi recenti di natura limo argillosa sovrastanti i terreni lacustri del paleolago. Mentre i primi hanno un basso grado di consolidazione data la loro origine recente, i depositi lacustri sono in genere sovraconsolidati con grado di compattezza e/o addensamento molto elevato.

## **Aspetti geologici e idrologici locali**

L'area in oggetto è costituita da depositi **alluvionali recenti** che variano, per composizione granulometrica e spessore, da zona a zona e per i quali la distribuzione granulometrica è più francamente grossolana in prossimità dello sbocco dei corsi d'acqua (sabbie e ghiaie) e più fine per quelli presenti al centro del bacino (limi, argille).

In allegato è riportata la carta geologica dell'area. .

### 3. ASPETTI NORMATIVI

#### 3.1- Pericolosità geomorfologica

##### **DPCM 06/05/2005 - Piano Assetto Idrogeologico**

La verifica cartografica eseguita in ottemperanza al D.P.C.M. 6/5/2005 ed alla relativa normativa (**Pericolosità Idraulica TITOLO II AREE A PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA Cap. II Pericolosità idraulica art. 5 Elaborazione del PAI**) ha consentito di osservare che il lotto in oggetto non ricade in aree definite dalla cartografia allegata alla delibera.

##### **Regolamento urbanistico Comune di Prato**

Dalla consultazione della cartografia di corredo al Regolamento urbanistico (Tavola Af.9) si è osservato che il lotto in questione è inserito in **classe G1, bassa**.

#### 3.2. Pericolosità idraulica

##### **PIT - D.C.R.T. n. 72 del 24/07/2007.**

Il corso d'acqua principale è rappresentato dal Fiume Bisenzio che scorre ad est del lotto ad una distanza di circa 350 metri.

##### **D.P.C.M. 5/11/1999.**

In riferimento a quanto previsto dalla Norma 5 del D.P.C.M. 5/11/99 (**Aree di pertinenza**) il lotto in esame non ricade in nessun'area di pertinenza fluviale.

Per quanto previsto dalla Norma 6 dello stesso D.P.C.M. (**Carta Guida delle aree allagate-stralcio 27**) risulta che il lotto in esame non cade all'interno di aree interessate da eventi alluvionali eccezionali e/o ricorrenti.

##### **Regolamento urbanistico Comune di Prato**

Dalla consultazione della cartografia in tema di pericolosità geologica ed idraulica riferita al comune di Prato ed in particolare alla cartografia di corredo al Regolamento Urbanistico (tavola Af. 9) si è osservato che il lotto in questione cade in **classe di pericolosità I1**, bassa in cui ricadono aree morfologicamente rilevate.

La tavola Af. 10 non mostra presenza di battenti per il lotto indagato.

Ciò definito, l'intervento risulta compatibile con le condizioni di rischio atteso senza che lo stesso sia aggravato.

#### 4. CRITERI METODOLOGICI PER LA CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Nel rispetto di quanto previsto dal Decreto Presidente Giunta Regionale 9/07/2009 n°36R (art. 7, punto 3), il tipo di opera, dai dati desunti dalle tavole progettuali determinerà un incremento volumetrico di circa 300 m<sup>3</sup>, ricade in classe d'indagine 2, che indica opere con volume lordo inferiore a 1500 m<sup>3</sup> o con altezza in gronda inferiore a 10 metri. Per tale classe d'indagine la categoria di suolo si determina mediante indagini geofisiche (sismiche a rifrazione o riflessione) e prove geotecniche eseguite sul sito in oggetto.

#### 5. RISCHIO SISMICO

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana è stata approvata con Del. GRT n° 878 del 8/10/2012.

L'aggiornamento, redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008).

In riferimento a tale classificazione il comune di Prato cade in zona 3.

##### *Classificazione del sito*

La normativa prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde s nella copertura che dello spessore della stessa. vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt} > 50$ o coesione non drenata $> 250$ kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di $V_{s30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$ , $70 < cu < 250$ kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt} < 15$ , $cu < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{s30}$ simili a

quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.

Nelle definizioni precedenti  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità, ed è calcolata con la seguente relazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori.

## 6. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE e GEOTECNICHE

In riferimento alla classe d'indagine dell'intervento, al fine di ricostruire la successione stratigrafica del sottosuolo, di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni e dare indicazioni sulla profondità e comportamento della falda acquifera, anche in conformità con quanto previsto dalla normativa vigente, sono stati utilizzati i dati geologici riferiti all'esecuzione di n° 1 prova penetrometrica dinamica ubicata come mostrato nella figura allegata.



## 7. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEL TERRENO

Elaborando i risultati dei dati ricavati dalla prova eseguita in loco confrontati con quelli di altre indagini limitrofe, il profilo stratigrafico del sottosuolo in oggetto è riassumibile nella seguente stratigrafia, confermata anche da indagini eseguite nei dintorni dell'area:

Profondità	Descrizione litologica
da p.c. a 5.20 mt	Sabbia con ciottolotti in matrice limo sabbiosa addensata ValoreNSPT (numero colpi) medio = 20 colpi
da 5.20 a 5.80 mt (rifiuto strumentale)	Sabbia argillosa e ghiaiosa in matrice limo sabbiosa ValoreNSPT (numero colpi) medio = 12 colpi
da 5.80 a 6.20 mt (rifiuto strumentale)	Sabbia con ciottolotti in matrice limo sabbiosa molto addensata ValoreNSPT (numero colpi) medio = 22 colpi

La perforazione penetrometrica ha evidenziato e rilevato nel sottosuolo presenza d'acqua alla profondità di 2.10 m da p.c., quota non interessata dalle nuove fondazioni.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici, si riportano quelli desunti dalla prova effettuata in loco

#### da 0.00 a 5.20 m

peso dell'unità di volume ( $\gamma$ )	1,99 t/mc
angolo di attrito interno ( $\phi$ )	33°
coesione non drenata (cu)	1,25 Kg/cm <sup>2</sup>
modulo edometrico (E)	70 kg/cm <sup>2</sup>

#### da 5.20 a 5.80 m

peso dell'unità di volume ( $\gamma$ )	1,94 t/mc
angolo di attrito interno ( $\phi$ )	31°
coesione non drenata (cu)	0,75 Kg/cm <sup>2</sup>
modulo edometrico (E)	50 kg/cm <sup>2</sup>

#### da 5.80 a 6.20 m

peso dell'unità di volume (g)	2,00 t/m <sup>3</sup>
angolo di attrito interno (f)	34°
coesione non drenata (cu)	1,30 Kg/cm <sup>2</sup>
modulo edometrico (e)	85 kg/cm <sup>2</sup>

### 8. CATEGORIA DI SUOLO

Per la caratterizzazione sismica locale si sono utilizzati i dati derivanti da una prospezioni geofisiche (sismica a rifrazione con tecnica MASW) eseguita sul lotto, da cui emerge che l'edificio insiste su terreni con Vs di 480 m/s e quindi in categoria di suolo di fondazione B.

## Condizioni topografiche

L'area è posta in una zona con pendenze dell'ordine del 5% e quindi riguardo la categoria topografica appartiene alla Categoria T1 riferibile a "Pendii con bassa pendenza".

## Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,902686  
longitudine: 11,109524  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19390	Lat: 43,9098	Lon: 11,0615	Distanza: 3929,745
Sito 2	ID: 19391	Lat: 43,9112	Lon: 11,1308	Distanza: 1946,238
Sito 3	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 4972,818
Sito 4	ID: 19612	Lat: 43,8598	Lon: 11,0634	Distanza: 6032,376

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,051 g  
Fo: 2,519  
Tc\*: 0,251 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,062 g  
Fo: 2,540  
Tc\*: 0,266 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,147 g  
Fo: 2,415  
Tc\*: 0,298 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,187 g

Fo: 2,393  
Tc\*: 0,310 [s]

## Coefficienti Sismici

## SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,450  
St: 1,000  
Kh: 0,012  
Kv: 0,006  
Amax: 0,598  
Beta: 0,200

## SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,000  
Kh: 0,015  
Kv: 0,007  
Amax: 0,729  
Beta: 0,200

## SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,400  
St: 1,000  
Kh: 0,042  
Kv: 0,021  
Amax: 1,729  
Beta: 0,240

## SLC:

Ss: 1,200  
Cc: 1,390  
St: 1,000  
Kh: 0,054  
Kv: 0,027  
Amax: 2,198  
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

latitudine: 43.901730

longitudine: 11.108536

## 9. CONSIDERAZIONI SUL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno, possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione

litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;
- dalla profondità della linea di falda (prossima alla superficie).

Dall'osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa avviene nelle seguenti circostanze:

- terremoti di magnitudo uguale o superiore a 5.5, con accelerazioni superiori o uguali a 0,2 g;
- al di sopra dei 15 metri di profondità; oltre questa profondità non sono state osservate liquefazioni;
- la profondità della falda posizionata in prossimità della superficie (inferiore ai 3 m).

In letteratura sono stati suggeriti da vari autori, diversi metodi (tabellari, semplificati ecc...), per la valutazione del potenziale di liquefazione di depositi sabbiosi saturi.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) Metodo di Seed e Idriss (1982);
- 2) Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);
- 3) Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);
- 4) Metodo di Finn (1985);



- 5) Metodo di Cortè (1985);
- 6) Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);
- 7) Metodo di Andrus e Stokoe (1998);
- 8) Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);
- 9) Metodo basato sull'NTC 2008.

Da osservazioni effettuate su un certo numero di terremoti avvenuti, alcuni autori hanno potuto osservare che esiste una relazione fra la magnitudo e il logaritmo della distanza all'interno della quale si possono innescare fenomeni significativi di liquefazione, da cui:

$$\text{Log}_{10}R = 0.8 M - 4.5$$

dove:

R = distanza dall'epicentro del terremoto espressa in km;

M = Magnitudo

Per tale verifica è importante quindi conoscere la distanza esistente tra l'epicentro di un terremoto ed il sito più lontano ove possono avvenire fenomeni di liquefazione. Tale distanza, può essere stimata direttamente dalla **magnitudo** del terremoto atteso, valutata dalla conoscenza dell'attività sismica dell'area in cui si sono verificati fenomeni di liquefazione durante i terremoti passati .

#### Dati generali

Numero di strati = 3

Magnitudo del sisma = 5,5

Accelerazione massima al suolo = 0,15

Sovraccarico sul piano campagna=90 Kpa

Strato Nr.	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Nr. colpi medio (Nspt)	Resistenza qc (KPa)	Velocità Vs (m/s)
1	0	1	20	11356	280
2	1	1.8	12	5325	280
3	1.8	7	22	10081	460

**EC8 (CPT) (1998)****Risultati**

NL = terreni non suscettibili a liquefazione

**Correzione per la magnitudo (MSF) = 2,21**

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Correzione per la press. litostatica efficace (CN)	Resistenza alla punta corretta qc1 (bar)	Coefficiente riduttivo (rd)	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	2.30	20.02	18.06	1.70	856.89	0.98	NL	0.00
2	2.50	19.56	15.64	1.70	856.89	0.98	NL	0.00
3	2.70	19.08	13.20	1.70	856.89	0.98	NL	0.00
4	2.90	18.59	10.75	1.70	856.89	0.98	NL	0.00
5	3.10	18.10	8.30	1.70	856.89	0.98	NL	0.00
6	3.30	17.61	5.85	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
7	3.50	17.13	3.40	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
8	3.70	16.65	0.96	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
9	3.90	16.18	-1.47	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
10	4.10	15.72	-3.90	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
11	4.30	15.27	-6.30	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
12	4.50	14.83	-8.70	1.70	856.89	0.97	NL	0.00
13	4.70	14.41	-11.09	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
14	4.90	14.00	-13.46	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
15	5.10	13.60	-15.82	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
16	5.30	13.22	-18.16	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
17	5.50	12.85	-20.49	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
18	5.70	12.49	-22.81	1.70	856.89	0.96	NL	0.00
19	5.90	12.14	-25.12	1.70	856.89	0.95	NL	0.00
20	6.10	11.81	-27.42	1.70	856.89	0.95	NL	0.00
21	6.30	11.49	-29.70	1.70	856.89	0.95	NL	0.00
22	6.50	11.18	-31.97	1.70	856.89	0.95	NL	0.00
23	6.70	10.88	-34.23	1.70	856.89	0.95	NL	0.00
24	6.90	10.59	-36.49	1.70	856.89	0.95	NL	0.00

**EC8 (Vs) (1998)****Input dati**

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo di suolo
1	10	30	<= 10	B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o di argille molto consistenti
2	10	30	<= 10	B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o di argille molto consistenti
3	10	30	<= 10	B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o di argille molto

				consistenti
--	--	--	--	-------------

## Risultati

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	2.30	20.02	18.06	NL	0.00
2	2.50	19.56	15.64	NL	0.00
3	2.70	19.08	13.20	NL	0.00
4	2.90	18.59	10.75	NL	0.00
5	3.10	18.10	8.30	NL	0.00
6	3.30	17.61	5.85	NL	0.00
7	3.50	17.13	3.40	NL	0.00
8	3.70	16.65	0.96	NL	0.00
9	3.90	16.18	-1.47	NL	0.00
10	4.10	15.72	-3.90	NL	0.00
11	4.30	15.27	-6.30	NL	0.00
12	4.50	14.83	-8.70	NL	0.00
13	4.70	14.41	-11.09	NL	0.00
14	4.90	14.00	-13.46	NL	0.00
15	5.10	13.60	-15.82	NL	0.00
16	5.30	13.22	-18.16	NL	0.00
17	5.50	12.85	-20.49	NL	0.00
18	5.70	12.49	-22.81	NL	0.00
19	5.90	12.14	-25.12	NL	0.00
20	6.10	11.81	-27.42	NL	0.00
21	6.30	11.49	-29.70	NL	0.00
22	6.50	11.18	-31.97	NL	0.00
23	6.70	10.88	-34.23	NL	0.00
24	6.90	10.59	-36.49	NL	0.00

Le verifiche eseguite hanno escluso il verificarsi del fenomeno della liquefazione.

## 10. CONCLUSIONI

Nella presente relazione geologica sono illustrati i risultati dello studio geologico eseguito su un'area situata in Viale Galilei nel Comune di Prato.

Sono stati acquisiti dati geologici e stratigrafici mediante un'indagine geognostica svolta sul lotto; l'analisi dei dati penetrometrici ha evidenziato una successione stratigrafica caratterizzata dalla presenza di depositi di natura limo sabbiosa con ciottoli addensata.

Per quanto attiene la valutazione dei rischi di carattere idraulico (normativa regionale vigente) l'area non è soggetta agli ambiti fluviali dei corsi d'acqua presenti in zona.

Per tali terreni sono riportati i principali parametri geotecnici che il progettista potrà utilizzare.

L'area è stabile e non presenta nessuna forma di dissesto in atto o pregresso.

La situazione morfologica e idraulica dell'area fa sì che il lotto in esame non risulta soggetto a nessuna delle prescrizioni e salvaguardie di carattere idraulico e geomorfologico contenute e indicate nelle normative richiamate in premessa della presente relazione per cui la realizzazione dell'intervento non viene subordinata al superamento di alcuna situazione legata al rischio idraulico e/o geomorfologico.

Pertanto nulla osta per quanto di competenza alla realizzazione delle opere in progetto.

Si rimane a completa disposizione in merito a quanto sopra scritto.

Pistoia, gennaio 2016

Dott. Geologo Gioia Innocenti  
Ordine Geologi della Toscana n° 1205



**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**  
Ordine Geologi della Toscana n° 1205  
Sede operativa: Via Nazario Sauro 440 - Pontelungo - Pistoia  
cell 3281662379 - fax 0573 910056

**Ubicazione area in oggetto: Viale Galilei - Prato**

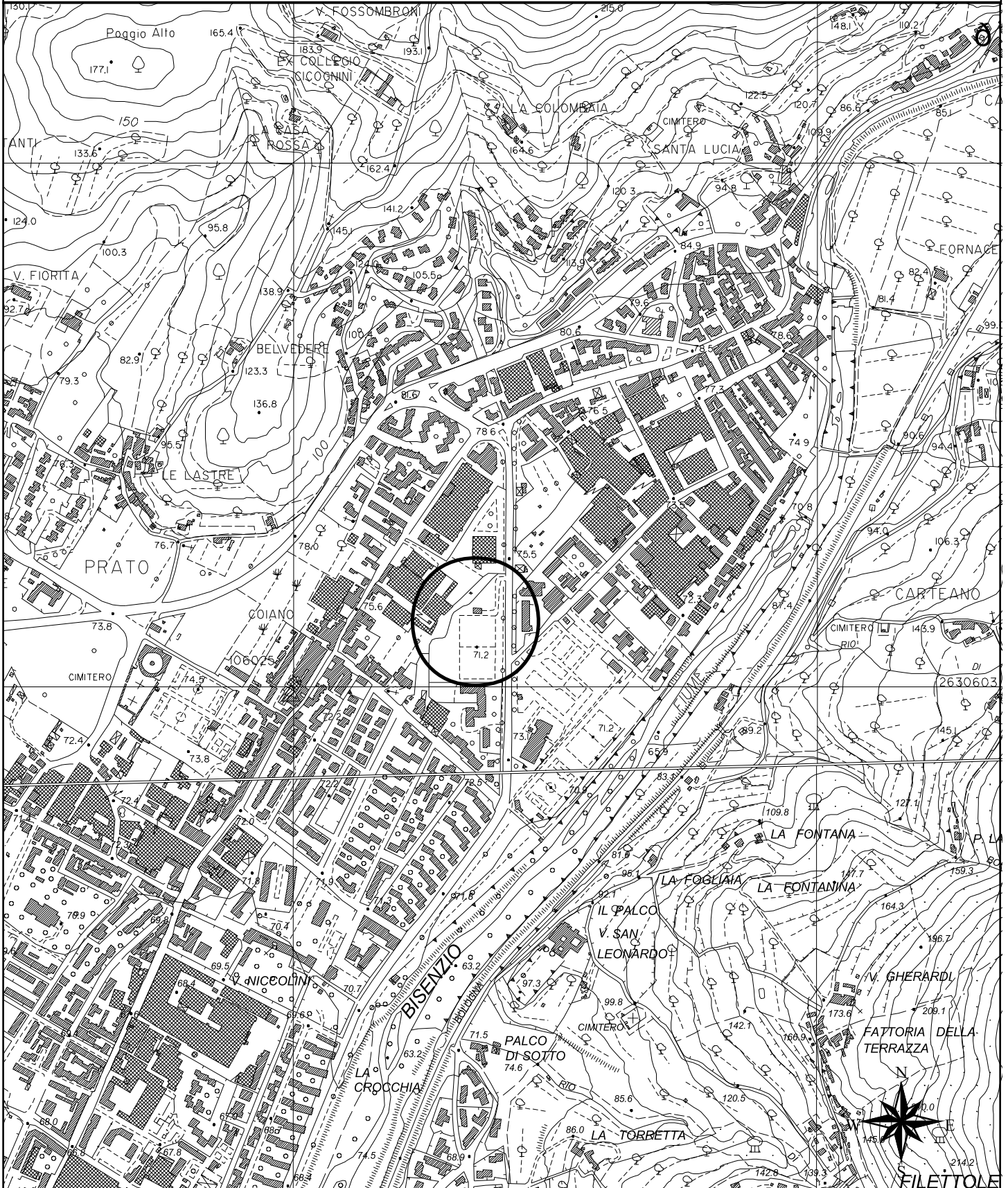
## COROGRAFIA

200 0 200 400 Meters



scala 1:10.000

**Committente: COMUNE DI PRATO**





**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**

Sede operativa: Via Nazario Sauro 438 - Pontelungo - Pistoia

Domicilio fiscale: Via Molina di Gora 19/A - 51100 Pistoia

Tel. 0573 570566 - Fax 0573 910056 - cell 328 1662379

**Ubicazione area in oggetto:**

Viale Galilei

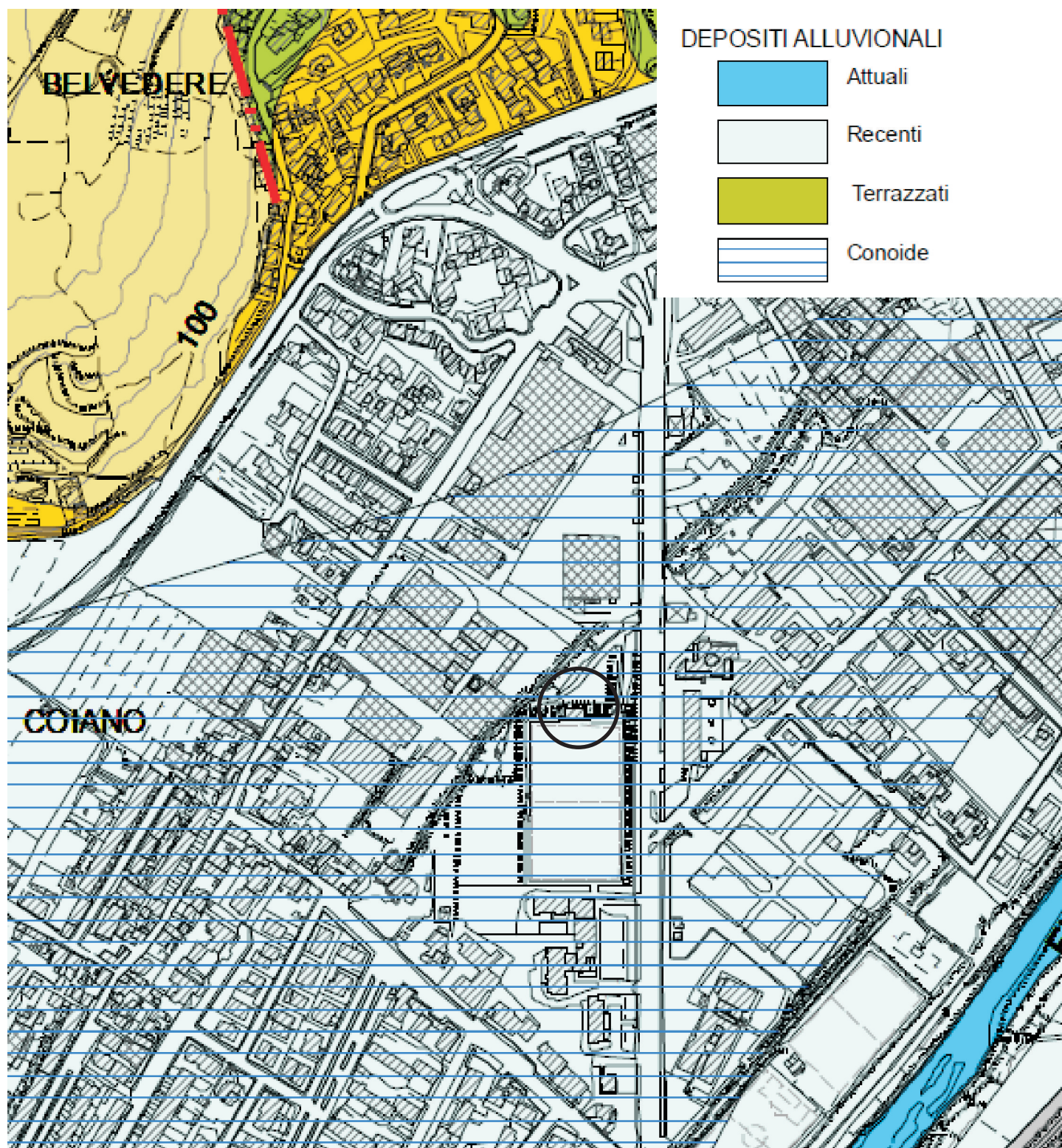
Comune di Prato

**Oggetto:** Studio geologico e geotecnico per la caratterizzazione  
litostratigrafica del sottosuolo di un terreno

**Intervento:** Riqualficazione spogliatoi campo di rugby  
C. Montano con piccolo incremento volumetrico

## Carta geologica

estratto da Tav Af.1 Regolamento Urbanistico





**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**

Sede operativa: Via Nazario Sauro 438 - Pontelungo - Pistoia

Domicilio fiscale: Via Molina di Gora 19/A - 51100 Pistoia

Tel. 0573 570566 - Fax 0573 910056 - cell 328 1662379

**Ubicazione area in oggetto:**

Viale Galilei

Comune di Prato

**Oggetto:** Studio geologico e geotecnico per la caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo di un terreno**Intervento:** Riqualficazione spogliatoi campo di rugby C. Montano con piccolo incremento volumetrico**Carta pericolosità idraulica**  
estratto da Tav Af.9 Regolamento Urbanistico

Scala 1 :5.000

1.669.716



- 1.1 - Pericolosità idraulica bassa
- 1.2 - Pericolosità idraulica media
- 1.3 - Pericolosità idraulica elevata
- 1.4 - Pericolosità idraulica molto elevata



**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**

Sede operativa: Via Nazario Sauro 438 - Pontelungo - Pistoia

Domicilio fiscale: Via Molina di Gora 19/A - 51100 Pistoia

Tel. 0573 570566 - Fax 0573 910056 - cell 328 1662379

**Ubicazione area in oggetto:**

Viale Galilei

Comune di Prato

**Oggetto:** Studio geologico e geotecnico per la caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo di un terreno

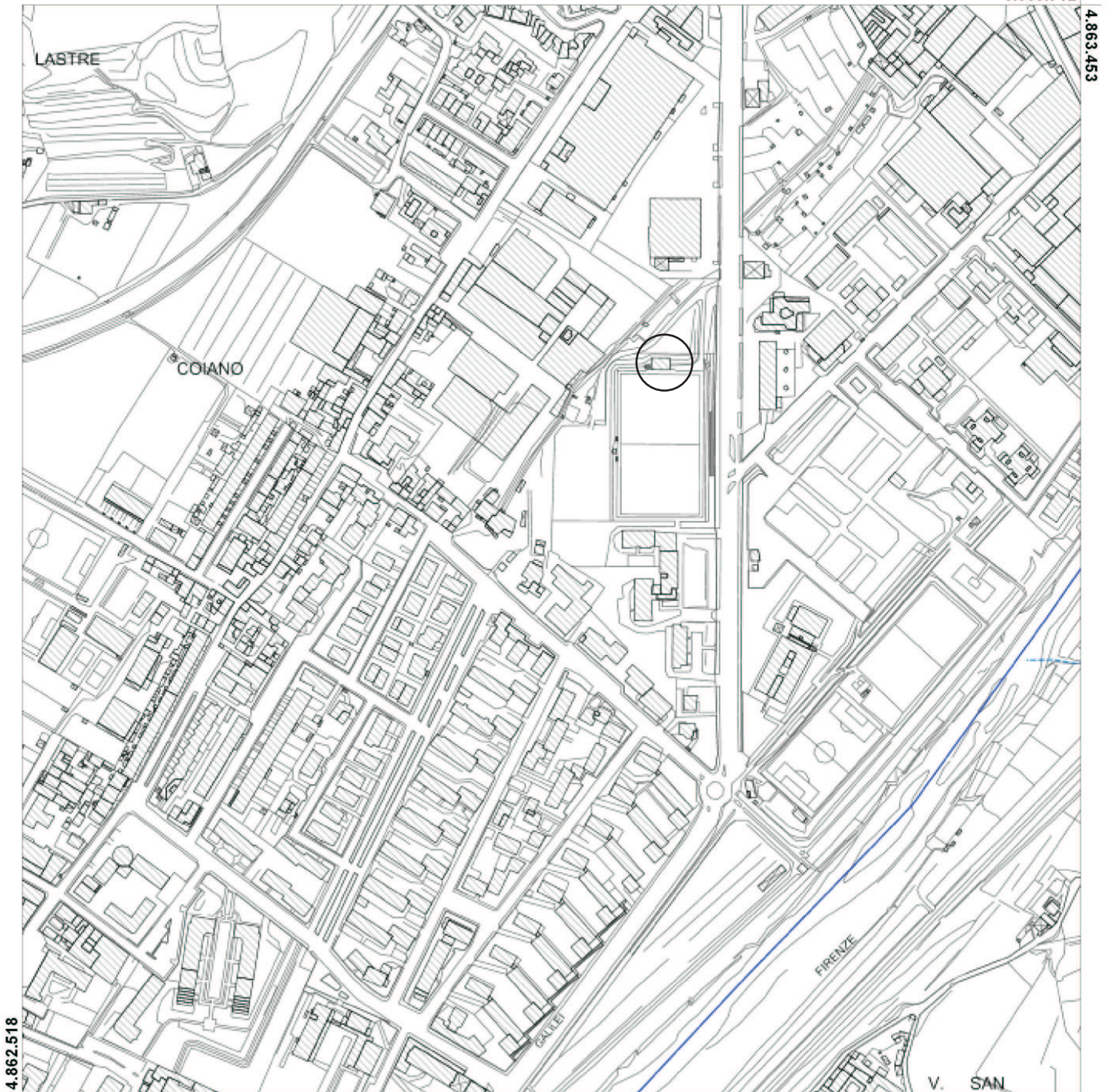
**Intervento:** Riqualficazione spogliatoi campo di rugby C. Montano con piccolo incremento volumetrico

**Carta dei battenti idraulici**

estratto da Tav Af.10 Regolamento Urbanistico

Scala 1 :5.000

1.669.712





**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**

Sede operativa: Via Nazario Sauro 438 - Pontelungo - Pistoia  
Domicilio fiscale: Via Molina di Gora 19/A - 51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566 - Fax 0573 910056 - cell 328 1662379

**Ubicazione area in oggetto:**  
Viale Galilei  
Comune di Prato

**Oggetto:** Studio geologico e geotecnico per la caratterizzazione  
litostratigrafica del sottosuolo di un terreno

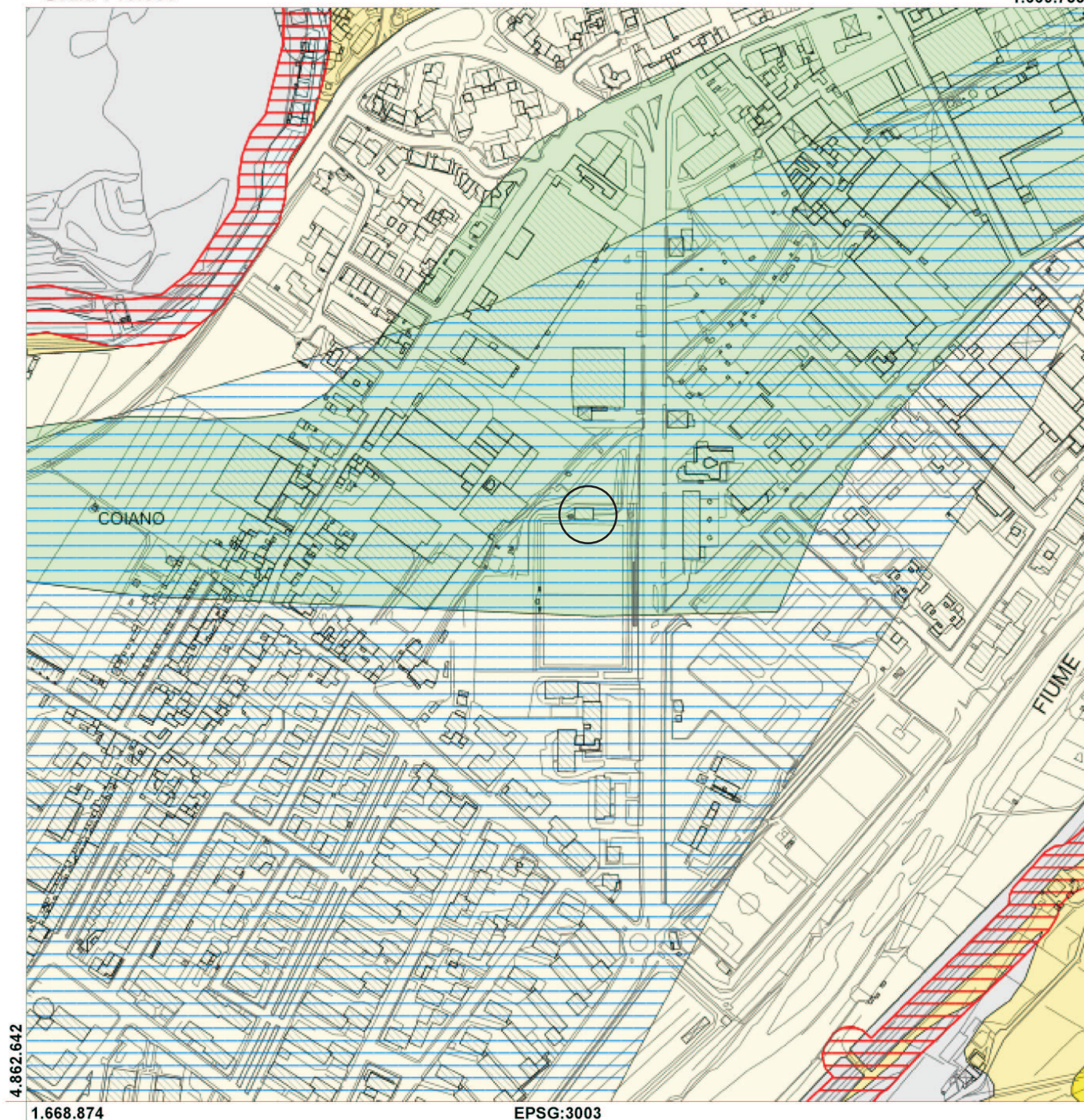
**Intervento:** Riqualficazione spogliatoi campo di rugby  
C. Montano con piccolo incremento volumetrico

**Carta pericolosità sismica**  
estratto da Tav Af.08 Regolamento Urbanistico







Scala 1 : 5.000

1.669.783

4.863.578



(S.3) Pericolosità sismica locale elevata

-  Zona caratterizzata da fenomeni franosi quiescenti
-  Zona potenzialmente franosa
-  Zona con terreni granulari poco addensati saturi d'acqua con falda superficiale nei primi 5 m dal p.d.c.
-  Zone di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante
-  Zone con presenza di depositi alluvionali granulari e/o sciolti
-  Zona con presenza di coperture colluviali



**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**

Sede operativa: Via Nazario Sauro 438 - Pontelungo - Pistoia  
Domicilio fiscale: Via Molina di Gora 19/A - 51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566 - Fax 0573 910056 - cell 328 1662379

**Ubicazione area in oggetto:**

Viale Galilei  
Comune di Prato

**Oggetto:** Studio geologico e geotecnico per la caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo di un terreno

**Intervento:** Riqualficazione spogliatoi campo di rugby C. Montano con piccolo incremento volumetrico

**Ubicazione di indagini geognostiche**  
scala 1:2.000

Scala 1:2.000

669.520,4

4.863.298



669.135,7

EPSG:25832

— — — Indagine sismica MASW

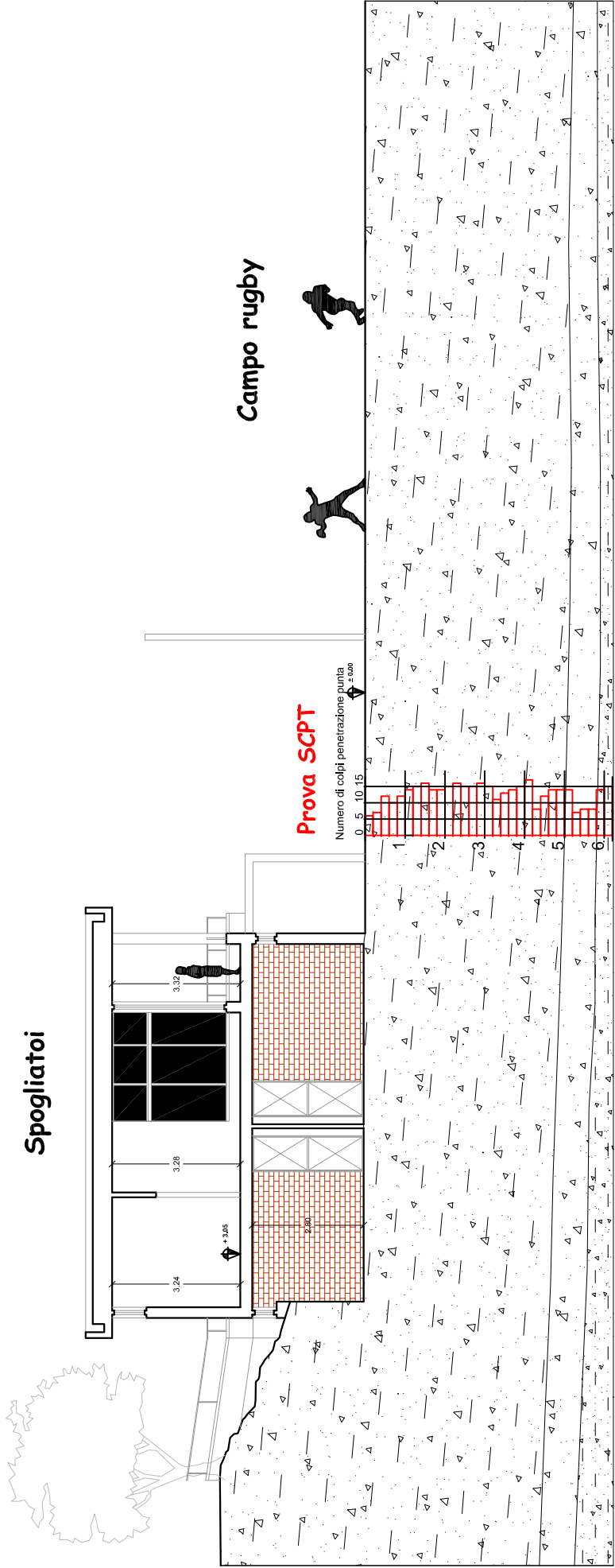
● Prova penetrometrica dinamica

**Dott.ssa Geol. Gioia Innocenti**  
Studio : via Nazario Sauro - Pontelungo - Pistoia

**Ubicazione area in oggetto:**  
Viale Galilei - Prato

**SEZIONE STRATIGRAFICA trasversale ai locali oggetto di ampliamento**

scala 1:150



TABULATO PROVA PENETROMETRICA  
DINAMICA E PARAMETRIZZAZIONE  
GEOTECNICA

<b>PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE</b> <b>SCHEMA PENETROMETRO</b>		
	referimento	<b>004-2016</b>

Committente: <b>Dott.innocenti</b>		
Cantiere: <b>Ampliamento spogliatoio</b>		
Località: <b>Via Galilei - Prato</b>		

<b>TG63-200D</b>		<b>Pagani - Piacenza</b>
<b>Sigla</b>	<b>TG63-200D</b>	Nominativo o sigla dello strumento
<b>Beta eff.</b>	<b>1,15</b>	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
<b>M(massa)</b>	<b>63 kg</b>	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
<b>H(maglio)</b>	<b>0,75 m</b>	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
<b>L(aste)</b>	<b>0,90 m</b>	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
<b>M(aste)</b>	<b>5,00 kg</b>	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
<b>M(sistema)</b>		Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
<b>A(punta)</b>	<b>20,00 cm<sup>2</sup></b>	Area della superficie laterale del cono della punta
<b>Alfa(punta)</b>	<b>90 °</b>	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
<b>Prf.(1<sup>a</sup> asta)</b>	<b>0,80 m</b>	Profondità di giunzione della prima asta infissa
<b>N</b>	<b>0,20 m</b>	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
<b>Rivest.</b>	<b>Sì</b>	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
<b>ø(punta)</b>	<b>51,00 mm</b>	Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
<b>MaxCE%</b>		Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
<b>L/DM</b>		Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
<b>D(tb)</b>		Diametro della testa di battuta.
<b>DEV(a)[&lt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
<b>DEV(a)[&gt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
<b>ECCmax(a)</b>		Massima eccentricità consentita alle aste
<b>Dest(aste)</b>	<b>34,00 mm</b>	Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
<b>Dint(aste)</b>		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
<b>Dmin(punta)</b>		Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
<b>hcl(punta)</b>		Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
<b>Ras(punta)</b>		Rastremazione del cono nella parte alta
<b>Hc(punta)</b>		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
<b>RangeCP</b>		Massimo numero di colpi utile
<b>Spinta</b>		Spinta nominale strumento

--

Ampliamento spogliatoio
-------------------------

## LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ , misurando il numero di colpi N necessari.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica : diametro base cono D , area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione  $\delta$ )
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici) .

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

Tipo	Sigla di riferimento	massa battente	prof.max indagine
Leggero	DPL (Light)	$M \div 10$	8 m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$	25 m
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M > 60$	> 25 m

Per la visione delle caratteristiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta$  = 10 cm, punta conica (  $\alpha$  60-90°), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta$  = 10 cm, punta conica (  $\alpha$  60-90°), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SCPT) (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta$  = 30 cm, punta conica (  $\alpha$  60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A = 20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento : previsto secondo precise indicazioni

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente M = 63.5 kg, altezza caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta$  = 20-30 cm, punta conica (  $\alpha$  60°), diametro D = 50.5 mm , area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto .

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

### VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / N<sub>spt</sub>

Il sottosuolo indagato viene suddiviso in strati .

Prima definizione della profondità di ciascuno strato , il programma effettua (con riferimento al numero di colpi N) una serie di elaborazioni statistiche dei dati in memoria, valutando :

valore minimo m , massimo Max , media M, scarto quadratico medio s, valore medio/minimo  $(M+m)^{1/2}$   
media-scarto quadratico medio (M-s)

Ciò considerato , si potrà adottare il valore caratteristico VCA per N più adatto , a seconda delle esigenze, impostando uno dei valori elaborati sopra citati o un valore a scelta.

Successivamente , con riferimento al valore caratteristico assunto per il numero di colpi N , si potrà avviare un tentativo di correlazione con il numero di colpi N<sub>spt</sub> della prova SPT :  $N_{spt} = \beta N$  [ove per il coefficiente  $\beta$  si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia  $\beta$  fornito dal programma] .

### VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

La resistenza alla punta dinamica R<sub>pd</sub> viene comunemente valutata in base alla formula Olandese :

$$R_{pd} = (M^2 H) / [A e (M + P)] \text{ ove :}$$

N = n. colpi per avanzamento  $\delta$  R<sub>pd</sub> = resist.dinam.punta [area A] M = massa battente [altezza caduta H]

e = avanzamento per colpo =  $\delta/N$  P = peso tot. sistema battente e aste ,

ovvero in base alla formula semplificata :

$$R_{pd}' = (M H) / (A e) = (M H) N / (A \delta) = Q N ,$$

ove :  $Q = (M H) / (A \delta)$  = energia specifica teorica per colpo .

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (N<sub>spt</sub>,Q<sub>spt</sub>),

dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente :

$$R_{pd}' = Q N = Q_{spt} N_{spt} \Rightarrow N_{spt} = N [Q/Q_{spt}] = \beta N ,$$

ove il rapporto  $\beta = Q/Q_{spt}$  viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,

relativamente alla prova SPT (Q<sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm<sup>2</sup> = 0.768 MPa ) per M = 63.5 kg, H = 0.75 m, D = 50.8 mm, A = 20.27 cm<sup>2</sup>, d = 0.30 m) .

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al valore del numero dei colpi SPT equivalente

prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

N<sub>spt</sub> -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> ->  $\phi'$  ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974)

N<sub>spt</sub> -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

N<sub>spt</sub> -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> -> Y PESO DI VOLUME

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]

TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [p.specifico G = 2.70]

R<sub>pd</sub> -> Qd CAPACITA' PORTANTE DINAMICA Herminier, Tchong & Lebegue(1965)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )

( g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) ]

V<sub>s</sub> = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

<p><b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA</b> <b>LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE</b></p>	<b>DIN</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>004-2016</b>

Committente: <b>Dott.innocenti</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: 12/01/2016
Cantiere: <b>Ampliamento spogliatoio</b>	Pagina: 1	Falda: -2,10 m da quota inizio
Località: <b>Via Galilei - Prato</b>	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm <sup>2</sup>	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm <sup>2</sup>
0,20	1	6		66,2					
0,40	1	7		77,2					
0,60	2	12		132,3					
0,80	2	10		110,3					
<b>1,00</b>	2	12		124,0					
1,20	2	14		144,7					
1,40	3	15		155,0					
1,60	3	16		165,4					
1,80	3	14		144,7					
<b>2,00</b>	3	14		136,2					
2,20	3	15		145,9					
2,40	4	16		155,6					
2,60	4	15		145,9					
2,80	4	15		137,8					
<b>3,00</b>	4	16		147,0					
3,20	5	15		137,8					
3,40	5	11		101,1					
3,60	5	13		119,4					
3,80	5	14		121,9					
<b>4,00</b>	5	15		130,6					
4,20	6	17		148,0					
4,40	6	8		69,6					
4,60	6	12		99,2					
4,80	6	14		115,8					
<b>5,00</b>	7	14		115,8					
5,20	7	14		115,8					
5,40	7	7		57,9					
5,60	7	8		63,0					
5,80	7	8		63,0					
<b>6,00</b>	8	14		110,3					
6,20	8	15		118,1					

H = profondità  
 L1 = prima lettura (colpi punta)  
 L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)

qcd = resistenza dinamica punta  
 Asta = numero di asta impiegata



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA**

**DIN**

**1**

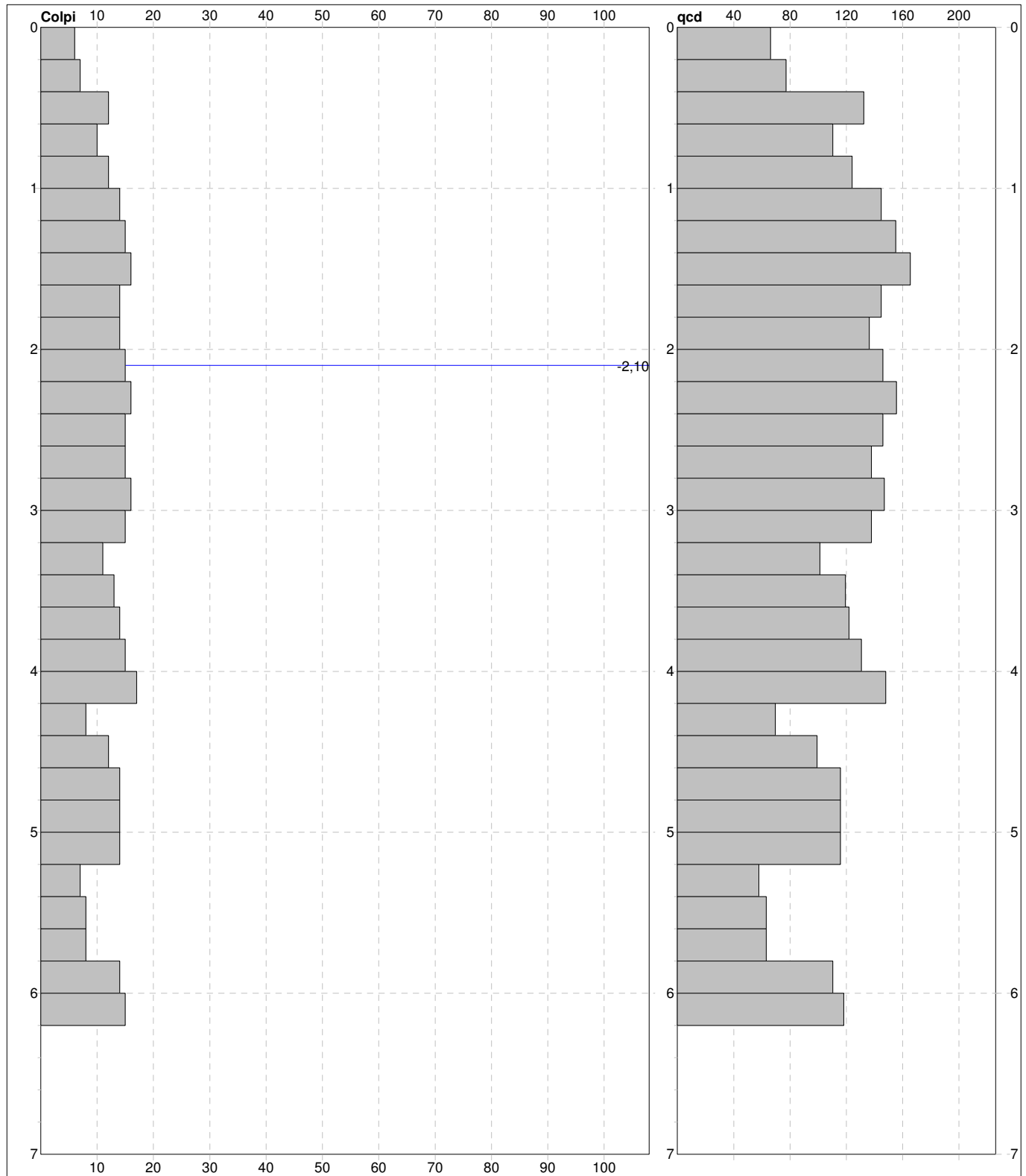
riferimento

**004-2016**

Committente: **Dott.innocenti**  
Cantiere: **Ampliamento spogliatoio**  
Località: **Via Galilei - Prato**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
Scala: **1:35**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data eseg.: **12/01/2016**  
Quota inizio: **Piano Campagna**  
Falda: **-2,10 m** da quota inizio



<b>Penetrometro:</b> TG63-200D <b>Massa battente:</b> 63,00 kg <b>Altezza caduta:</b> 0,75 m <b>Avanzamento:</b> 0,20 m	<b>Responsabile:</b> <b>Assistente:</b>	<b>Preforo:</b> m <b>Corr.astine:</b> kg/ml <b>Cod.ISTAT:</b> 0
--	--	---

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata - Terzaghi

Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	1,31
11,27	5,80	0,76
21,32	6,20	1,44

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico) - Robertson

Nspt	Prof. Strato (m)	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	38,90
11,27	5,80	22,54
21,32	6,20	42,64

## Modulo Edometrico - Stroud e Butler

Nspt	Prof. Strato (m)	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	89,24
11,27	5,80	51,71
21,32	6,20	97,82

## Modulo di Young - Apollonia

Nspt	Prof. Strato (m)	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	194,50
11,27	5,80	112,70
21,32	6,20	213,20

## Peso unità di volume - Meyerhof

Nspt	Prof. Strato (m)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
19,45	5,20	2,10
11,27	5,80	2,00
21,32	6,20	2,10

## Peso unità di volume saturo

Nspt	Prof. Strato (m)	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
19,45	5,20	--
11,27	5,80	--
21,32	6,20	2,13

**TERRENI INCOERENTI****Angolo di resistenza al taglio - Sowers**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Angolo d'attrito (°)
19,45	5,20	19,45	33,45
11,27	5,80	11,27	31,16
21,32	6,20	18,16	33,08

**Modulo di Young - Bowles**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	19,45	172,25
11,27	5,80	11,27	131,35
21,32	6,20	18,16	165,80

**Modulo Edometrico - Begemann 1**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	19,45	67,42
11,27	5,80	11,27	50,61
21,32	6,20	18,16	64,77

**Peso unità di volume - Meyerhof**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
19,45	5,20	19,45	1,98
11,27	5,80	11,27	1,77
21,32	6,20	18,16	1,96

**Peso unità di volume saturo**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
19,45	5,20	19,45	2,38
11,27	5,80	11,27	1,93
21,32	6,20	18,16	1,97

**Modulo di Poisson**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Poisson
19,45	5,20	19,45	0,32
11,27	5,80	11,27	0,33
21,32	6,20	18,16	0,32

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	19,45	1058,03
11,27	5,80	11,27	633,46
21,32	6,20	18,16	991,93

**Modulo di reazione Ko**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ko
19,45	5,20	19,45	3,95
11,27	5,80	11,27	2,37
21,32	6,20	18,16	3,72

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

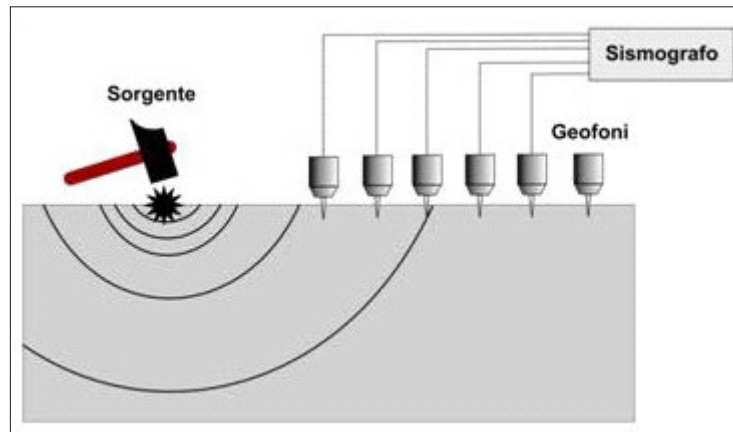
Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
19,45	5,20	19,45	38,90
11,27	5,80	11,27	22,54
21,32	6,20	18,16	36,32

# INDAGINE SISMICA MASW

LABOTER s.n.c.  
Via Nazario Sauro n.440 - 51100 Pistoia  
Tel. 0573/570566 - Fax. 0573/910056  
E-mail: laboter@laboterpt.it - Pec: laboter@pec.laboterpt.it  
Internet: www.laboterpt.it



## INDAGINE SISMICA CON TECNICA MASW



**UBICAZIONE : Viale Galilei - Prato**

**PROFESSIONISTA INCARICATO: Dott. Geol. Gioia Innocenti**

**Pistoia 12 Gennaio 2016**

**Laboter s.n.c.**

## 1. PREMESSA

Su incarico della Dott.ssa Innocenti Gioia è stata eseguita un'indagine sismica in Comune di Prato, Viale Galilei presso campo da rugby. Lo scopo dell'indagine è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P ( $V_p$ ), velocità delle onde trasversali S ( $V_s$ ) e i relativi parametri elastici ( $E$ ,  $G$ ,  $K$  e  $\nu$ ). Sulla base dei valori di  $V_s$  e del modulo di taglio ( $G$ ) sarà possibile valutare la rigidità del suolo e fornire delle prime indicazioni sul comportamento dinamico della parte superficiale del sottosuolo.

## 2. INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi

---

Laboter snc

Via Nazario Sauro n.440 – 51030 Pontelungo (PT)

Tel. 0573/570566 – Fax 0573/910056 – e.mail: laboter@laboterpt.it

spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

#### *2.1 Strumentazione utilizzata*

La strumentazione ed attrezzatura (Do.Re.Mi) utilizzata per l'acquisizione dei dati è costituita da:

- Sistema di energizzazione delle onde: la sorgente è costituita da una mazza dal peso di 10 Kg battente verticalmente od eventualmente orizzontalmente, su di una piastra del diametro di 20 cm posta direttamente sul piano campagna, la quale permette di avere un preciso punto di impatto in fase di energizzazione ed aiuta a far sì che la massa energizzante non affondi troppo nel terreno disperdendo energia.
- Sistema di ricezione: costituito da 12 geofoni verticali ed orizzontali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile con peso della massa 23.6 gr e frequenza propria di 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità



con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente.

- Sistema di acquisizione dati: cavo sismico a cui sono collegati in sequenza i vari geofoni ciascuno dei quali rappresenta un singolo canale, notebook PC Windows XP con software DoReMi; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascuna canale dal sistema di ricezione.
- Sistema di trigger: interruttore di consenso che individua il momento in cui viene prodotta l'energizzazione sul terreno: può essere costituito dalla chiusura di un contatto che si realizza dal far toccare due poli mediante un geofono.

## *2.2 Indagine MASW – metodologia ed acquisizione*

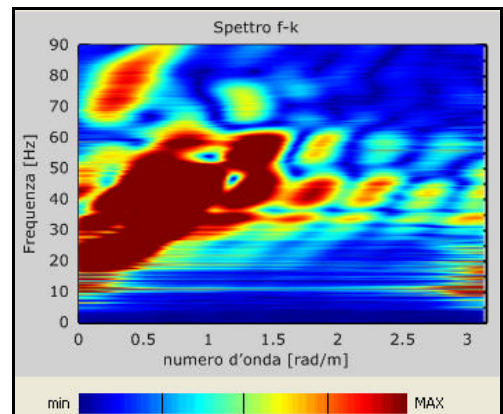
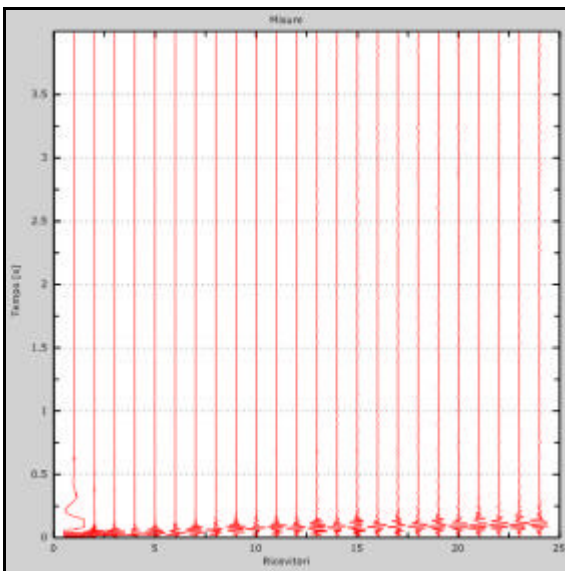
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Reyleigh, le quali viaggiano ad una velocità correlata con la rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Reyleigh sono dispersive, ovvero la velocità di fase apparente di tali onde dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva di queste è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, dando informazione sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Il metodo di indagine masw utilizzato è di tipo attivo, in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo, tramite energizzazione con massa battente da 10 Kg, e misurate da uno strumento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenze tra 5-10Hz e 70-100Hz. Inoltre, ed unitamente alla tecnica attiva, viene utilizzata una tecnica passiva (REMI) che permette di analizzare frequenze più basse 0-5Hz e quindi di scendere più in profondità con l'analisi del sottosuolo. I fondamenti teorici del metodo masw fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative. L'acquisizione dei dati è stata effettuata posizionando 12+12 geofoni da 4.5 Hz con distanza intergeofonica di 1.0 metri, per una lunghezza totale di 24 metri.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software MASW (V. Roma 2007) ed EasyMasw.

### 3. ELABORAZIONE INDAGINE MASW

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante strumentazione Do.Re.Mi., sono stati elaborati con il software Easy MASW e con MASW 2007.

<b>N. tracce</b>	24
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	4000
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0.333



*3.1 Risultati analisi e tecnica passiva (REMI)*

Frequenza finale 70Hz  
 Frequenza iniziale 2Hz  
 Numero di ricevitori ..... 12  
 Numero di campioni temporali .....3.26787e-312  
 Passo temporale di acquisizione .....2ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 12  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....59998ms

*3.3 Curva di dispersione*

<b>Freq. [Hz]</b>	<b>V. fase [m/s]</b>	<b>V. fase min [m/s]</b>	<b>V. fase Max [m/s]</b>
5.56017	502.822	401.867	603.777
17.8116	480.388	390.65	570.125
27.171	375.694	312.13	439.258
31.9559	330.825	263.522	398.128
36.5304	323.347	248.566	398.128
41.4205	319.608	267.261	371.955
48.5189	282.217	222.392	342.042
52.2522	271	218.653	323.347
56.8267	259.783	207.436	312.13
60.56	259.783	207.436	312.13
64.6613	259.783	203.697	315.869
68.6049	252.305	188.741	315.869

### 3.4 Risultati

Numero di strati (escluso semispazio) .....	5
Spaziatura ricevitori [m] .....	1.0m
Numero ricevitori .....	24
Numero modi.....	10

#### Strato 1

h [m] .....	3
z [m].....	-3
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1900
Poisson.....	0.35
Vs [m/s].....	280
Vp [m/s].....	583
Vs min [m/s].....	140
Vs max [m/s].....	561
Vs fin.[m/s].....	280

#### Strato 2

h [m] .....	3
z [m].....	-6
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1950
Poisson.....	0.35
Vs [m/s].....	360
Vp [m/s].....	749
Vs min [m/s].....	180
Vs max [m/s].....	540
Vs fin.[m/s] .....	360

#### Strato 3

h [m] .....	1
z [m].....	-7
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1950
Poisson.....	0.35
Vs [m/s].....	460
Vp [m/s].....	958
Vs min [m/s].....	209
Vs max [m/s].....	690
Vs fin.[m/s].....	460

#### Strato 4

h [m] .....	2
z [m].....	-9
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1980
Poisson.....	0.35
Vs [m/s].....	535

---

Laboter snc

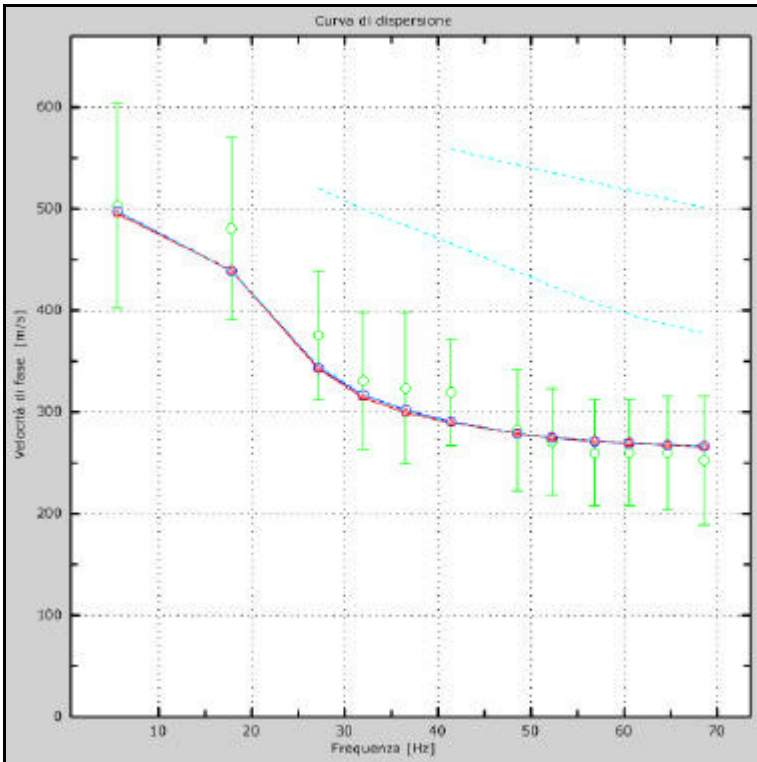
Via Nazario Sauro n.440 – 51030 Pontelungo (PT)

Tel. 0573/570566 – Fax 0573/910056 – e.mail: laboter@laboterpt.it

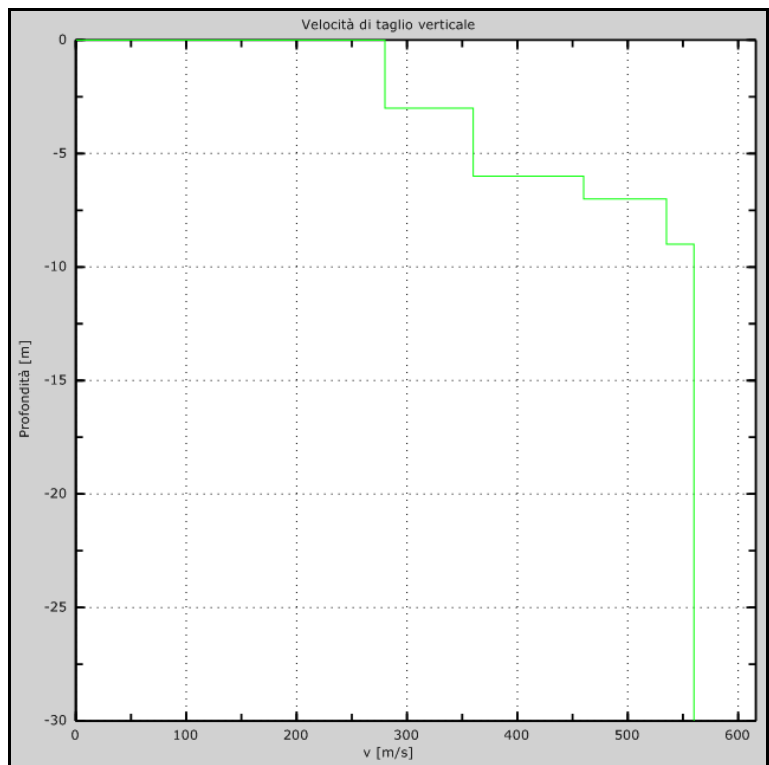
Vp [m/s].....	1114
Vs min [m/s].....	267
Vs max [m/s].....	803
Vs fin.[m/s].....	535

**Strato 5**

h [m].....	0
z [m].....	-00
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1980
Poisson.....	0.35
Vs [m/s].....	560
Vp [m/s].....	1166
Vs min [m/s].....	279
Vs max [m/s].....	840
Vs fin.[m/s].....	560



Curva di dispersione



Velocità di taglio verticale

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	480
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Suolo di tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a granagrossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

### Altri parametri geotecnici

Spessori m	Vs m/s	Vp m/s	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	G t/m <sup>2</sup>	Vp/Vs	$\nu$	Ed t/m <sup>2</sup>	R m/s*t/m <sup>3</sup>	F Hz	T s
3	280	583	1.9	15185	2.08	0.35	40998	532	210	0.04
3	360	749	1.95	25761	2.08	0.35	69556	702	270	0.03
1	460	958	1.95	42061	2.08	0.35	113565	897	115	0.01
2	535	1114	1.98	57770	2.08	0.35	155979	1059	268	0.01
$\infty$	560	1166	1.98	63295	2.08	0.35	170898	1109		

G = Modulo di Taglio (t/m<sup>2</sup>)

Ed = Modulo di Yong (t/m<sup>2</sup>)

$\nu$  = Coefficiente di Poisson

R = Rigidità sismica (m/s\*t/m<sup>3</sup>)

F = Frequenza fondamentale dello strato (Hz)

T = Periodo fondamentale dello strato (s)

Pistoia, 12 Gennaio 2016

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**





**UBICAZIONE INDAGINE**

