



Regione Toscana - Provincia di Pistoia

## COMUNE di PISTOIA

Settore: DIR. U.O. EDILIZIA COMUNALE



**STUDIO BALDI & ASSOCIATI, INGEGNERIA E ARCHITETTURA**  
**Ing. Franco Baldi - Ing. Alessandro Baldi - Arch. Meri Ascani**

via Europa 95, 51039 Quarrata Pistoia, tel 0573 73182 - 0573 736155, fax 0573 779119  
e-mail alex@studiobaldiassociati.it - postmaster@studiobaldiassociati.it p.i. 01592780470

### COLLABORATORI

Progetto Esecutivo:

Arch. TOMMASO CAPPELLI

### PROGETTISTA

Ing. ALESSANDRO BALDI

### TITOLO DEL PROGETTO

**MIGLIORAMENTO SISMICO  
ALLO STADIO MARCELLO MELANI DI PISTOIA**

### FASCICOLO

**RELAZIONE SULLE FONDAZIONI E GEOTECNICA**

### UBICAZIONE

Via dello Stadio, Pistoia (PT)

### DISEGNO N.

# A6-A7

N.	DATA	OGGETTO REV.
1		
2		
3		
4		
5		
6		

### DATA

### DOCUMENTO CAD

### ARCHIVIO POSIZ. N.

**223**

### PROGETTISTA

### RUP

### D.L.

### NOTE

La normativa vigente, ed in particolare le NTC 2018, prevedono che il progetto di intervento debba essere esteso a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Tuttavia, nel caso di intervento di miglioramento, come quello in oggetto, la verifica del sistema di fondazione può essere omessa se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

- se non sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale;
- se non sono presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- se non sono possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- se non sono possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si è fatto riferimento alla documentazione disponibile consistenti nei seguenti due documenti:

- *Relazione Geologica*, redatta dal Geol. Pergentino Giovannelli, relativa alla verifica sismica e valutazione della sicurezza eseguita proprio per la tribuna in questione in data 24/10/2013 (allegata alla presente relazione);
- *Relazione Geologica-Geotecnica*, redatta dal Geol. Patrizio Bessi, in occasione della realizzazione della tribuna sud in data 05/08/1999 e allegata alla pratica registro sismica del Genio Civile di Pistoia (si allega la prima pagina e quella attinente il capitolo della liquefazione).

Dalla suddetta documentazione si possono ricavare tutti i parametri necessari al progetto delle opere fondali, ancorché non necessari in questa circostanza, ma in particolare si evince l'assenza di fenomeni di liquefazione del terreno dovuti alle azioni sismiche. Si rileva inoltre che la zona su cui insiste l'opera rientra, ai sensi delle NTC 2018, in **categoria E**.

Sulla base di quanto sopra, considerato che sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistono sufficienti elementi di conoscenza per asserire che:

- non sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale;
  - non sono presenti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni;
  - non sono possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione;
- si omette di svolgere ulteriori indagini specifiche.

Di seguito si riporta la verifica ai sensi del § 7.2.5 delle NTC 2018 dei cordoli di fondazione di nuova realizzazione.

## COLLEGAMENTI ORIZZONTALI TRA FONDAZIONI

Massimo sforzo di compressione sul pilastro:

$$N_{Sd} = 570 \text{ kN} \quad (\text{modello B cond. 3})$$

Terreno tipo E (equivalente al tipo C) da cui:

$$N_{Ed} = \pm 0,4 N_{Sd} a_g/g = \pm 42 \text{ kN}$$

Con: Sezione cordolo 30x30

$$A_f = A_f' = 2\phi 16$$

$$A_c = 900 \text{ cm}^2 \quad A_s = 804 \text{ mm}^2$$

$$\text{calcestruzzo C25/30} \quad f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{acciaio B450C} \quad f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{lunghezza cordolo } L \approx 500 \text{ cm}$$

da cui:

$$N_{Rcd} = A_c f_{cd} = 1275 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = A_s f_{yd} = 314 \text{ kN}$$

ambidue i valori sono abbondantemente superiori alla sollecitazione attesa e pertanto il collegamento è verificato.



**COMUNE DI PISTOIA  
SERVIZIO LAVORI PUBBLICI**

**RELAZIONE GEOLOGICA  
RELATIVA A VERIFICA SISMICA  
E VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
TRIBUNA CENTRALE COPERTA DELLO STADIO COMUNALE**

Studio redatto da  
PERGENTINO GIOVANNELLI  
GEOLOGO  
Via G. Verga, 5 Pistoia - ☎ 0573-33919

**ELABORATI GRAFICI**

- Corografia C.T.R. scala 1: 10.000
- Planimetria Geologica scala 1: 2.000
- Planimetria con Ubicazione Indagini scala 1: 1.000
- Colonna Litostratigrafica scala 1: 100

**ALLEGATO**

- Certificazione Indagine Sismica a Rifrazione in Onde SH

**PISTOIA 2013**



## INDICE

1. PREMESSA .....	2
2. UBICAZIONE INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO.....	2
3. INDAGINE GEOGNOSTICA e STRATIGRAFIA .....	4
3.1. Indagine Sismica a Rifrazione in onde SH .....	4
3.1.1. Strumentazione, metodo ed interpretazione.....	5
3.1.2. Risultati dell'elaborazione .....	7
3.3. Stratigrafia e Caratterizzazione Litotecnica .....	7
4. MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	8
4.1. Rischio sismico.....	8
4.1.1. Amplificazione per effetti stratigrafici, topografici o morfologie sepolte .....	9
4.1.2. Presenza di faglie e/o strutture tettoniche .....	9
4.1.3. Presenza di contatti tra litotipi di caratteristiche significativamente differenti ....	10
4.1.4. Accentuazione della instabilità dei pendii .....	10
4.1.5. Liquefazione .....	10
4.1.6. Terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali .....	11
4.1.7. Calcolo del parametro $V_{s30}$ .....	12
5. ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITÀ.....	13
6. CONCLUSIONI .....	16

## ELABORATI GRAFICI

- Corografia scala 1: 10.000
- Planimetria Geologica scala 1: 2.000
- Planimetria con Ubicazione Indagini scala 1: 1.000
- Colonna Litostratigrafica scala 1: 100

## ALLEGATO

- Certificazione Indagine Sismica a Rifrazione in onde SH

## 1. PREMESSA

Il presente rapporto, redatto su incarico dell'Amministrazione Comunale di Pistoia, di procedere ad una verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale, illustra i risultati emersi da uno studio geologico-tecnico di massima sui terreni di sedime dell'impianto, con particolare riferimento alle caratteristiche sismiche del sito.

Lo studio si basa in particolare su dati litostratigrafici derivanti da lavori svolti dallo scrivente nelle immediate vicinanze, da dati bibliografici pubblicati su riviste specialistiche ed infine da cartografia allegata agli strumenti urbanistici comunali.

Infine per carenza di dati inerenti la caratterizzazione sismica dell'area è stata eseguita un'indagine mirata mediante stendimento di sismica a rifrazione in onde SH, che ha consentito la valutazione del parametro Vs30 e conseguentemente la categoria di suolo.

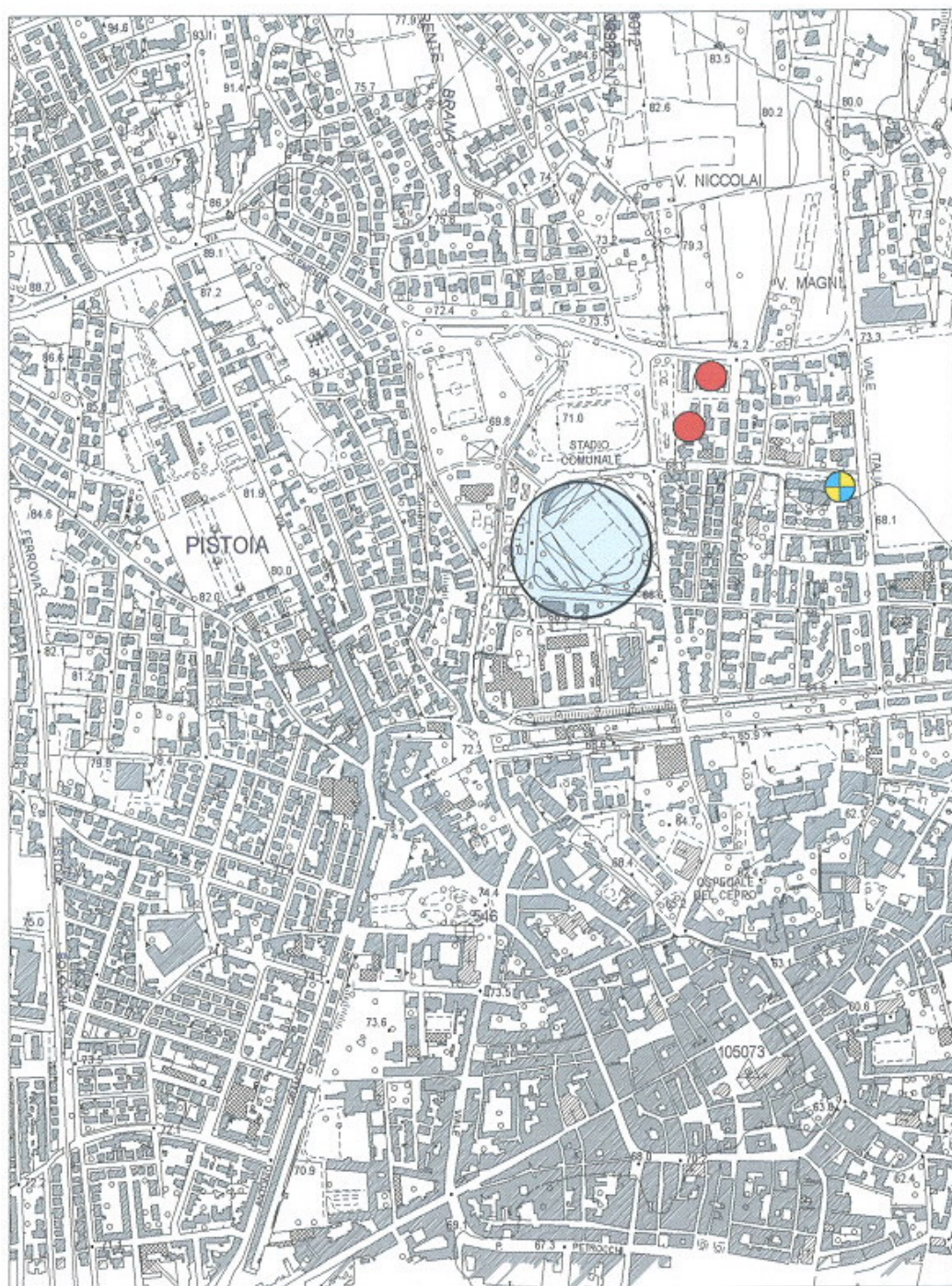
La verifica sismica è redatta in ottemperanza al *D.M. Infrastrutture 14 Gennaio 2008 e relativa circolare di istruzione per l'applicazione del 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP* (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni).

## 2. UBICAZIONE INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Lo Stadio Comunale di Pistoia è ubicato nella zona nord-ovest della città, in un'area delimitata da via Donatori del Sangue a sud, via delle Olimpiadi ad est e via dello Stadio a nord ed ovest, con accesso alla tribuna oggetto di indagine da via Donatori del Sangue (*vd. Corografia scala 1: 10.000*); ci troviamo nella immediata periferia nord della città, poco ad est rispetto al torrente Brana, in un'area fortemente antropizzata ad una quota approssimativamente di 69,0 m s.l.m., con lieve acclività in direzione nord ovest – sud est.

Da un punto di vista idrografico l'area si trova ubicata in prossimità del torrente Brana, principale corso d'acqua della zona, che scorre profondamente inciso all'interno di

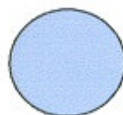
**COROGRAFIA**  
**CARTA TECNICA REGIONALE**  
fogli n. 262070 / 262080 - Scala 1: 10.000



Ubicazione prove penetrometriche  
DPSH



Ubicazione saggi con escavatore



Ubicazione area di intervento

depositi alluvionali terrazzati, per poi seguire il corso rettificato all'esterno delle mura urbane della città. Il drenaggio delle acque superficiali della zona è regolato dalla rete fognaria cittadina e ricondotto anch'esso al torrente Brana nel tratto prospiciente la cinta muraria nord dall'incrocio tra via Pappagalli e via dei Macelli e P.ta San Marco.

Morfologicamente l'area appartiene al lembo meridionale di un costone ad andamento grosso modo nord – sud, compreso tra il torrente Brana ad ovest ed il rio di Collegigliato ad est; questo costone, a morfologia assai blanda e con pendii a lieve acclività, degrada dolcemente – a partire dal piede della collina di Ville Sbertoli (ex ospedale neuropsichiatrico), formata da Calcarì Alberese – in direzione del centro storico della città, ed è formato dal punto di vista geologico, da sedimenti indicati sulla cartografia geologica come alluvioni attuali e recenti, delimitate ad est ed ovest da alluvioni terrazzate.

Ci troviamo in prossimità dell'antica linea di costa settentrionale del paleolago, il cui riempimento è avvenuto principalmente per l'apporto solido di immissari provenienti dal versante settentrionale della depressione, dove per cause tettoniche documentate da numerosi studi a carattere regionale, l'attività erosiva è stata per parecchio tempo molto marcata. Nella fase più tardiva del colmamento si sono create zone palustri la cui permanenza si è protratta nell'area in esame fino a tempi storici. Infine in tempi recenti ed attuali, torrenti e fiumi impostatisi sulla pianura al termine del colmamento, hanno depositato una coltre alluvionale di spessore variabile che ha determinato l'attuale morfologia pianeggiante; questa ultima deposizione è avvenuta principalmente con processi tipo "colmata", come testimoniato dalla granulometria "fine" del sedimento (nello specifico fino a circa 2 m di profondità).

Ci troviamo proprio in corrispondenza della conoide sviluppata dal torrente Brana, infatti – dal punto di vista litologico – al di sotto dei "sedimenti alluvionali recenti" a granulometria prevalentemente fine con ghiaietto sparso od in lenti, derivante da episodi di esondazione del torrente, siamo alla presenza di sedimenti costituiti da ciottoli e ghiaie in matrice sabbiosa, localmente limo-argillosa: questa seconda sequenza è tipica della formazione "alluvioni terrazzate" (*Planimetria Geologica scala 1: 2.000*).

#### RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

Indagine sismica a rifrazione con onde SH

Per mezzo dell'indagine sismica abbiamo potuto inoltre accertare la presenza del substrato ad una profondità variabile tra 13,0 ÷ 19,0 m da p.c.; la velocità di propagazione delle onde sismiche, ha permesso di accertare la presenza di litotipi ad elevata rigidità e compattezza, associabili quindi ai calcari "tipo Alberese", che affiorano poco a nord.

### 3. INDAGINE GEOGNOSTICA e STRATIGRAFIA

In via preliminare è stato condotto uno studio della litologia e della geomorfologia di superficie: nel lotto di intervento non si evidenziano segni premonitori di instabilità in atto, né fenomeni di erosione idrica superficiale.

Successivamente, sulla base di queste verifiche in sito e delle conoscenze derivanti da pratica geologica, al fine di integrare le informazioni note per un'adeguata caratterizzazione del terreno, si è ritenuto necessario e sufficiente condurre una campagna geognostica a mezzo di un profilo sismico a rifrazione in onde SH, finalizzato essenzialmente alla definizione del "parametro  $V_{s30}$ ", ed in subordine della stratigrafia del sito.

I risultati dell'indagine sismica sono stati implementati con dati stratigrafici e geologico-tecnici a disposizione dello scrivente, costituiti da saggi con escavatore, analisi di laboratorio su campioni prelevati nel corso dei saggi, prove penetrometriche, la cui ubicazione è riportata nella *Corografia scala 1: 10.000*, mentre l'ubicazione dell'indagine sismica – unitamente alla tribuna oggetto di studio – sono riportata nella *Planimetria con Ubicazione Indagini scala 1: 1.000*.

#### 3.1. Indagine Sismica a Rifrazione in onde SH

Per la ricostruzione delle caratteristiche sismiche dei terreni di sottosuolo, per la caratterizzazione in termini elasto-meccanici dei depositi presenti e per la stima del parametro  $V_{s30}$ , è stata condotta un'indagine geofisica mediante sismica a rifrazione in onde SH. L'indagine è stata eseguita dalla ditta IGETECMA S.a.s. (Istituto Sperimentale

di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali) con sede a Montelupo F.no (FI), via delle Pratella nc. 18/20 ed iscritta nell'elenco depositato c/o il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture (D.M. 54143 del 07.11.05 ai sensi della Circolare 08.09.2010 n. 7618/STC). Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19.04.2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71, risponde quindi ai dettami di cui alle NTC/08.

Caratteristiche strumentazione e risultati acquisiti sono allegati in calce alla presente (Rapporto di Prova n. 198/13/S).

### **3.1.1. Strumentazione, metodo ed interpretazione**

È stato eseguito un profilo di sismica a rifrazione con onde SH, utilizzando 24 canali con equidistanza di 3,00 m, per un totale di 69,00 m di rilievo, finalizzato alla caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni presenti; nel caso specifico inoltre, è servita per la caratterizzazione in termini elasto-meccanici dei depositi presenti e per il calcolo del parametro  $V_{s30}$ .

L'indagine è stata eseguita con un sistema modulare della Geometrics configurato in Sismografo Geode a 48 canali (due moduli a 24 canali) con controller Strata Visor NCZ, amplificazione di segnale, filtraggio, 24 geofoni verticali con frequenza 14 Hz e 24 orizzontali con frequenza 4,5 Hz e per energizzare il terreno una mazza da 5 Kg. Il metodo della sismica a rifrazione consiste nella "energizzazione" del terreno mediante una massa battente e nella simultanea registrazione, attraverso i geofoni, disposti a materializzare lo stendimento sismico, dei relativi tempi di arrivo delle onde di taglio (onde SH) che attraversano i vari rifrattori (superfici in sottosuolo di confine tra "mezzi" a densità diversa e quindi velocità diversa).

L'interpretazione dei dati registrati dallo strumento, dopo un preliminare filtraggio del segnale, viene eseguita correlando su diagrammi distanza/tempo, denominati "dromocrome", i tempi di arrivo delle onde ai vari geofoni con la distanza dalla sorgente di energia degli stessi.

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

## COMUNE DI PISTOIA

L'interpretazione di questo diagramma consente di determinare le variazioni delle velocità entro gli strati attraversati, caratterizzati da risposte elastiche diverse e le profondità a cui si registrano tali variazioni.

I procedimenti di elaborazione utilizzati prevedono la ricostruzione di un modello preliminare tramite vari metodi: il metodo del tempo di ritardo, il metodo del tempo di intercetta ed il metodo reciproco generalizzato (G.R.M.). Quest'ultimo metodo permette anche di verificare e posizionare, con metodi di calcolo indiretto, la presenza di eventuali strati nascosti e strati a bassa velocità profondi.

Con l'interpretazione matematica si possono ricavare gli spessori dei livelli definiti al di sotto dei diversi geofoni e quindi ricostruire il profilo dei livelli che costituiscono il substrato.

La velocità delle onde nei vari "mezzi rifrattori" è correlabile, anche se indirettamente, alla litologia che costituisce il sottosuolo; velocità più basse spettano ai livelli più arenati e rilassati, velocità più alte a "mezzi" a maggior densità relativi e continui.

Mediante l'indagine si sono potuti distinguere i mezzi rifrattori presenti fino a profondità di circa una ventina di metri.

Per la produzione di onde di taglio SH, si è posta una trave di legno a contatto del suolo, quindi si energizzano a turno i due lati dopo averla vincolata con un carico. Le registrazioni vengono effettuate alternativamente su entrambi i lati e sommate con polarità scambiata in maniera tale da individuare l'onda di taglio polarizzata che viene generata.

Per disporre della migliore risoluzione sismo stratigrafica, i punti di energizzazione (punti di scoppio o shoy points), sono stati disposti simmetricamente rispetto al profilo ed in particolare: agli estremi (end), esternamente (offset) ed a distanze variabili lungo lo stesso allineamento (punti di scoppio centrali).

## RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

### **3.1.2. Risultati dell'elaborazione**

La profondità esplorata, in linea teorica, è direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli off set, ma soprattutto dipende dal contrasto di velocità delle onde nei mezzi attraversati; i tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza fra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e dalla profondità a cui si trovano i diversi rifrattori.

La profondità di indagine è funzione della velocità delle onde nel mezzo nel quale si propagano e non può essere conosciuta a priori; le velocità sono funzione della direzione di percorrenza dei fronti d'onda. I terreni infatti non possono essere assimilati a mezzi isotropi continui perché le loro proprietà elastiche variano con la direzione di propagazione. I terreni sono molto più realisticamente, assimilabili a mezzi anisotropi, così che i fronti d'onda cambiano forma da punto a punto e non sono assimilabili a nessuna forma geometrica definita.

L'indagine nel suo complesso, ha messo in evidenza tre orizzonti sismici con le seguenti classi di velocità in onde SH:

V1 = 154 – 250 m/sec.

V2 = 332 – 367 m/sec.

V3 = 810 – 1122 m/sec.

Il primo orizzonte ha spessore compreso tra 0,10 e 2,00 m, ed è riferito al terreno vegetale e materiale di riporto rimaneggiato e poco addensato; il secondo orizzonte sismico, con spessore variabile tra 12,60 e 18,30 m dal p.c., raggiunge profondità comprese tra 12,80 e 18,90 m e può essere riferito ai depositi alluvionali di conoide.



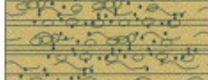
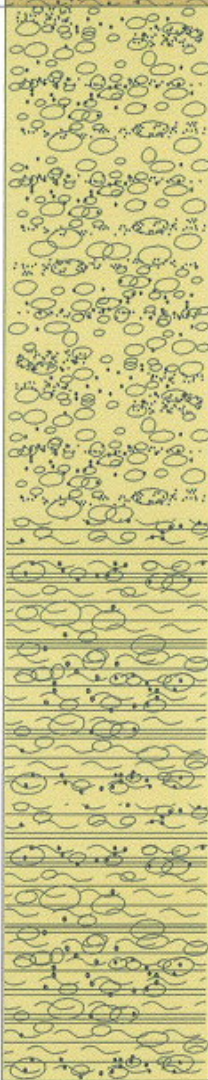

Il terzo orizzonte sismico può essere messo in relazione al passaggio a litologie calcaree e calcareo-marnose, che costituiscono la formazione del calcari tipo "Alberese" affiorante estesamente nei rilievi collinari limitrofi.

### **3.3. Stratigrafia e Caratterizzazione Litotecnica**

L'indagine sismica eseguita, il rilevamento geologico, le informazioni desunte dai dati

## COLONNA LITOSTRATIGRAFICA

### scala 1: 100

Prof. m	Stratigrafia	Descrizione Litologica	Falda
0,60		<i>Terreno vegetale e/o riporti antropici</i>	 3,00 m
2,00		<i>Limo sabbioso argilloso con inclusi di ghiaia. Consistenza elevata</i>	
		<i>Ghiaia di disfacimento di arenaria e silt con diametro dei clasti che aumenta con la profondità da un minimo di 3 / 4 cm ad un massimo di 10 / 12 cm; matrice prevalentemente sabbiosa, limo - argillosa all'aumentare della profondità. Terreno da "mediamente addensato" ad "addensato"</i>	
13,0 / 19,0		<i>Calcarei tipo "Alberese"; calcari, calcari marnosi, calcareniti e marne</i>	

stratigrafici della zona specifica e dell'intorno, hanno permesso la ricostruzione litologica del sottosuolo come illustrata nella *Colonna Litostratigrafica scala 1: 100*.

La successione è quindi così schematizzabile:

0,00 – 0,60 m terreno vegetale e/o riporti antropici (livello di terreno di supporto del manto erboso del campo di calcio);

0,60 – 2,00 m limo sabbioso-argilloso con inclusi di ghiaia, "consistenza elevata";

2,00 – 13,00/19,00 m ghiaia da disfacimento di arenaria e silt con diametro dei clasti che aumenta con la profondità da un minimo di 3÷4 cm ad un massimo di 10÷12 cm, matrice prevalentemente sabbiosa, limo-argillosa all'aumentare della profondità. Terreno da "mediamente addensato" ad "addensato";

oltre 13,00/19,00 m calcari tipo "Alberese": calcari, calcari marnosi, calcareniti e marne, "bed rock".

Rilievi alla data Febbraio '84, indicano un livello di falda a circa 3,0 m dal p.c.

#### 4. MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

##### 4.1. Rischio sismico

In seguito alla Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 e successive modifiche, la Regione Toscana ha proceduto a formulare una proposta di classificazione dell'intero territorio regionale (Del.G.R. 878/2012); il territorio del comune di Pistoia è stato inserito in zona 2 (accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni  $a_g/g = 0,150 - 0,250$ ).

Tuttavia, la normativa sismica nazionale "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*" approvata con D.M. 14.01.2008 ed entrata in vigore il 04.03.2008 stima la pericolosità sismica, intesa come accelerazione orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), mediante un *approccio sito dipendente* e non più con un approccio zona dipendente.

#### RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

Secondo l'allegato A del D.M./2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso fra 4 punti della griglia di accelerazioni (allegato B); tramite media pesata si otterranno i parametri spettrali *ag* (accelerazione massima al suolo), *F<sub>o</sub>* (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), *T<sub>c</sub>* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per la determinazione dell'azione sismica.

La richiesta di valutazione degli effetti locali, eseguita qualitativamente secondo le linee guida del D.P.G.R.T. 53/R del 25 Ottobre 2011, risulta dall'elenco che segue:

1. probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica o per morfologie sepolte;
2. la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
3. i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
4. accentuazione della instabilità dei pendii;
5. terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
6. terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

#### **4.1.1. Amplificazione per effetti stratigrafici, topografici o morfologie sepolte**

L'area in studio, posizionata in zona pianeggiante, non può essere soggetta ad amplificazione per effetti topografici; riguardo alla stratigrafia, in considerazione della presenza di una coltre alluvionale con spessore inferiore a 20 m, sovrastante il substrato roccioso calcareo, dà adito a possibili effetti di amplificazione sismica.

#### **4.1.2. Presenza di faglie e/o strutture tettoniche**

In questa zona pedeappenninica sono presenti diversi sistemi di faglie a grande scala che possono innescare fenomeni sismici; non si segnalano comunque faglie ad attività acclarata nelle immediate vicinanze.

#### **4.1.3. Presenza di contatti tra litotipi di caratteristiche significativamente differenti**

La presenza di una coltre di sedimenti alluvionali (da limi argillosi a ghiaie e ciottoli) con spessore variabile da 13 a 19 m, sovrapposta a litotipi calcarei "rigidi", è indicativa di tale emergenza.

#### **4.1.4. Accentuazione della instabilità dei pendii**

La collocazione del sito in area di pianura fa escludere a priori emergenze di questo tipo.

#### **4.1.5. Liquefazione**

La possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione dei materiali di sottofondazione, con conseguente perdita di capacità portante, è legata all'esistenza di terreni sabbiosi monogranulari sciolti sotto falda; inoltre, l'entità di tali fenomeni è direttamente correlabile all'omogeneità granulometrica e decresce all'aumentare della frazione fine, annullandosi alla presenza di argille. La liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un terremoto, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero.

In ottemperanza al vigente D.M. Infrastrutture 14.01.2008 (*"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"*) e relativa Circolare di istruzione per l'applicazione del 02.02.2009 n. 617 C.S.LL.PP., ai sensi del paragrafo 7.11.3.4 delle Norme, si procede alla valutazione della stabilità nei confronti della liquefazione. Recita la norma che tale verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5.
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub – orizzontale e strutture di fondazioni superficiali.

#### **RELAZIONE GEOLOGICA**

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ .

Dove:

- $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
  - $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test), anch'essa normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nei relativi diagrammi granulometrici per terreni con coefficienti di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$

Nel caso specifico non si manifestano le prime tre condizioni sopra elencate.

Per il quarto punto, vari test penetrometrici eseguiti in zona indicano  $(N_1)_{60} > 30$ , ma soprattutto è il quinto punto che non essere soddisfatto, infatti dalla osservazione delle varie stratigrafie a disposizione per l'area in esame, abbiamo rilevato sempre la presenza di "terreni misti" (da limi argillosi a ciottoli) a granulometria "ben assortita" e ben addensati. Pertanto queste condizioni sono sufficienti – a ns. avviso – a far escludere il fenomeno liquefazione secondo le NTC/2008 (§ 7.11.3.4).

#### **4.1.6. Terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali**

Per quanto in precedenza verificato, non si riscontrano condizioni tali da dare origine a cedimenti differenziali sotto sollecitazione sismica, i terreni presenti in sito presentano bassa compressibilità, inoltre nello specifico, essendo le opere realizzate da decenni, il cedimento è senz'altro completamente evoluto e quindi in ogni caso non avrà nessuna valenza ai fini del presente lavoro di verifica.

#### 4.1.7. Calcolo del parametro $V_{s30}$

La nuova normativa prevede la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, relativamente all'aspetto legato all'amplificazione dell'onda sismica. La classificazione del sottosuolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

In riferimento all'Ordinanza P.C.M. n. 3274/04, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_s$  30 è definita dall'espressione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1, N} (h_i / V_{s,i})$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$  = velocità in m/sec, delle onde di taglio nello strato i-esimo;

*Definizione delle categorie di sottosuolo*

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	$V_s$ 30	$N_{SPT} - c_u$
<b>A</b> Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore max pari a 3 m	>800 m/s	
<b>B</b> Rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	>360 m/s <800 m/s	$N_{SPT} > 50$ $c_u > 250$ KPa
<b>C</b> Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	>180 m/s <360 m/s	$15 < N_{SPT} < 50$ $70 < c_u < 250$ KPa
<b>D</b> Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180 m/s	$N_{SPT} < 15$ $c_u < 70$ KPa

#### RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

<b>E</b> 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)	<360 m/s	
<b>S<sub>1</sub></b> Depositi di terreni che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	<100 m/s	$10 < c_u < 20$ KPa
<b>S<sub>2</sub></b> Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti		

I valori di  $V_{s30}$  calcolati lungo il profilo per mezzo dell'indagine sismica in onde SH variano tra 403 m/s e 501 m/s, con un valore medio pari a 460 m/s. Essendo in presenza di un forte contrasto di velocità tra il substrato di riferimento, con velocità media di 888 m/s, ed i depositi sovrastanti con velocità media di 329 m/s e spessori inferiori a 20 m, la zona in esame rientra nella Categoria "E" dei suoli di fondazione: a tale classe fanno capo 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).

La Categoria topografica è T1 "area pianeggiante" (pendio con inclinazione media  $i < 15^\circ$ ).

## 5. ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITÀ

Come richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, la relazione geologica deve essere integrata con alcuni parametri sito dipendenti che permettono di fornire al progettista indicazioni specifiche circa le peculiarità microsismiche dell'area di intervento.

La pericolosità sismica di un sito è descritta come la probabilità che in un dato lasso di tempo, in detto sito, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni è denominato "periodo di riferimento"  $V_r$  e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel

periodo di riferimento"  $P_{vr}$ . Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una prefissata probabilità, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.

Lo spettro di risposta elastico è funzione diretta delle caratteristiche geologico tecniche e topografiche del sito, nonché del tipo di opera in realizzazione.

Per calcolare i parametri ed i coefficienti sismici sito dipendente, occorre identificare le seguenti caratteristiche:

i) relativamente all'opera:

- (1) la vita nominale ( $V_n$ ),
- (2) la classe d'uso ( $C_u$ )
- (3) il periodo di riferimento ( $V_r$ );

ii) relativamente al sito:

- (1) la categoria di suolo (A,B,C,D,E)
- (2) le categoria topografica (T1, T2, T3, T4);

iii) relativamente alla descrizione dell'evento sismico in funzione di accelerogrammi:

(1) i caratteri di moto sismico:

1. accelerazione massima del sito ( $a_g$ );
2. valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acc. orizzontale ( $f_o$ );
3. periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. Orizzontale ( $T_c^*$ );

(a) i coefficienti di amplificazione:

- i. amplificazione stratigrafica funzione della categoria di suolo ( $C_c$  e  $S_s$ );
- ii. amplificazione topografica funzione dell'ubicazione dell'opera sul pendio ( $St$ );

(b) i coefficienti sismici:

- i. coefficiente verticale ( $K_v$ )
- ii. coefficiente orizzontale ( $K_h$ );
- iii. accelerazione massima attesa in sito, funzione dei coefficienti di amplificazione ( $A_{max}$ );
- iv. coefficiente di riduzione di  $A_{max}$  ( $\beta_s$ )

RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

## COMUNE DI PISTOIA

Per la determinazione dei parametri sismici esistono dei software messi a disposizione da alcune case produttrici o dal Ministero delle Infrastrutture stesso che permettono, partendo dalle coordinate piane del luogo di interesse, avendo i dati relativamente al sito ed all'opera, di ricavare i caratteri di moto sismico sito dipendenti.

Nel caso specifico per il calcolo dei parametri e dei coefficienti di amplificazione è stato utilizzato il programma NTC - VEL versione 1.0.3 disponibile on line.

I parametri sono riportati nella tabella sottostante; si ricorda che per quanto riguarda le informazioni relative all'opera se non sono state fornite definite dal progettista, sono state indicate in base a criteri standard.

*Caratteristiche per la definizione dei parametri sismici*

Punto di interesse	Coordinate geografiche Latitudine = 43° 56' 29,90" Longitudine = 10° 54' 54,70"	Coordinate per NTCSISMA Latitudine = 43,94163 N Longitudine = 10,91519 E
Caratteristiche dell'opera		
Vita Nominale	$V_N$	50 anni
Classe d'uso		III
Coefficiente d'uso	$C_u$	1,5
Periodo di riferimento ( $V_R = V_N \cdot C_u$ )	$V_R$	75 anni
Caratteristiche del sito		
Categoria di suolo		E
Categoria topografica		T1

I risultati ottenuti per i Parametri ed i Coefficienti di amplificazione sono presentati nelle tabelle di seguito riportate:

*Tabella dei Parametri sismici*

	$T_r$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_o$	$T_c^*$ (sec)
SLO	45	0,063	2,498	0,260
SLD	75	0,078	2,482	0,269
SLV	712	0,186	2,387	0,295
SLC	1462	0,234	2,384	0,306

## RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

*Tabella dei Coefficienti Sismici*

	Ss	Cc	St	Kv	Kh	Beta
SLO	1,600	1,971	1,000	0,0202	0,0101	0,200
SLD	1,600	1,943	1,000	0,0250	0,0125	0,200
SLV	1,513	1,875	1,000	0,0675	0,0338	0,240
SLC	1,386	1,848	1,000	0,0908	0,0454	0,280

## 6. CONCLUSIONI

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti sia i livelli stratigrafici dei terreni interessati dall'intervento sia la caratterizzazione litotecnica necessaria per la modellazione fisico-matematica del sottosuolo ai fini della verifica sismica delle strutture fondali della tribuna.

Dalla campagna geognostica svolta, gli elementi più significativi rilevati sono i seguenti:

- presenza di litologie sostanzialmente omogenee su tutta l'area delle indagini, estrapolabile quindi a tutta l'area della tribuna oggetto di verifica;
- caratterizzazione litologica di tipo "limo sabbioso argilloso" superficiale (terreni coerenti) che passa al tipo "ghiaioso sabbioso con matrice limosa" (terreni a comportamento incoerente) ed infine "bed-rock" a consistenza litica (calcari tipo "alberese") entro il "buffer" dei 20 m (13÷19 m);
- forte contrasto di rigidità tra "coltre alluvionale" e "bed-rock" (rilevata dall'indagine sismica), per cui la *categoria di sottosuolo* è ascrivibile al *tipo E*;
- ci troviamo in un sito pianeggiante, quindi di *categoria topografica T1*;
- presenza di falda freatica con livello a -3 m da p.c. (Febbraio '84), viste le caratteristiche idrogeologiche dell'area, questo livello è da ritenersi riferibile anche all'attualità.

In linee generali possiamo trarre le seguenti considerazioni:

### RELAZIONE GEOLOGICA

relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

## COMUNE DI PISTOIA

- tutti gli aspetti inerenti il rischio idraulico sia in merito alle normative comunali, sia regionali, sia nazionali, esulano dalle finalità della presente relazione;
- nell'area di sedime della tribuna e nell'intorno significativo, non si rilevano fenomenologie di instabilità da imputare a cedimenti accentuati del terreno (subsidenza), da sopralluogo non si rileva nessun quadro fessurativo sulle strutture che possa indurre a considerazioni su caratteristiche scadenti del terreno di sedime, anzi vengono confermate le buone caratteristiche generali rilevate nelle aree limitrofe (elevati parametri di resistenza al taglio e bassa compressibilità): l'area in s.l. presenta buone caratteristiche generali di stabilità;
- dal punto di vista litotecnico – vista anche “la qualità” dei sedimenti (elevata percentuale di ghiaie e ciottoli) e la storia tensionale degli stessi (da prove di compressibilità edometrica si rileva sempre elevato grado di sovra consolidazione) – si conferma la bassa compressibilità (elevati moduli E). Tenuto conto inoltre che la costruzione della tribuna risale a vari decenni, possiamo considerare completamente evoluti anche eventuali cedimenti, pertanto nelle verifiche sismiche il Progettista potrà avvalersi di un coefficiente di Winckler  $K > 100000 \text{ kN/m}^3$ .

Ci riserviamo ulteriori approfondimenti od interventi in corso d'opera, allorché si presentassero problematiche non previste nella presente relazione.

Pistoia, li 24.10.2013

Dott. Geol. PERGENTINO GIOVANNELLI



RELAZIONE GEOLOGICA  
relativa a verifica sismica e valutazione della sicurezza della tribuna coperta dello stadio comunale

## ALLEGATO

CERTIFICAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH





**IGETECMA s.a.s. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali**

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

## **Rapporto di Prova n°198/13/S**

Montelupo Fiorentino 24/9/2013

**SETTORE:** Geofisica - sismica a rifrazione con onde SH

**COMMITTENTE:** Studio Baldi e Associati

**CANTIERE:** Stadio di Pistoia, Pistoia (PT)

**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°259/13

### **Indice:**

1. Scopo dell'indagine
2. Indagine mediante sismica a rifrazione
  - 2.1. Procedure di campagna
  - 2.2. Metodo di elaborazione dei dati
3. Presentazione dei dati
4. Risultati dell'indagine
5. Normativa sismica e calcolo del VS30
6. Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio

Ing. F. Politi

Il Tecnico

Geol. A. Farolfi

## **1 Scopo dell'indagine**

Per conto dello STUDIO ASSOCIATO BALDI, è stata eseguita una indagine geofisica mediante sismica a rifrazione con onde SH all'interno dello stadio di Pistoia (PT). E' stato eseguito n°1 profilo di sismica a rifrazione con onde SH, utilizzando 24 canali con una spaziatura di 3.0 m, per un totale di 69 m di rilievo. L'ubicazione è stata decisa in accordo con la committenza.

Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni ed il calcolo del parametro Vs30 .

## **2 Indagine mediante sismica a rifrazione**

### **2.1 Procedure di campagna**

Vengono stesi i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite.

La produzione di onde di taglio viene effettuata ponendo una trave di legno a diretto contatto con il terreno in senso trasversale al profilo ed energizzando su entrambi i lati dopo averla adeguatamente caricata, l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (*trigger*), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo. Le energizzazioni vengono effettuate alternativamente su entrambi i lati, mediante massa battente, e sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata orizzontalmente che viene generata. Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (*end*), esternamente (*offset*) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali). La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati. I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

### **2.2 Metodo di elaborazione dei dati**

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo.

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (dromocrone) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (to), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni

dello stendimento. Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano tali variazioni. In Tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche di compressione P e di taglio SH (espresse in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura. Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (*delay time*), il Metodo del tempo di intercetta ed il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da Palmer (1980). Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo-profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocrone.

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche nel rifrattore stesso. Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo-profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo. I limiti del metodo a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta; tale situazione è nota come "orizzonte nascosto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile. Ambedue le situazioni stratigrafiche portano a sovraestimare o sottostimare lo spessore delle coperture. Quando da altri rilievi si è a conoscenza della possibile presenza di orizzonti sismici nascosti è possibile, in fase di elaborazione dei dati con il metodo G.R.M., la verifica dello spessore di tali zone, poiché negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è così piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza. L'individuazione di eventuali strati nascosti e/o inversioni di velocità viene effettuata attraverso il confronto fra

Rapporto di prova n°198/13/S\_\_\_\_\_

i valori delle funzioni tempo-velocità misurate e quelle ricalcolate in base al valore di XY utilizzata per l'elaborazione (Palmer 1980).

Materiale	V P m/s	V SH m/s	
		VP/VS 1.9 - 3.5	VP/VS 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità dei principali materiali.

### 3 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- planimetria con ubicazioni delle indagini
- sezioni sismiche interpretate, rappresentazioni bidimensionali delle velocità sismiche e degli spessori degli strati individuati lungo il profilo
- tabulati numerici delle velocità delle onde sismiche e degli spessori relativi ad ogni strato rilevato per ciascuna sezione sismica
- registrazioni di campagna e dromocrone relative.

### 4 Risultati dell'indagine

L'indagine mediante sismica a rifrazione ha messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici con le seguenti classi di velocità delle onde di taglio SH:

V1 = 154 - 250 m/s

V2 = 332 - 367 m/s

V3 = 810 - 1122 m/s

Il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso fra 0.1 m e 2.0 m e può essere riferito, al terreno naturale e a materiali di riporto molto allentati. Il secondo orizzonte sismico, con

uno spessore variabile fra 12.6 m e 18.3 m, raggiunge profondità comprese fra 12.8 m e 18.9 m e può essere riferito ai depositi sedimentari allentati. Le velocità del terzo orizzonte sismico sono riferibili al substrato litoide.

## 5 Normativa sismica e calcolo del parametro $V_{s30}$

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro  $V_{s30}$  che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

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

I valori di  $V_{s30}$ , variano fra 403 m/s e 501 m/s, con un valore medio di 460 m/s. Essendo in presenza di un forte contrasto di velocità fra il substrato di riferimento, con velocità media di 888 m/s, e i depositi soprastanti con velocità media di 329 m/s e spessori inferiori a 20 m, la zona in esame rientra nella categoria E dei suoli di fondazione.

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s$ 30 m/s	$N_{spt} - C_u$
<b>A</b> Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s30} > 800$	
<b>B</b> Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti 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 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_{s30} < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
<b>C</b> Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, 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/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
<b>D</b> Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, 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/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
<b>E</b>	$V_{s30} < 360$	

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/sec.		
<b>S1</b> Depositi costituiti da $V_{s30}$ inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
<b>S2</b> Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella III – Categorie di suolo di fondazione

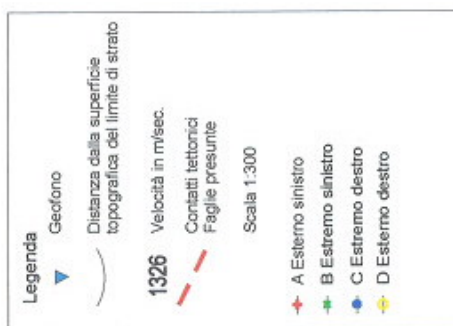
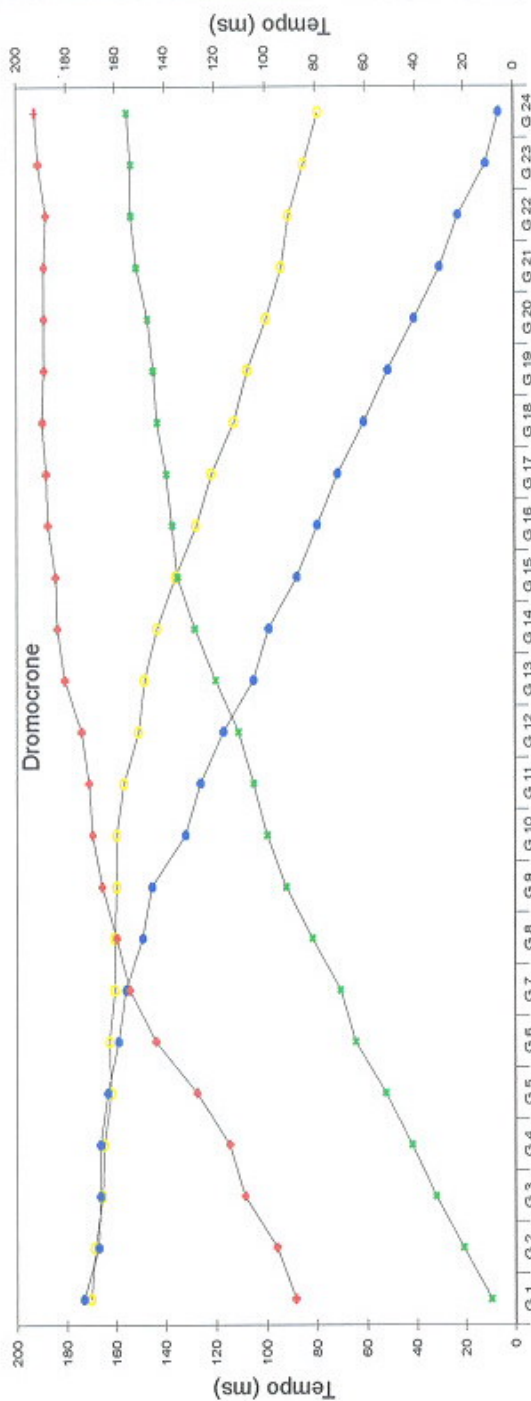
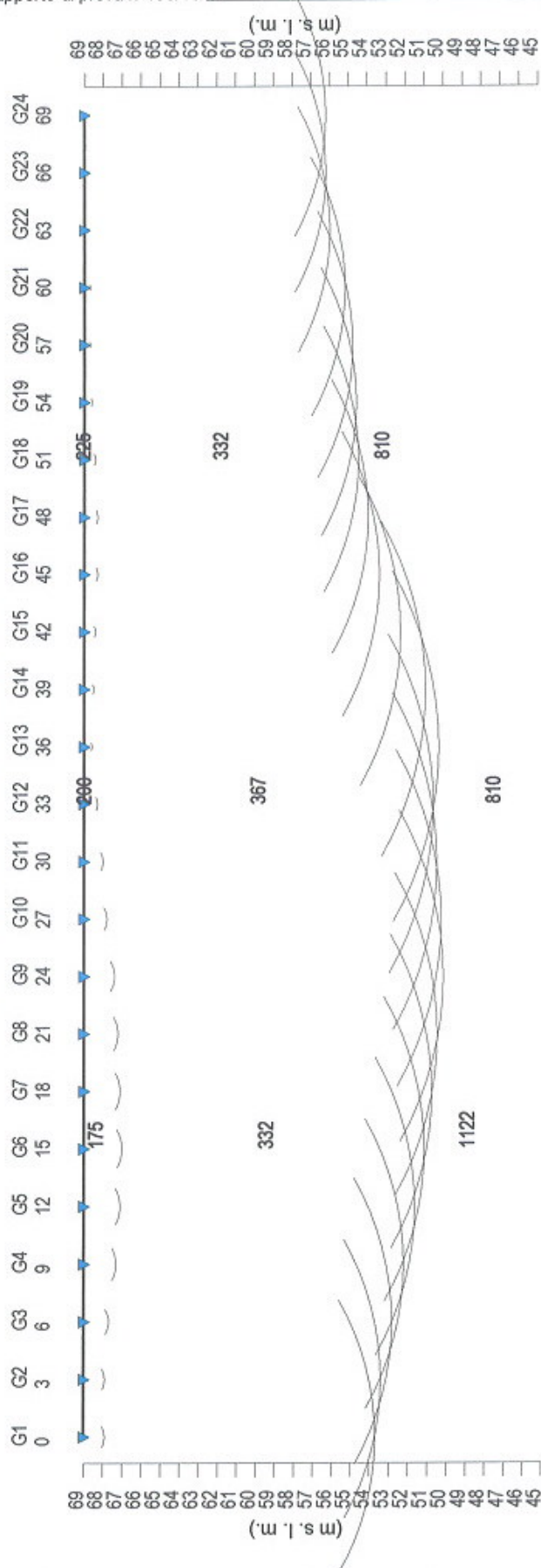
## 6 Caratteristiche della strumentazione

Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

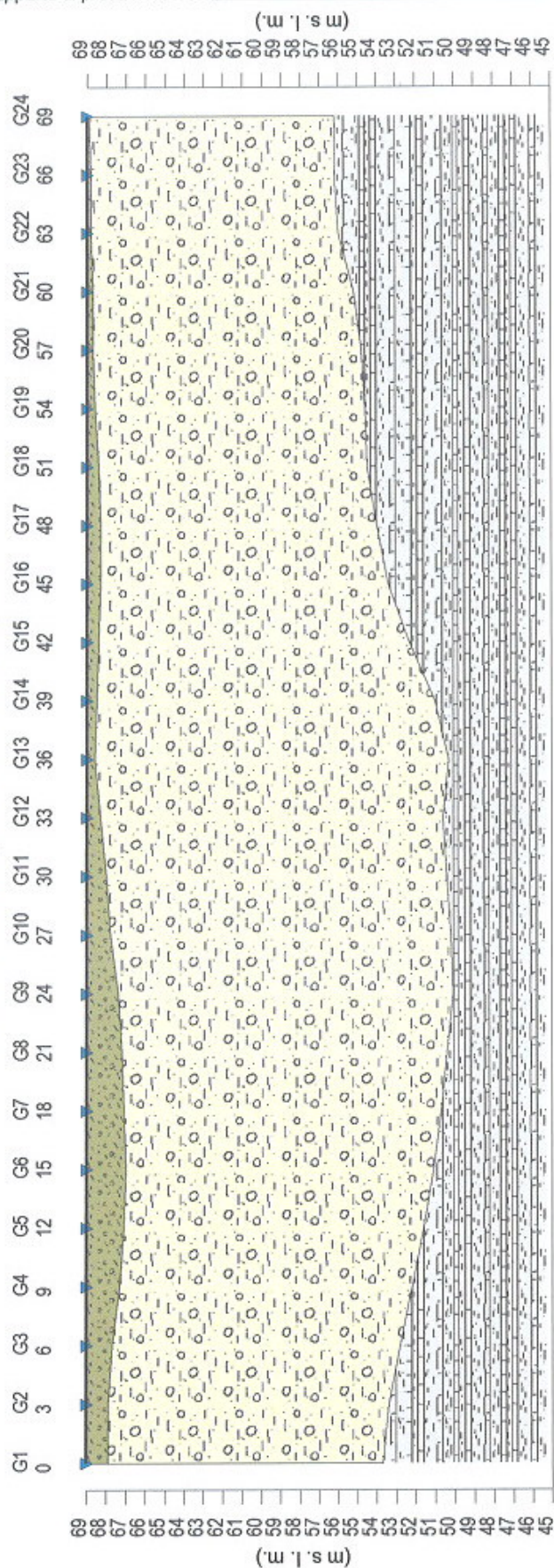
Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- risoluzione segnale A/D 24 bit;
- escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- fino a 64.000 campioni per traccia;
- distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
- filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
- pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
- salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
- 24 geofoni verticali con frequenza propria di 14 Hz;
- 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz;
- sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang calibro 8, grave da 30/60 kg.

# Profilo di sismica a Rifrazione Ps1 - onde SH



## Ps1 - onde SH- Interpretazione sismostratigrafica



Z1 (m)	1.1	1.3	1.7	1.9	2.0	1.9	1.8	1.6	1.2	1.0	0.7	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
Z2 (m)	14.2	14.5	14.9	15.1	15.5	15.9	16.4	16.8	17.3	17.6	17.7	18.3	17.5	16.1	14.9	14.3	13.9	14.0	13.9	13.5	12.8	12.6	12.7
H2 (m)	15.3	15.6	16.2	16.8	17.4	17.9	18.3	18.6	18.9	18.8	18.4	18.7	18.0	16.7	15.6	15.0	14.5	14.4	14.2	13.8	13.0	12.8	12.8
V1 (m/s)	154	158	162	167	171	175	179	183	187	192	196	204	208	212	217	221	225	229	233	237	242	246	250
V2 (m/s)	332	332	332	332	332	332	332	367	367	367	367	367	367	367	332	332	332	332	332	332	332	332	332
V3 (m/s)	1122	1122	1122	1122	1122	1122	1122	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810

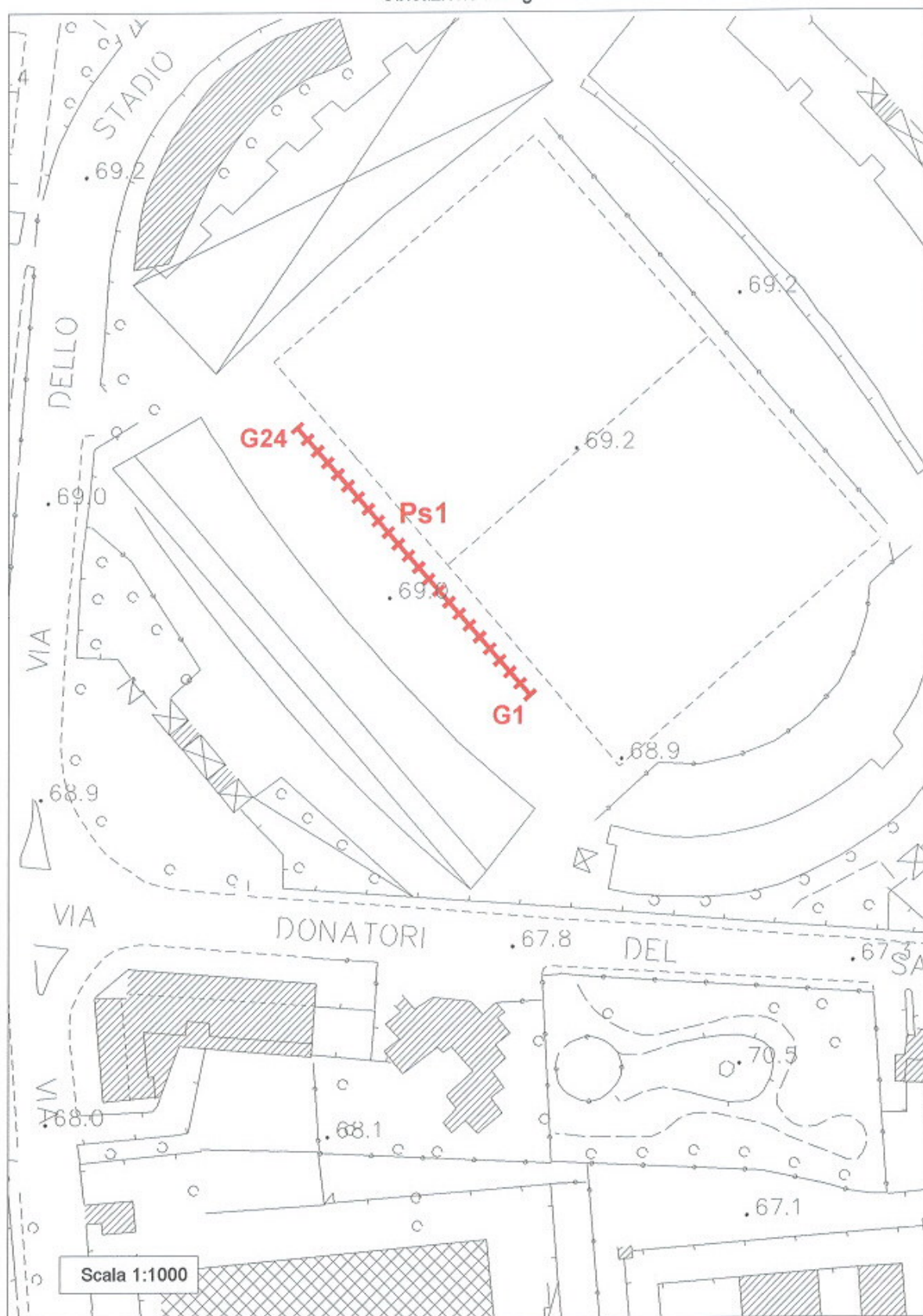
## Legenda:



Scala 1:300

Z = Spessore dell'orizzonte  
H = Profondità dell'orizzonte  
V = Velocità dell'orizzonte  
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Ubicazione indagini



## Dati Ps1 - onde SH

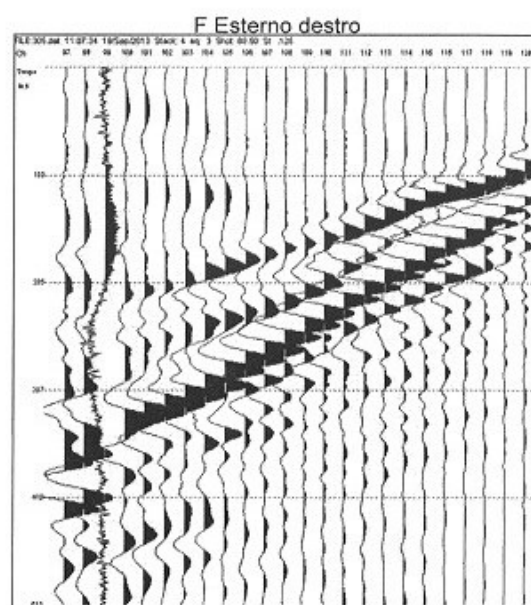
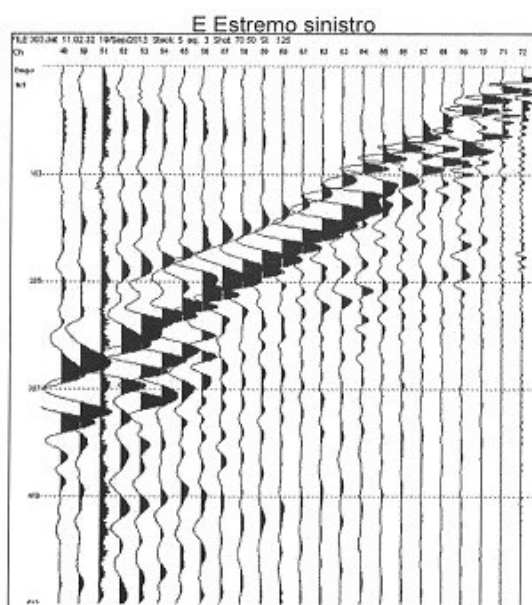
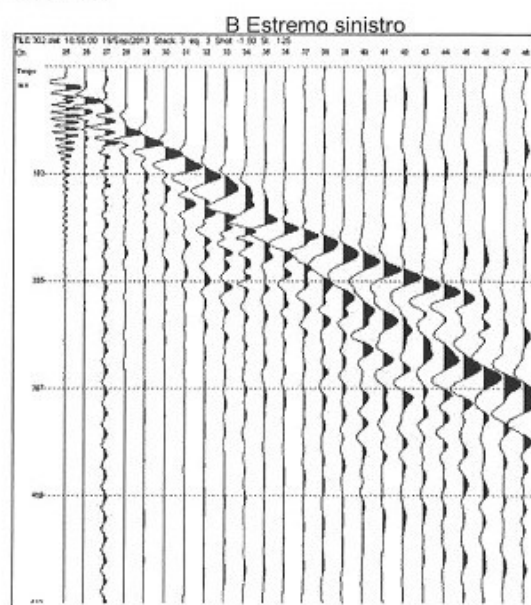
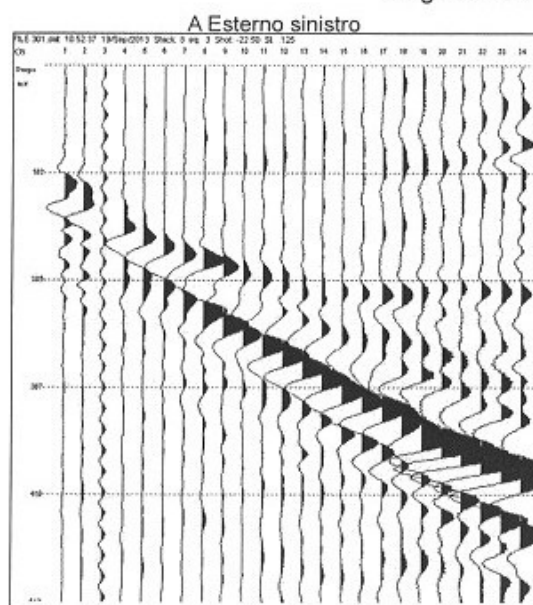
Tempi di arrivo

Geo. N°	Dist. m	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	Q m slm	V1 m/sec.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/sec.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/sec.
1	0	88.50	9.70	173.20	170.20	69.0	154	1.1	67.9	332	14.2	15.3	53.7	1122
2	2.5	96.00	21.00	167.20	168.70	69.0	158	1.1	67.9	332	14.5	15.6	53.4	1122
3	5	108.70	32.20	166.50	165.70	69.0	162	1.3	67.7	332	14.9	16.2	52.8	1122
4	7.5	114.70	42.00	166.50	165.00	69.0	167	1.7	67.3	332	15.1	16.8	52.2	1122
5	10	127.50	52.50	163.50	162.00	69.0	171	1.9	67.1	332	15.5	17.4	51.6	1122
6	12.5	144.00	64.50	159.00	162.70	69.0	175	2.0	67.0	332	15.9	17.9	51.1	1122
7	15	154.50	70.50	156.00	160.50	69.0	179	1.9	67.1	332	16.4	18.3	50.7	810
8	17.5	159.70	81.70	149.20	160.50	69.0	183	1.8	67.2	367	16.8	18.6	50.4	810
9	20	165.70	92.20	145.50	159.70	69.0	187	1.6	67.4	367	17.3	18.9	50.1	810
10	22.5	169.50	99.70	132.00	159.70	69.0	192	1.2	67.8	367	17.6	18.8	50.2	810
11	25	171.00	105.00	126.00	156.70	69.0	196	1.0	68.0	367	17.6	18.6	50.4	810
12	27.5	174.00	111.00	117.00	150.70	69.0	200	0.7	68.3	367	17.7	18.4	50.6	810
13	30	180.70	120.00	105.00	148.50	69.0	204	0.4	68.6	367	18.3	18.7	50.3	810
14	32.5	183.70	128.20	99.00	143.20	69.0	208	0.5	68.5	367	17.5	18.0	51.0	810
15	35	184.50	135.00	87.70	135.70	69.0	212	0.6	68.4	367	16.1	16.7	52.3	810
16	37.5	187.50	137.20	79.50	127.50	69.0	217	0.7	68.3	332	14.9	15.6	53.4	810
17	40	188.20	139.50	71.20	121.50	69.0	221	0.7	68.3	332	14.3	15.0	54.0	810
18	42.5	189.70	143.20	60.70	112.50	69.0	225	0.6	68.4	332	13.9	14.5	54.5	810
19	45	189.00	144.70	51.00	107.20	69.0	229	0.4	68.6	332	14.0	14.4	54.6	810
20	47.5	189.00	147.00	40.50	99.70	69.0	233	0.3	68.7	332	13.9	14.2	54.8	810
21	50	189.00	151.50	30.00	93.70	69.0	237	0.3	68.7	332	13.5	13.8	55.2	810
22	52.5	188.20	153.70	22.50	90.70	69.0	242	0.2	68.8	332	12.8	13.0	56.0	810
23	55	191.20	153.70	11.20	84.70	69.0	246	0.2	68.8	332	12.6	12.8	56.2	810
24	57.5	192.70	155.20	6.00	78.70	69.0	250	0.1	68.9	332	12.7	12.8	56.2	810

Legenda:

Z = Spessore dell'orizzonte  
H = profondità dell'orizzonte  
V = Velocità dell'orizzonte  
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Registrazioni Ps1 - onde SH



Documentazione fotografica



DEPOSITATO SENSI L. 64/74 E L. 267/94  
SISMICA E C.A. - PROT. 1889  
05.08.99 018463  
REGIONE TOSCANA  
GENIO CIVILE PISTOIA  
L'INCARICATO



CETA PONTICCI TIBOLARI spa  
Presidente - Consigliere Delegato  
Ing. Edo Maria Tacchio

L'IMPRESA

*Renzo Nelli*



SERVIZI TECNICI SRL

50047 PRATO - Via del Romito, 15 Tel. 0574 - 38297-30304 fax.29128  
Cod. Fisc. - Part. IVA 01657510978

COMUNE DI PISTOIA

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLE OPERE DI FONDAZIONE DI TRE TRIBUNE  
PREFABBRICATE ALL'INTERNO DELLO STADIO COMUNALE

tav.

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

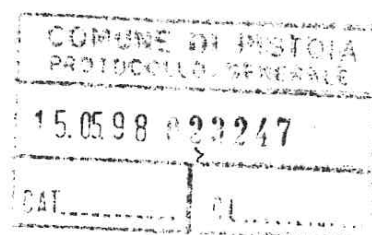
cod.

data. LUGLIO '99

dis.



Redatto da : Dott. Ing. PATRIZIO BESSI



#### 4.5 – Rischio di liquefazione

Come è noto, il rischio di liquefazione dei terreni, al di sotto del piano di appoggio delle fondazioni è determinato dalla granulometria, dalla densità relativa dei terreni e dalla presenza di acqua.

E' massimo per sabbie monogranulari, sciolte, sature d'acqua e decresce progressivamente con l'aumentare dell'eterogeneità granulometrica e della componente fine, annullandosi in presenza di argilla.

Nel caso specifico, il sottosuolo dei quattro siti considerati è *sempre* costituito da terreni con caratteristiche geotecniche molto buone: terreni coesivi consistenti o molto consistenti e terreni granulari con densità relative spesso superiori ad 80%.

Pertanto non esistono pericoli che sforzi elastici, indotti nel sottosuolo da eventi sismici, posano produrre effetti di liquefazione dei terreni.

Ciò premesso, per quanto di competenza e salvo controlli in corso d'opera, se richiesti, nulla osta alla realizzazione del nuovo impianto di illuminazione per lo stadio di Pistoia.

Pistoia 4 Maggio 1998

A circular stamp of the Ordine dei Geologi della Provincia di Pistoia. The text inside the circle reads 'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA PROV. DI PISTOIA' and 'DELLA GEOL. GIORGIO MATASSI'. Below the stamp is a handwritten signature.