

SIMONE STEFANI - GEOLOGO  
GEOLOGIA – ECOLOGIA - AMBIENTE

**COMUNE DI FUCECCHIO**  
(Provincia di Pisa)

**STUDIO GEOLOGICO A SUPPORTO DEL PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA  
PRIVATA POSTO IN VIA DELLE CEPPATE – LOCALITA' IL CERRO.**

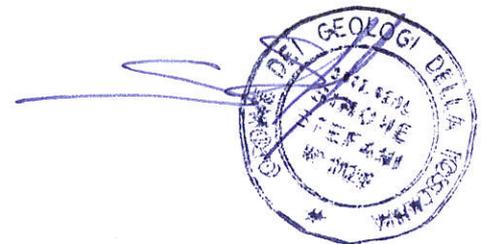


Committente: Sig. Impastato Silvano e Pretini Luisa

Progettista: Arch Di Sandro Sauro

***Relazione Geologica***

*Ottobre 2015*



STUDIO DI GEOLOGIA - GEOLOGO SIMONE STEFANI  
55100 LUCCA – Via della Chiesa 609/A – S. Angelo - cell. 338/5451349  
Email: sferalucca@alice.it - p.IVA 01711310464

## INDICE

<b>1.- PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.- MORFOLOGIA E GEOLOGIA DELLA ZONA .....</b>	<b>4</b>
2.1.- MORFOLOGIA.....	4
2.2.- GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA .....	4
<b>3.- IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA .....</b>	<b>5</b>
3.1 – CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA, GEOLOGICA E SISMICA .....	5
3.2 – CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITÀ IDRAULICA, GEOLOGICA E SISMICA .....	6
<b>4 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>8</b>
4.1.- PENETROMETRIE STATICA.....	8
4.2. – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P .....	10
4.3 – PERIODO DI RIFERIMENTO DELL’AZIONE SISMICA.....	10
4.4 - CATEGORIE DI SUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	11
4.5 – PERICOLOSITÀ SISMICA E PARAMETRI SISMICI.....	12
<b>5 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....</b>	<b>14</b>
<b>6 - CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLO SMALTIMENTO REFLUI .....</b>	<b>20</b>
6.1 - DESCRIZIONE DELL’IMPIANTO .....	22
6.2 - SCHEMA COSTRUTTIVO DELL’IMPIANTO.....	22
6.3 - MODALITÀ DI GESTIONE .....	23
<b>7.-CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>24</b>

### FIGURE:

- Fig. 1 – Inquadramento geologico (Scala 1: 30.000)  
Fig. 2 – Piano di Assetto Idrogeologico  
Fig. 3 – Carta della pericolosità geologica, idraulica e sismica  
Fig. 4 – Planimetria stato attuale e modificato  
Fig. 5 – Pianta e sezione dell’impianto di smaltimento reflui  
Fig. 6 – Reticolo idrografico esistente e di progetto

ALLEGATO 1 –PROVE PENETROMETRICHE  
ALLEGATO 2 – INDAGINE SISMICA IN ONTE P  
ALLEGATO 3 - MASW

## 1.- PREMESSA

Per incarico dei Sig.ri Impastato Silvano e Pretini Luisa sono state svolte indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche a supporto del Piano di Recupero di iniziativa privata posto in via delle Ceppate, località “Il Cerro”, Comune di Fucecchio.

Il complesso edilizio è caratterizzato dalla presenza di un fabbricato principale di due piani fuori terra attualmente suddiviso in n° 3 unità abitative, da un ampio fienile di due piani fuori terra ad ovest e da un altro manufatto, ad uso carraia, di solo piano terra in posizione est; il tutto a formare una sorta di corte.

La consistenza del fondo annesso al fabbricato è di circa 4 ettari. Il progetto prevede di recuperare tutte le superfici dei fabbricati per realizzare n° 4 unità abitative con relativi accessori.

Tali unità verrebbero ad essere così localizzate: due unità all'interno del fabbricato principale al posto delle 3 esistenti; una nel fienile integralmente recuperato e una di nuova costituzione da realizzarsi con recupero della volumetria della attuale carraia e di una porzione dell'edificio principale.

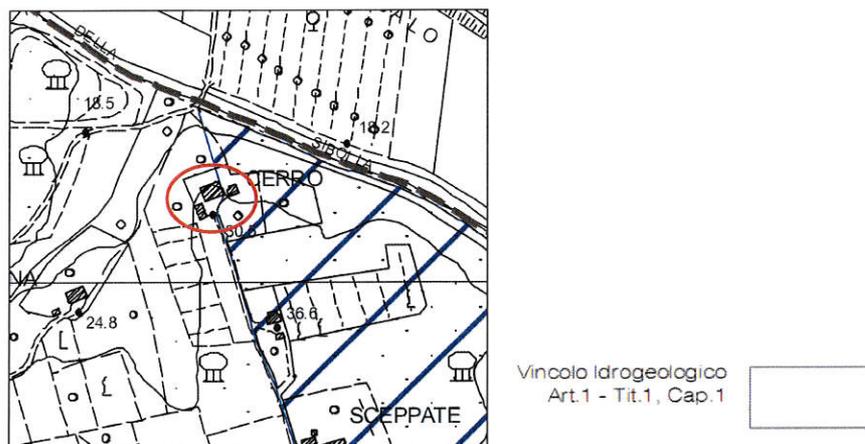
La relazione è stata effettuata in accordo alle NTC di cui al **DM 14 gennaio 2008**, integrate dalla **Circolare Ministeriale n. 617 del 2 febbraio 2009**, che definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio e di durabilità. Forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto e definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti, ma lasciano al progettista la libertà di scegliere sistemi e tecnologie costruttive. Inoltre sono coerenti con gli indirizzi normativi a livello comunitario, in particolare con gli **Eurocodici**, e approfondiscono gli aspetti normativi connessi alla presenza delle azioni sismiche e le prescrizioni relative ai rapporti delle opere con il terreno.

Gli studi sono stati eseguiti tenendo conto:

- *L.R. n° 65 del 10 novembre 2014 (Norme per il governo del territorio);*
- *PAI dell'Autorità di Bacino dell'Arno;*
- *PIT della Regione Toscana secondo la D.C.R. n° 27/03/2015 n° 37;*
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27/07/2007.*
- *Ordinanza del Presidente Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519.*
- *Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 431 del 19 giugno 2006*
- *D.P.G.R. 53/R/2011;*
- *D.P.G.R. 36/R del 2009, regolamento di attuazione dell'art. 117 della L.R. 1/2005 (Disciplina delle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggetta a rischio sismico);*
- *D.Lgs 152/2006 e succ mod.;*
- *DPGR n°46/R del 2008.*

oltre che degli studi dei vari Enti preposti al controllo del rischio geomorfologico ed idraulico.

Il progetto in esame risulta interno alla zona soggetta al vincolo idrogeologico e quindi al *Decreto del Presidente della Giunta Regionale del 08/08/2003 n° 48/R - Regolamento Forestale della Toscana "Regolamento d'attuazione della L.R. 2 gennaio 2003 n° 1 – Modifiche alla legge regionale del 21/03/2000 n°39"*



Con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014 è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica regionale, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, così da classificare il Comune di Fucecchio "Comune sismico - Zona rischio sismico 3".

## 2.- MORFOLOGIA E GEOLOGIA DELLA ZONA

### 2.1.- Morfologia

L'area di interesse è ubicata a nord del Comune di Fucecchio a circa 1,00 Km dal centro delle frazione di Querce, ad una quota di circa 30,50 m s.l.m. (v. Fig. 1), in una zona caratterizzata da sporadici fabbricati adibiti a civile abitazione.

### 2.2.- Geologia e idrogeologia

Facendo riferimento alla cartografia geologica e geomorfologica ufficiale riportata in Fig. 1 si può rilevare che il sito si trova in corrispondenza dei depositi alluvionali delle Cerbaie - Altopascio Formazione delle Cerbaie (CTB) - *Conglomerato debolmente cementato in matrice sabbiosa, di colore prevalentemente rosso ocra, con ciottoli di quarziti, calcari cristallini e altri litotipi del Monte Pisano. Sono presenti anche livelli di spessore variabile di sabbie monogranulari fini, sabbie limose e limi argillosi, di colore generalmente variabile dal giallo al grigio. Lo stato d'alterazione è particolarmente accentuato e caratterizzato da*

*frequente ed abbondante argillificazione. Localmente, nel territorio comunale, sono prevalenti le frazioni più fini con scarsa presenza di ciottoli.*

### **3.- IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA**

Dall'analisi della carta della “*Vulnerabilità potenziale della falda*” si può rilevare che alla profondità di 30/50 m sono presenti acquiferi collocati nei depositi di sabbie e ghiaie. Durante la fase di indagine è stata osservata una circolazione posta a partire da 5,50 m dal p.c.

Per quanto riguarda il drenaggio superficiale è assicurato dal reticolo di canalette interpoderali che hanno una direzione generale di flusso verso NE e che fanno capo al reticolo idrografico posto a nord rappresentato dal Fosso di Scolo (v. Fig.1).

#### **3.1 – Considerazioni sulla pericolosità idraulica, geologica e sismica**

Per effettuare una valutazione della pericolosità geologica ed idraulica della zona è stato eseguito lo studio della documentazione degli Enti pubblici preposti al controllo di tali rischi (Autorità di Bacino del Fiume Arno, Comune di Fucecchio).

Da tali elaborati si rileva che il settore in oggetto si colloca al di fuori degli ambiti A e B dei corsi d'acqua censiti dalla C.R. 12/2000 del P.I.T. (D.C.R. n° 27/03/2015 n° 37), mentre sotto il profilo della pericolosità idraulica, in relazione al Piano di Bacino del Fiume Arno e del Regolamento Urbanistico, emerge quanto segue:

Negli elaborati del Regolamento Urbanistico del Comune l'area in esame è classificata come “**II - Pericolosità idraulica bassa – II** (v Fig. 3) - *Aree non soggette ad esondazione per condizioni morfologiche*

I dati sopraesposti consentono quindi di asserire che la pericolosità idraulica, per l'area in esame, è da considerarsi di basso grado.

Nella cartografia redatta a supporto del Piano di Bacino del Fiume Arno, figura 2 – *Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante livello di sintesi* - la zona è stata inserita tra quelle indicate come “*Aree a pericolosità media – PF2*” mentre gli studi attinenti la pericolosità geologica-geomorfologica del Comune di Fucecchio classificano la zona in classe “**G2 –pericolosità geomorfologica media**” (v Fig. 3). Il lotto appartiene quindi ad una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile.

Gli studi attinenti la pericolosità SISMICA classificano l'area in **S2” Pericolosità sismica locale media.** (v Fig. 3):

### 3.2 – Considerazioni sulla fattibilità idraulica, geologica e sismica

La fattibilità geomorfologica, idraulica e sismica di un P.U.A. è strettamente legata alle situazioni di pericolosità e di criticità del territorio e ai possibili effetti che possono essere indotti dalla realizzazione delle opere in progetto.

**Gli studi eseguiti confermano le conoscenze geologiche, idrogeologiche, idrauliche e sismiche dell'area e riportate negli strumenti urbanistici.**

Gli studi eseguiti evidenziano una pericolosità geologica, idraulica e sismica sulla base delle quali si è pervenuti alla verifica delle relative fattibilità in applicazione dei criteri sanciti dal regolamento regionale (*DPGR del 25 ottobre 2011- 53/R.*), suddetto e coerentemente con le stesse norme tecniche di attuazione agli strumenti vigenti.

Infatti i regolamenti, nel disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia del territorio comunale, definiscono le condizioni per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti strategici definiti nel Piano strutturale, traducendo altresì in regole operative anche le prescrizioni dettate dai Piani di Bacino.

Le condizioni d'attuazione sono riferite alla fattibilità delle trasformazioni e delle funzioni territoriali ammesse, fattibilità che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni delle destinazioni d'uso del territorio in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate, nonché in merito agli studi e alle indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio ed alle opere da realizzare per la mitigazione del rischio, opere che andranno definite sulla base di studi e verifiche che permettano di acquisire gli elementi utili alla predisposizione della relativa progettazione.

Con l'entrata in vigore del D.P.G.R. 53/R/2011, regolamento sulle indagini geologiche per gli strumenti urbanistici, la classificazione di fattibilità è stata adeguata alla suddetta normativa. Le indagini svolte, in rispetto alle direttive vigenti, evidenziano quanto segue.

**Classe F2 - Fattibilità con normali vincoli (geologica):** *Fattibilità con normali vincoli (F2): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.*

Nel caso specifico l'intervento prevede la ristrutturazione di parte dell'edificio esistente oltre che la realizzazione di un nuovo edificio, ottenuta dal recupero di volumetrie esistenti.

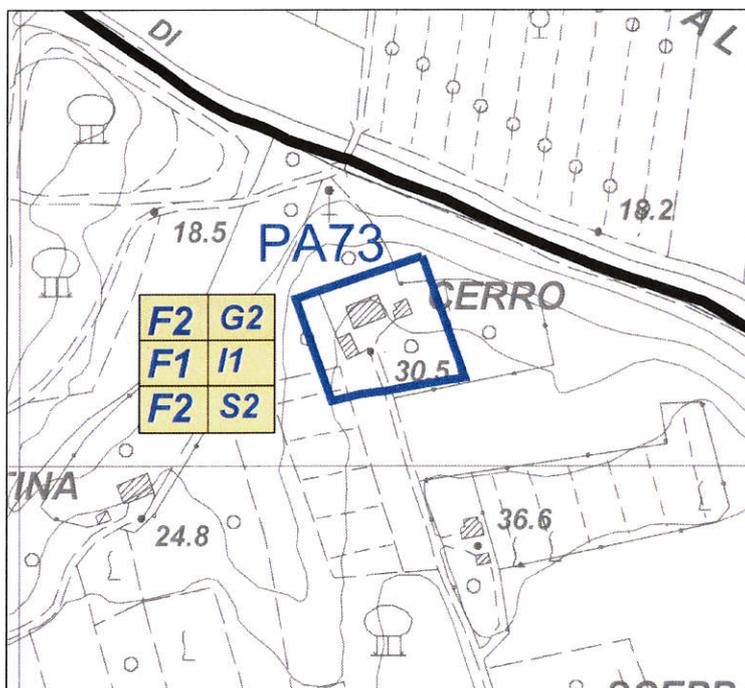
Pertanto in sede d'intervento dovranno essere svolti i necessari studi volti:

- alla valutazione degli Stati Ultimi in accordo al D.M. 14 gennaio 2008;
- all'eventuale calcolo del coefficiente di sottofondo per il dimensionamento delle solette di fondazione;
- alla definizione di quant'altro necessario per una sicura ed economica progettazione dell'intervento in ossequio a quanto richiesto dalle vigenti normative.

A livello progettuale particolare cura dovrà essere prestata nel mantenere efficiente tutta la rete di scoline in modo da garantire un rapido deflusso delle acque verso i ricettori naturali presenti verificando periodicamente il loro stato di manutenzione. Nel caso specifico è stato osservato, nel lato NE del lotto, un canale che convoglia le proprie acque verso il ricettore posto a valle. E' pertanto consigliabile realizzare una canaletta a tenuta così da indirizzare le acque intercettate dai manufatti esistenti verso l'impluvio esistente.

**Classe F1 - Fattibilità con normali vincoli (idraulica):** *si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.*

**Classe F2 - Fattibilità con normali vincoli (sismica):** *Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica media (S2) non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.*



#### CLASSI DI FATTIBILITA'

- (F1) Fattibilità senza particolari limitazioni :  
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
- (F2) Fattibilità con normali vincoli :  
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

#### 4 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Gli studi sono iniziati a partire dall'acquisizione del quadro diagnostico emergente dalle attività e dalle indagini pregresse svolte sull'area. Infatti la caratterizzazione e la modellazione geologica della zona consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e più in generale, di pericolosità del sito. In particolare sono stati reperiti degli studi geognostici eseguiti in prossimità sull'area che hanno permesso, in prima battuta, di definire il quadro generale della stessa.

Al fine di integrare i dati esistenti, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio dei terreni interessati ed effettuare una valutazione delle caratteristiche geotecniche degli stessi, è stato predisposto un programma d'indagini comprendente:

- N° 2 – prove penetrometriche statiche
- N°1 – profilo sismico con onde P e MASW

##### 4.1.- Penetrometrie statica

La prova è stata eseguita con penetrometro statico Pagani con punta conica meccanica tipo Begemann e centralina elettronica di rilevamento dati. I relativi diagrammi riportano, in funzione della profondità in metri sotto la superficie del terreno, le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta conica, rispettivamente di:

*R<sub>p</sub>*: resistenza alla punta (kg/cmq);  
*R<sub>f</sub>*: resistenza di attrito laterale locale (kg/cmq);  
*R<sub>p</sub>/R<sub>f</sub>*: rapporto Begemann;

vengono inoltre riportati:

- angolo di attrito interno ( $\varphi$ ), in gradi;  
- coesione non drenata ( $c_u$ ), in kg/cmq;  
- densità relativa (*D<sub>r</sub>*), in %;  
- coefficiente di compressibilità volumetrica (*mv*), in cmq/kg.

L'ubicazione dei punti di indagine geognostica è rappresentato nella Fig.5 mentre i diagrammi penetrometrici sono contenuti nell'allegato 1.

Sulla base dei dati ricavati dalle prove è stato possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica e i relativi parametri geotecnici.

Secondo quanto indicato dalla Circolare 2 febbraio 2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici è possibile assumere, come parametri “caratteristici”, i parametri “medi” derivanti dalle indagini geotecniche eseguite nel sito. I parametri di progetto derivano invece dall'applicazione dei coefficienti di riduzione parziali, previsti dal D.M. 14/01/08, che dovranno essere presi in considerazione nella relazione geotecnica.

Prova P1

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERI STICI	
da 0,00 m a 1,40 m Limo argilloso	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 0,40 Kg/cmq = 26° = 0,030 cmq/ kg
da 1,40 a 2,40 Argille limosa	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 0,95 Kg/cmq = 30° = 0,010 cmq/ kg
da 2,40 a 4,80 Argille limose addensate	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,80 t/mc = 2,50 Kg/cmq = 33° = 0,003 cmq/ kg
da 4,80 a 8,00 Limi sabbiosi	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 4,00 Kg/cmq = 36° = 0,002 cmq/ kg
da 8,00 a 10,00 Argille limosa	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 1,50 Kg/cmq = 31° = 0,005 cmq/ kg

Prova P2

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERI STICI	
da 0,00 m a 0,60 m Limo argilloso	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 0,40 Kg/cmq = 26° = 0,030 cmq/ kg
da 0,60 a 2,00 Argille limosa addensata	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 2,45 Kg/cmq = 33° = 0,004 cmq/ kg
da 2,00 a 5,60 Argille limose	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 2,00 Kg/cmq = 31° = 0,005 cmq/ kg
da 5,60 a 7,20 Limi sabbiosi	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 3,00 Kg/cmq = 34° = 0,003 cmq/ kg
da 7,20 a 10,00 Argille limosa	peso di volume, $\gamma$ coesione non drenata angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 1,90 Kg/cmq = 31° = 0,005 cmq/ kg

#### 4.2. – Prospezione sismica a rifrazione in onde P

L'indagine è stata eseguita dalla Società MTA srl di Lucca che ha utilizzato un array di 24 geofoni con un'interdistanza di 2 m, mentre come sorgente energizzante, è stata utilizzata una mazza da 8 kg.

La metodologia d'indagine ed i risultati della prospezione sismica sono contenuti nell'elaborato allegato 2.

Le caratteristiche sismostratigrafiche del sito sono state valutate mediante la realizzazione di uno stendimento sismico della lunghezza di 48 m. Lungo il profilo sono state eseguite 5 energizzazioni di cui due agli estremi (shot 1 e shot 5), tre intermedie (shot 2, 3 e 4).

L'analisi dei dati acquisiti indica che lo spessore dei materiali indagati è schematizzabile mediante un modello sismico a tre strati, le cui caratteristiche sono esposte di seguito:

- dal piano di campagna fino a profondità variabili da circa 0,70 m a 1,15 m è presente un primo sismostrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 195 e 308 m/s, litologicamente riferibili al terreno arenato;
- dalle quote suddette fino a profondità variabili da 6,60 m a 7,20 m è presente un secondo sismostrato con velocità di propagazione delle onde P comprese tra 730 m/s e 794 m/s, litologicamente riferibili ad argille limose mediamente consistenti;
- al di sotto è presente un terzo sismostrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P variabili tra 1.134 m/s e 1.208 m/s, litologicamente riferibili ad argille limose.

Le dromocrone dei tiri estremi (shot 1 e 5) mostrano la presenza di un quarto sismostrato, come risulta dal tiro esterno (shot 6) con velocità apparenti delle onde P di 1.870 m/s per lo shot 1 e di 1.580 m/s per lo shot 5. Tale sismostrato, non visibile sugli altri tiri, compare a profondità di 14,30 m sotto la verticale dello shot 1 e di 11,80 sotto lo shot 5.

#### 4.3 – Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche, su ciascuna costruzione, sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$  :

$$V_r = V_n C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d'uso.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_u$	0,7	1,0	1,5	2,0

## Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_n$  è intesa come il numero d'anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

	TIPI DI COSTRUZIONI	Vita nominale $V_n$ (anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

## Classi d'uso

Alla presenza d'azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

*Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*

*Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

*Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*

*Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica*

## **4.4 - categorie di suolo e condizioni topografiche**

In accordo alle NTC di cui al **DM 14 gennaio 2008**, funzione della **Circolare Ministeriale n. 617 del 2 febbraio 2009**, è stato eseguito, per la definizione della categoria di sottosuolo, un profilo sismico MASW (v. All.3). Infatti la tipologia di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta delle onde sismiche. Specificatamente l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente

$$S = S_s * S_t$$

che comprende gli effetti delle amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e topografica ( $S_t$ ):

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Lo studio ha permesso di terminare le velocità delle onde di taglio, entro i primi trenta metri di profondità; il valore ottenuto, pari a 445 m/s, ha consentito di attribuire, ai terreni, una categoria di suolo di tipo “**B**”. Sulla base delle considerazioni sopra esposte si possono riassumere, per l'intervento in oggetto, le seguenti caratteristiche generali:

<b>Vita nominale Vn fabbricati</b>	<b>50 anni</b>
<b>Classe d'uso</b>	<b>II</b>
<b>Coefficiente Cu</b>	<b>1,0</b>
<b>Periodo di riferimento Vr</b>	<b><math>\geq 50</math></b>
<b>Categoria del suolo</b>	<b>B</b>
<b>Condizione topografica</b>	<b>T2</b>

#### 4.5 – pericolosità sismica e parametri sismici

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi, dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali.

Il moto sismico alla superficie di un sito è definito mediante l'accelerazione massima ( $a_{max}$ ) attesa in superficie e da una forma spettrale, ancorata ad essa.

$$a_{max} = S_t * S_s * a_g$$

*S<sub>s</sub> coefficiente di amplificazione stratigrafica*

*S<sub>t</sub> il coefficiente di amplificazione topografica.*

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

La determinazione dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto, viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008) e tenendo conto dei parametri riportati precedentemente.

#### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

Muro rigido: 0

#### Sito in esame.

latitudine: 43,8093770186134

longitudine: 10,7438420495696

Classe: 2

Vita nominale: 50

#### Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19829 Lat: 43,8022 Lon: 10,7192 Distanza: 2131,790

Sito 2 ID: 19830 Lat: 43,8038 Lon: 10,7885 Distanza: 3634,154

Sito 3 ID: 19608 Lat: 43,8538 Lon: 10,7863 Distanza: 5997,588

Sito 4 ID: 19607 Lat: 43,8521 Lon: 10,7170 Distanza: 5219,131

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,044 g

Fo: 2,549

Tc\*: 0,242 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,054 g

Fo: 2,575

Tc\*: 0,256 [s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,128 g  
Fo: 2,382  
Tc\*: 0,292 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):  
Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,163 g  
Fo: 2,379  
Tc\*: 0,299 [s]

#### Coefficienti Sismici

##### SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,460  
St: 1,200  
Kh: 0,011  
Kv: 0,006  
Amax: 0,624  
Beta: 0,180

##### SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,440  
St: 1,200  
Kh: 0,014  
Kv: 0,007  
Amax: 0,758  
Beta: 0,180

##### SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,410  
St: 1,200  
Kh: 0,044  
Kv: 0,022  
Amax: 1,813  
Beta: 0,240

##### SLC:

Ss: 1,200  
Cc: 1,400  
St: 1,200  
Kh: 0,056  
Kv: 0,028  
Amax: 2,302  
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

## 5 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Ai sensi delle NTC (punto 7.11.3.4.2) la verifica a liquefazione 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 "free field") minori di 0,1g;
3. profondità della falda superiore a m 15 dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ( $N_{spt} > 60$ );
5. Distribuzione granulometrica esterna alle fasce granulometriche critiche in funzione del coefficiente di uniformità (U).

Il potenziale di liquefazione dei terreni sotto scuotimento sismico è un fenomeno che può verificarsi in terreni sabbiosi monogranulari sotto falda limitatamente ai primi 10÷15 m dalla superficie del terreno a causa della progressiva riduzione delle tensioni efficaci.

La verifica alla liquefazione può essere effettuata mediante metodi semplificati che si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; c'è 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 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  $V_s$ .

Nel nostro caso il metodo di calcolo utilizzato è quello di Andrus e Stokoe' è basato su dati provenienti da prove sismiche a rifrazione ( $V_s$ ).

La velocità delle onde di taglio viene corretta con la formula (Robertson et al., 1992):

$$(3.7) V_{s1} = V_s \left( \frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

La resistenza alla liquefazione è valutata mediante la formula di Andrus e Stokoe (1998):

$$(3.8) CRR = 0,03 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[ \frac{1}{(V_{s1})_{cs} - V_{s1}} - \frac{1}{(V_{s1})_{cs}} \right]$$

dove la presenza di fini FC (%) è tenuta in conto mediante la seguente procedura:

$$\begin{array}{ll}
 (V_{S1})_{CS} = 220 & \text{per } FC \leq 5\% \\
 220 < (V_{S1})_{CS} \leq 200 & \text{per } 5\% < FC \leq 35\% \\
 (V_{S1})_{CS} = 200 & \text{per } FC > 35\%
 \end{array}$$

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** viene valutato come raccomandato dal NCEER (Tabella 1), il fattore di sicurezza alla liquefazione con la (1.0), mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono valutati con il metodo di Iwasaki et alii.

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'**Eurocodice 8 (ENV 1998-5)**.

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando  $a_g < 0,15$  e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità  $> 10$ ;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza  $N_{1,60} > 20$
- frazione fine trascurabile e resistenza  $N_{1,60} > 25$

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$(3.9) \text{ CSR} = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{\text{MSF}}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Tabella 3

<b>Categori a suolo</b>	<b>Spettri di Tipo 1 S (M &gt; 5,5)</b>	<b>Spettri di Tipo 2 S (M ≤ 5,5)</b>
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys (Tabella 1).

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

$$(4.0) CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove  $(N_{1,60})_{cs}$  viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(4.1) (N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove  $N_{1,60}$  è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice  $N_m$  (ridotti del 25% per profondità  $< 3$  m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$(4.2a) N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$(4.2b) C_N = \left( \frac{100}{\sigma_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$(4.2c) C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (Tabella 4).

Tabella 4

Attrezzatura	$C_E$
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati  $q_c$  devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la (3.0). Per poter tenere conto della eventuale presenza di fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride. Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$(4.3) \frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato  $(N_{1,60})_{cs}$  dalla (4.2a), si utilizza la (4.0) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche di rifrazione, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la (3.7) e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe (3.8):

## CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

### Metodo di Andrus e Stokoe (1997)

#### Dati generali

Numero di strati = 4  
 Profondità della falda = 2 m  
 Magnitudo del sisma = 6  
 Accelerazione massima al suolo = 0,15

Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)	D50 dei granuli (mm)	Resistenza $q_c$ (KPa)	Resistenza all'attrito laterale $f_s$ (KPa)	Velocità $V_s$ (m/s)
1		0	0.5	19	20	0	0	0	0	162
2		0.5	7.1	19	20	0	0	0	0	397
3		7.1	10.2	19	20	0	0	0	0	549
4		10.2	14.3	19	20	0	0	0	0	262

#### Risultati

Correzione per la magnitudo (MSF) = 1,77

Verifica Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica a totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Velocità normalizzata $V_{s1}$ (m/s)	Valore critico di $V_{s1}$ (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	2,20	42,00	40,04	499,08	220,00	0,98	0,74	0,06	13,02	NL	0,00	Molto basso
2	2,40	46,00	42,08	492,92	220,00	0,98	0,72	0,06	12,20	NL	0,00	Molto basso
3	2,60	50,00	44,12	487,13	220,00	0,98	0,70	0,06	11,51	NL	0,00	Molto basso
4	2,80	54,00	46,15	481,66	220,00	0,98	0,69	0,06	10,91	NL	0,00	Molto basso
5	3,00	58,00	48,19	476,48	220,00	0,98	0,67	0,06	10,40	NL	0,00	Molto basso
6	3,20	62,00	50,23	471,57	220,00	0,98	0,66	0,07	9,94	NL	0,00	Molto basso

7	3,40	66,00	52,27	466,90	220,00	0,97	0,65	0,07	9,54	NL	0.00	basso
8	3,60	70,00	54,31	462,46	220,00	0,97	0,63	0,07	9,18	NL	0.00	Molto basso
9	3,80	74,00	56,35	458,22	220,00	0,97	0,62	0,07	8,86	NL	0.00	Molto basso
10	4,00	78,00	58,39	454,16	220,00	0,97	0,61	0,07	8,56	NL	0.00	Molto basso
11	4,20	82,00	60,43	450,28	220,00	0,97	0,60	0,07	8,30	NL	0.00	Molto basso
12	4,40	86,00	62,46	446,56	220,00	0,97	0,59	0,07	8,05	NL	0.00	Molto basso
13	4,60	90,00	64,50	442,99	220,00	0,96	0,58	0,07	7,83	NL	0.00	Molto basso
14	4,80	94,00	66,54	439,56	220,00	0,96	0,57	0,07	7,62	NL	0.00	Molto basso
15	5,00	98,00	68,58	436,26	220,00	0,96	0,56	0,08	7,43	NL	0.00	Molto basso
16	5,20	102,00	70,62	433,07	220,00	0,96	0,55	0,08	7,26	NL	0.00	Molto basso
17	5,40	106,00	72,66	430,00	220,00	0,96	0,55	0,08	7,09	NL	0.00	Molto basso
18	5,60	110,00	74,70	427,04	220,00	0,96	0,54	0,08	6,94	NL	0.00	Molto basso
19	5,80	114,00	76,73	424,17	220,00	0,96	0,53	0,08	6,79	NL	0.00	Molto basso
20	6,00	118,00	78,77	421,40	220,00	0,95	0,52	0,08	6,66	NL	0.00	Molto basso
21	6,20	122,00	80,81	418,72	220,00	0,95	0,52	0,08	6,53	NL	0.00	Molto basso
22	6,40	126,00	82,85	416,12	220,00	0,95	0,51	0,08	6,41	NL	0.00	Molto basso
23	6,60	130,00	84,89	413,60	220,00	0,95	0,50	0,08	6,30	NL	0.00	Molto basso
24	6,80	134,00	86,93	411,15	220,00	0,95	0,50	0,08	6,19	NL	0.00	Molto basso
25	7,00	138,00	88,97	408,77	220,00	0,95	0,49	0,08	6,09	NL	0.00	Molto basso
26	7,20	142,00	91,01	562,09	220,00	0,94	0,94	0,08	11,59	NL	0.00	Molto basso
27	7,40	146,00	93,04	558,99	220,00	0,94	0,93	0,08	11,41	NL	0.00	Molto basso
28	7,60	150,00	95,08	555,96	220,00	0,94	0,92	0,08	11,25	NL	0.00	Molto basso
29	7,80	154,00	97,12	553,02	220,00	0,94	0,91	0,08	11,09	NL	0.00	Molto basso
30	8,00	158,00	99,16	550,16	220,00	0,94	0,90	0,08	10,94	NL	0.00	Molto basso
31	8,20	162,00	101,20	547,37	220,00	0,94	0,89	0,08	10,79	NL	0.00	Molto basso
32	8,40	166,00	103,24	544,64	220,00	0,94	0,88	0,08	10,65	NL	0.00	Molto basso
33	8,60	170,00	105,28	541,99	220,00	0,93	0,87	0,08	10,52	NL	0.00	Molto basso
34	8,80	174,00	107,31	539,40	220,00	0,93	0,87	0,08	10,39	NL	0.00	Molto basso
35	9,00	178,00	109,35	536,86	220,00	0,93	0,86	0,08	10,27	NL	0.00	Molto basso
36	9,20	182,00	111,39	534,39	220,00	0,93	0,85	0,08	10,17	NL	0.00	Molto basso
37	9,40	186,00	113,43	531,97	220,00	0,92	0,84	0,08	10,10	NL	0.00	Molto basso
38	9,60	190,00	115,47	529,61	220,00	0,92	0,83	0,08	10,03	NL	0.00	Molto basso

39	9,80	194,00	117,51	527,30	220,00	0,91	0,83	0,08	9,97	NL	0.00	Molto basso
40	10,00	198,00	119,55	525,03	220,00	0,91	0,82	0,08	9,91	NL	0.00	Molto basso
41	10,20	202,00	121,59	522,82	220,00	0,90	0,81	0,08	9,85	NL	0.00	Molto basso
42	10,40	206,00	123,62	248,47	220,00	0,90	0,15	0,08	1,82	NL	0.00	Molto basso
43	10,60	210,00	125,66	247,46	220,00	0,89	0,15	0,08	1,79	NL	0.00	Molto basso
44	10,80	214,00	127,70	246,46	220,00	0,89	0,14	0,08	1,76	NL	0.00	Molto basso
45	11,00	218,00	129,74	245,49	220,00	0,88	0,14	0,08	1,74	NL	0.00	Molto basso
46	11,20	222,00	131,78	244,53	220,00	0,87	0,14	0,08	1,71	NL	0.00	Molto basso
47	11,40	226,00	133,82	243,60	220,00	0,87	0,14	0,08	1,68	NL	0.00	Molto basso
48	11,60	230,00	135,86	242,68	220,00	0,86	0,13	0,08	1,65	NL	0.00	Molto basso
49	11,80	234,00	137,89	241,78	220,00	0,86	0,13	0,08	1,62	NL	0.00	Molto basso
50	12,00	238,00	139,93	240,89	220,00	0,85	0,13	0,08	1,59	NL	0.00	Molto basso
51	12,20	242,00	141,97	240,02	220,00	0,85	0,12	0,08	1,55	NL	0.00	Molto basso
52	12,40	246,00	144,01	239,17	220,00	0,84	0,12	0,08	1,52	NL	0.00	Molto basso
53	12,60	250,00	146,05	238,33	220,00	0,84	0,12	0,08	1,48	NL	0.00	Molto basso
54	12,80	254,00	148,09	237,50	220,00	0,83	0,11	0,08	1,45	NL	0.00	Molto basso
55	13,00	258,00	150,13	236,69	220,00	0,83	0,11	0,08	1,41	NL	0.00	Molto basso
56	13,20	262,00	152,17	235,90	220,00	0,82	0,11	0,08	1,36	NL	0.00	Molto basso
57	13,40	266,00	154,20	235,11	220,00	0,82	0,10	0,08	1,32	NL	0.00	Molto basso
58	13,60	270,00	156,24	234,34	220,00	0,81	0,10	0,08	1,27	NL	0.00	Molto basso
59	13,80	274,00	158,28	233,58	220,00	0,81	0,09	0,08	1,22	NL	0.00	Molto basso
60	14,00	278,00	160,32	232,84	220,00	0,80	0,09	0,08	1,16	NL	0.00	Molto basso
61	14,20	282,00	162,36	232,10	220,00	0,79	0,08	0,08	1,09	NL	0.00	Molto basso

## 6 - CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLO SMALTIMENTO REFLUI

In relazione ai dati geologici, idrogeologici e piezometrici raccolti, e facendo riferimento alle normative relative alla tutela delle acque dall'inquinamento per quanto concerne lo smaltimento dei reflui civili provenienti dai fabbricati in esame, si puntualizza quanto segue:

- \* l'area di studio si colloca in zona pianeggiante;
- \* i dati rilevati nel corso della presente indagine idrogeologica evidenziano che i terreni di previsto smaltimento di reflui civili sono costituiti da depositi limoso-argillosi dotati di bassa permeabilità;

- \* il livello piezometrico, relativo a misure periodiche effettuate su pozzi esistenti in zona, si attesta, nei momenti di massima ricarica, ad una quota di circa 4,00 m dal p.c.;
- \* il sistema di smaltimento sarà utilizzato da 16 A.E., suddivisi in tre unità abitative.;

Pertanto in considerazione di quanto esposto e al particolare contesto di vulnerabilità dell'area, la soluzione ottimale per lo smaltimento dei reflui civili, dopo chiarificazione in **Degrassatore** e **Vasca tricamerale** e la successiva **Fossa Imhoff** risulta essere mediante installazione di un sistema di trattamento biologico basato sulla fitodepurazione (v. Fig 5).

Il sistema primario sarà caratterizzato dalla presenza, per ogni unità abitativa, di un degrassatore che avrà un volume pari a circa 0,25 mc. Successivamente il sistema sarà caratterizzato da una unica **Vasca tricamerale** il cui volume interno utile complessivo delle tre fosse settiche non potrà mai in alcun caso avere capacità complessiva inferiore ad un minimo assoluto di mc 6,00.

Gli effluenti provenienti da tale impianto saranno convogliati in una **fossa Imhoff** comune la cui capacità complessiva sarà pari a 16 A.E..

Tutte le vasche suddette dovranno essere poste ad una distanza di almeno 1 metro dai muri di fondazione, 2 metri dai confini di proprietà e non meno di 10 metri da qualunque pozzo o condotta destinata ad acqua potabile.

L'effluente proveniente dalla Fossa Imhoff sarà poi indirizzato verso il sistema di fitodepurazione. In particolare, in relazione al numero complessivo di utenti previsti max 16 A.E., è stato proposto un sistema a flusso sub-superficiale in configurazione orizzontale (S.S.F. – H) che garantisca il trattamento e la rimozione delle sostanze azotate oltre ad un abbattimento della carica batterica.

Un impianto di fitodepurazione può essere definito come un'area verde creata artificialmente in cui vengono convogliate le acque da depurare. Tali acque riducono il loro carico inquinante grazie all'azione svolta da una complessa struttura in cui sono coinvolti il substrato, la vegetazione e i microrganismi aerobi e anaerobi presenti nel terreno e sull'apparato radicale.

L'impiego di questo metodo di depurazione è in accordo con le indicazioni della L. 319/76 di cui alle norme tecniche della Delibera del Comitato dei Ministri del 4.02.1977, per la tutela delle acque dall'inquinamento ed è incentivato e dal Decreto Legislativo n° 152/2006 e succ. mod.

L'adozione di impianti di fitodepurazione valorizza al massimo il ruolo ecologico del territorio e rappresenta una ottimizzazione nella gestione del refluo in termini di economicità, di manutenzione e di inserimento ambientale. Difatti il sistema presenta vantaggi rispetto ai tradizionali metodi di depurazione in quanto crea uno spazio verde, è efficace durante tutto il corso dell'anno, presenta vantaggi economici nell'esecuzione e soprattutto nella gestione.

## 6.1 - Descrizione dell'impianto

La rimozione del carico inquinante avviene, come già accennato, attraverso complessi processi chimici e biologici operati dalle essenze vegetali collocate in una vasca impermeabile riempita di inerti di granulometria eterogenea (ghiaia, sabbia, terriccio).

In tale impianto il materiale di crescita costituisce un filtro meccanico e, insieme all'apparato radicale delle piante, rappresenta l'ambiente idoneo per l'adesione della pellicola biologica (batteri, funghi, protozoi, piccoli metazoi).

L'impianto di fitodepurazione in esame è composto dai seguenti elementi:

- un sistema di collegamento tra il trattamento primario (vasche settiche e degrassatore) e la zona di depurazione (pozzetti di immissione);
- un reattore biologico costituito da una vasca impermeabilizzata e riempita con un mezzo poroso di granulometria eterogenea (ghiaia, sabbia,) in cui il refluo defluisce mediante tubazioni di dispersione e nella cui parte più superficiale sono collocate le essenze vegetali;
- un sistema di collegamento con il corpo idrico recettore dell'effluente depurato (pozzetti di uscita e tubazioni).

Le essenze vegetali utilizzate sono state scelte in base alle caratteristiche e alle condizioni climatico-ambientali del sito d'imposta dell'impianto. Sono state tuttavia preferite specie con elevato potere depurante e buona capacità di vivere in condizioni ambientali estreme.

Nel caso in esame verranno utilizzate una associazione di specie igrofile elofite in modo da garantire un'ampia rimozione del carico inquinante e allo stesso tempo realizzare un opportuno inserimento dell'impianto nel contesto locale.

## 6.2 - Schema costruttivo dell'impianto

L'impianto in esame è stato dimensionato in funzione del carico inquinante prodotto per **numero complessivo nel tempo di 16 abitanti equivalenti (AE)**. Definendo "abitante equivalente" il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni ( BOD ) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno, o una richiesta chimica di ossigeno di 130 grammi al giorno ( COD ) od un volume di scarico di 200 litri per a.e. per giorno.

Gli elementi fondamentali che costituiscono il trattamento secondario mediante impianto di fitodepurazione ed i relativi dimensionamenti, riportati nella figura 5, sono:

- pozzetto di raccolta dei flussi provenienti dal sistema di trattamento primario di ispezione e di controllo del livello in entrata all'impianto;

- vasca a flusso sub-superficiale orizzontale: contenitore impermeabile del letto vegetazionale riempita con materiale drenante e ricoperta di terreno vegetale (guaina impermeabile in HDPE)
- pozzetto finale di raccolta dell'effluente depurato;
- tubazioni a tenuta di raccordo con il reticolo idrografico minore esistente

Il dimensionamento dell'impianto è funzione di molti fattori tra cui area superficiale, portata giornaliera, temperatura, temperatura del liquame, porosità del mezzo utilizzato, altezza del mezzo e della sezione trasversale, capacità di riduzione del BOD5, permeabilità e gradiente idraulico. In tal senso per la superficie della vasca è stato proposto il seguente dimensionamento (v. fig 5)

**Vasca di fitodepurazione a flusso orizzontale  
5,00m X 10,00 m = 50,00 mq, prof. h=0.8m**

(paria 3,13 mq per AE in accordo con quanto indicato nelle "Linee guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili" redatta dall' APAT.)

Le essenze previste sono macrofite palustri in associazione polispecifica, che mostrano affinità agli ambienti umidi e alle sostanze organiche, ma che, una volta attivato il sistema, tollerano bene anche periodi di siccità (nel caso di inutilizzo temporaneo dell'impianto). L'associazione di più essenze garantisce inoltre una più ampia rimozione del carico inquinante e allo stesso tempo permette di realizzare una "macchia mista" di verde che si inserisce piacevolmente nel contesto ambientale del luogo.

A seguito del sopralluogo effettuato sul sito in relazione alla vegetazione presente nell'ambiente ed alle condizioni di esposizione climatica è stato previsto di utilizzare le essenze che meglio si adattano alle condizioni locali: Cannuccia di palude (*Phragmites australis*) Giunco (*Juncus* sp.) e giunco fiorito Iris bianco e giallo

### **6.3 - Modalità di gestione**

Gli impianti di fitodepurazione hanno una gestione semplice che non richiede un impegno continuo né manodopera specializzata, anche se necessitano di una certa attenzione in quanto sono ecosistemi dinamici.

Per il buon funzionamento dell'impianto è necessario garantire il corretto funzionamento del sistema primario, pertanto si sottolinea l'importanza di provvedere allo spurgo periodico del materiale sedimentato nelle vasche settiche come previsto dalle normative vigenti.

Per quanto concerne le essenze vegetali è bene ricordare che durante il primo anno, esse hanno bisogno di una semplice gestione ovvero in periodi particolarmente siccitosi è necessario ricorrere ad irrigazione, qualora l'utilizzo degli scarichi risulti non sufficiente e le essenze manifestino sofferenza idrica.

Per mantenere in efficienza l'impianto di fitodepurazione negli anni successivi, sarà sufficiente una semplice manutenzione operando opportune potature ed eventuali diradamenti o reinserimenti delle piante.

L'eventuale effluente della vasca potrà essere indirizzato verso la canaletta posta immediatamente a NW del lotto.

L'impianto di fitodepurazione dovrà distare almeno 6,00 mt. dai muri di fondazione e mt. 2,00 dai confini di proprietà.

## 7.-CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'intervento prevede la ristrutturazione di parte dell'edificato esistente oltre che la realizzazione di un nuovo edificio, ottenuto dal recupero di volumetrie esistenti.

In fase esecutiva saranno pertanto eseguiti solo scavi relativi alle opere fondali superficiali. Il materiale di risulta sarà impiegato sul posto senza alterare significativamente la morfologia locale. L'intervento dovrà comunque prevedere il costipamento del materiale e l'inerbimento del terreno evitando il verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

Gli interventi non apporteranno, sull'area in esame, significativi incrementi dei carichi di esercizio; infatti il nuovo edificio sarà realizzato previa demolizione di manufatti esistenti. Inoltre il complesso immobiliare è collocato in corrispondenza di una ampia spianata morfologica stabile per la quale non è necessario effettuare verifiche di stabilità complessive di versante; in altre parole il lotto risulta pianeggiante.

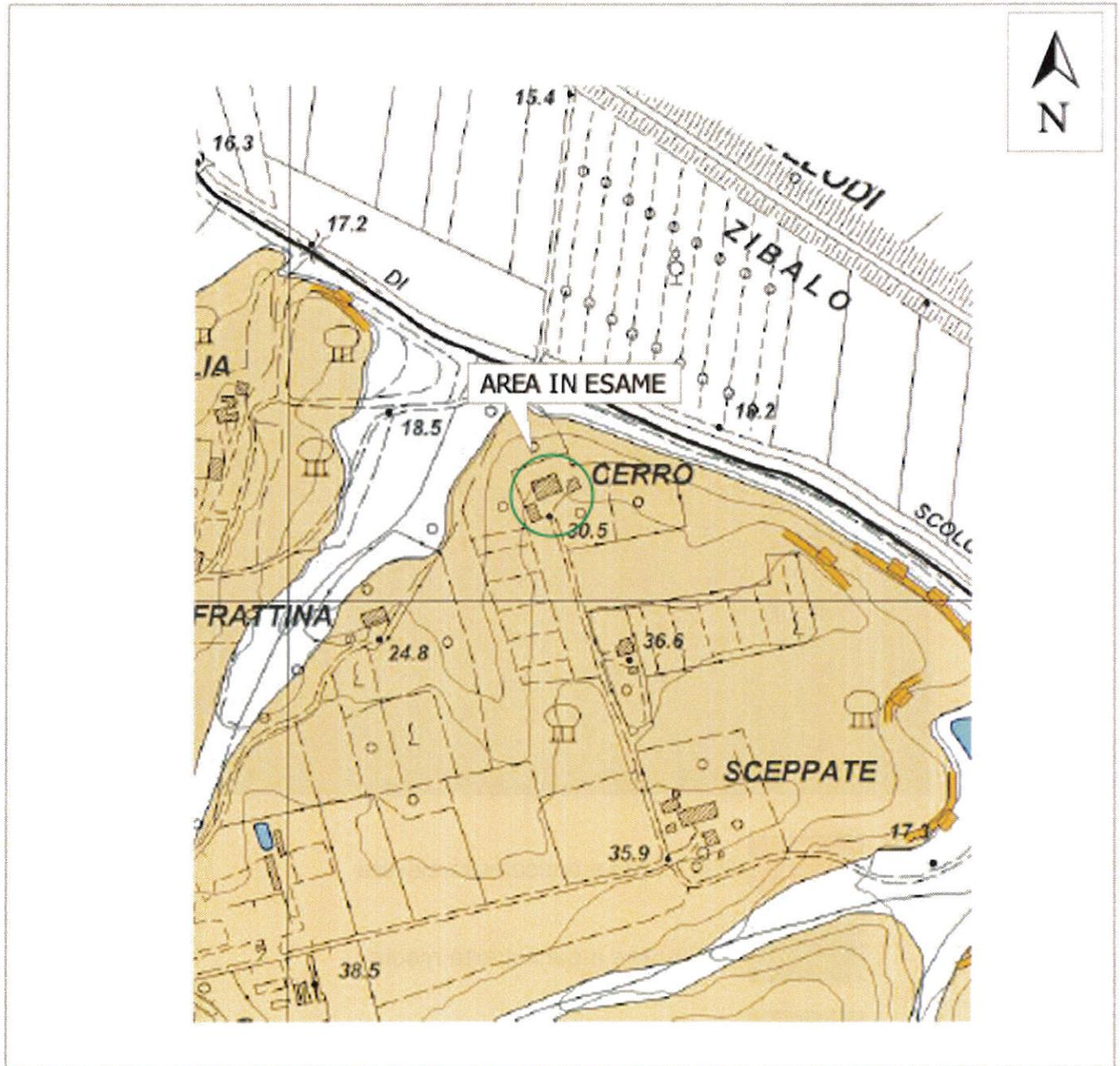
A livello progettuale particolare cura invece si dovrà essere prestata nel mantenere efficiente tutta la rete di scoline in modo da garantire un rapido deflusso delle acque verso i ricettori naturali presenti verificando periodicamente il loro stato di manutenzione. Nel caso specifico è stato osservato, a NE del lotto, un canale che convoglia le proprie acque verso il ricettore posto a valle. E' pertanto consigliabile realizzare una canaletta a tenuta (larghezza e profondità circa 30 cm – v. fig. 6) verso la quale indirizzare le acque intercettate dai manufatti e da qui verso l'impluvio esistente.

Sulla base degli studi eseguiti è possibile asserire che gli interventi previsti non comporteranno variazioni sostanziali dello stato dei luoghi tali da alterare la stabilità del versante e/o alterare la circolazione idrica superficiale e profonda.

Lucca, 28 ottobre 2015



FIG. 1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

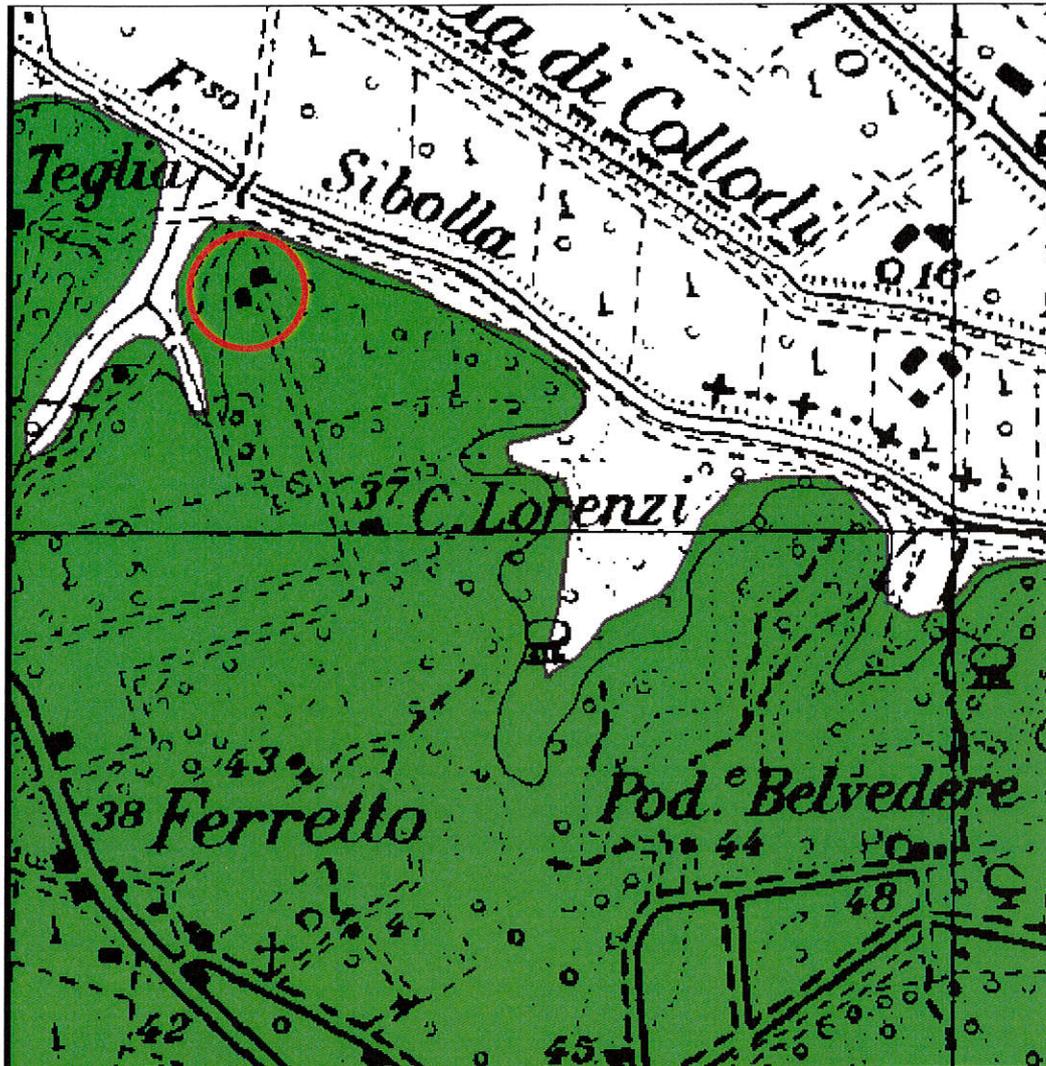


**Depositi alluvionali del Bacino Cerbaie-Altopascio (Pleistocene medio)**



Sabbie e conglomerati, debolmente cementati, a cui si intercalano sottili e discontinui intervalli di argille grigie. Ambiente fluvio-lacustre

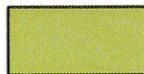
FIG. 2 – PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO



P.F.3 Aree a pericolosità elevata



P.F.2 Aree a pericolosità media

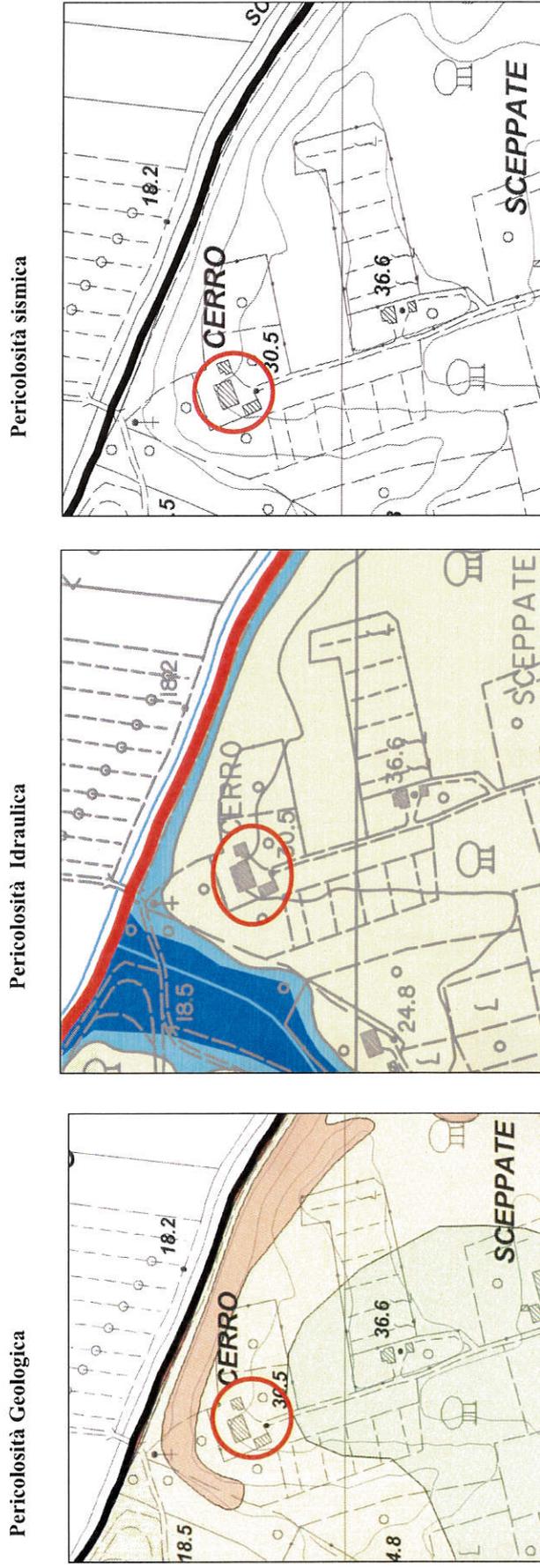


P.F.1 Aree a pericolosità moderata



Area in esame

FIG.3 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA



G.2 - Pericolosità Geologica Media

Aree con elementi geomorfologici, litologici e giacimentali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.



FIG. 4 - PLANIMETRIA STATO ATTUALE E MODIFICATO

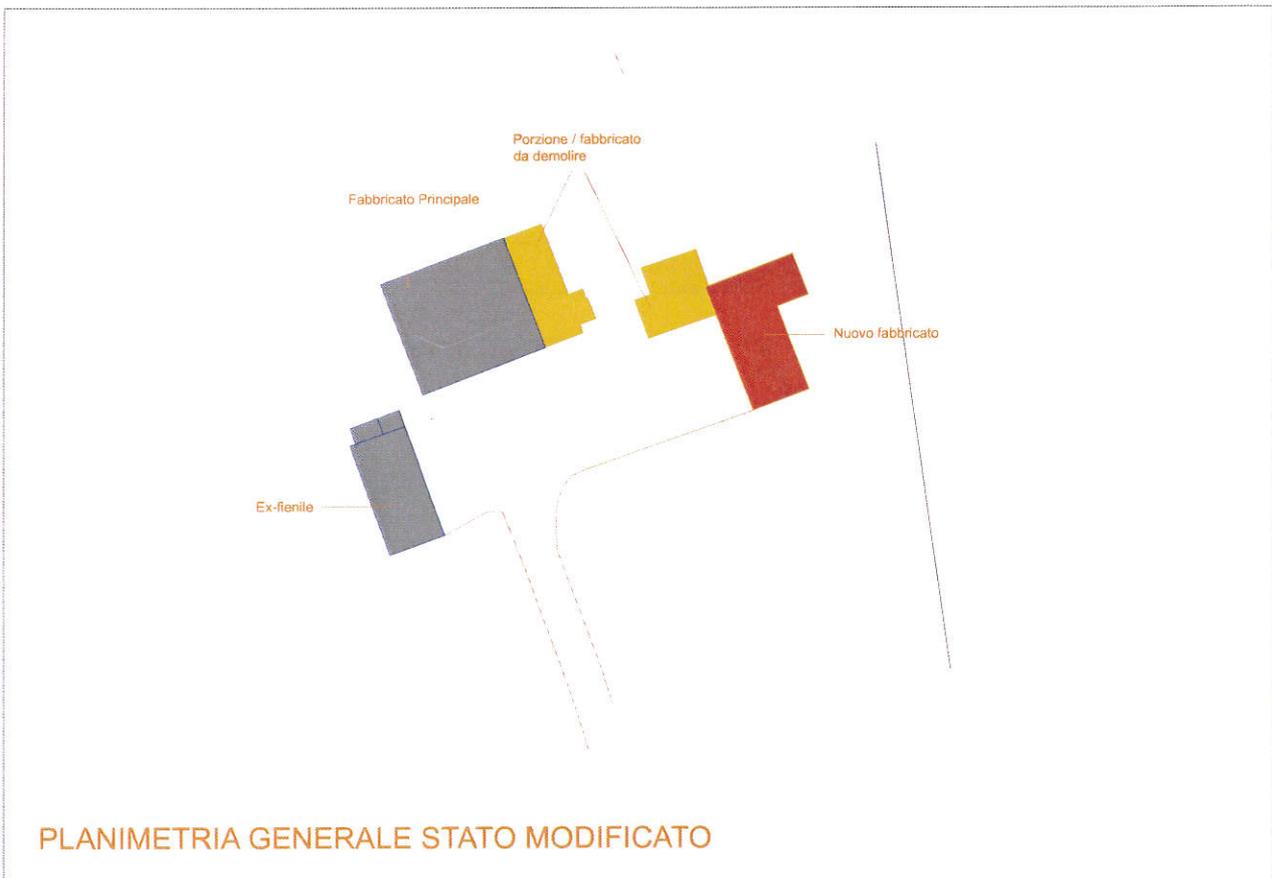
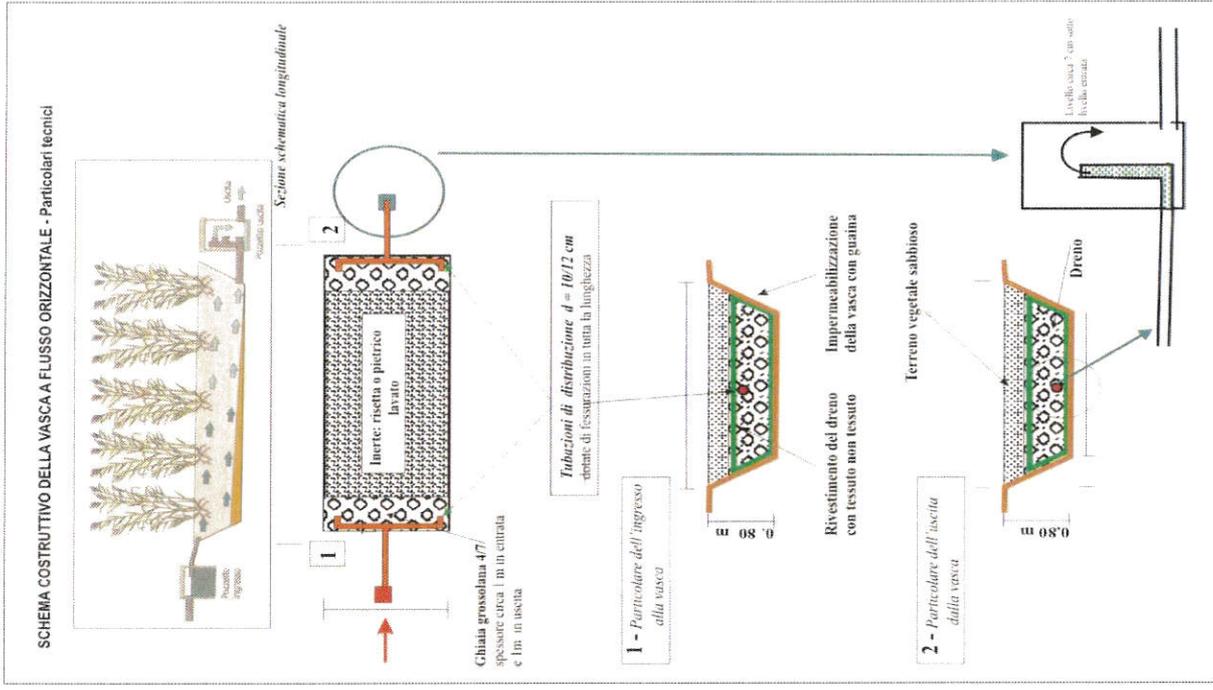
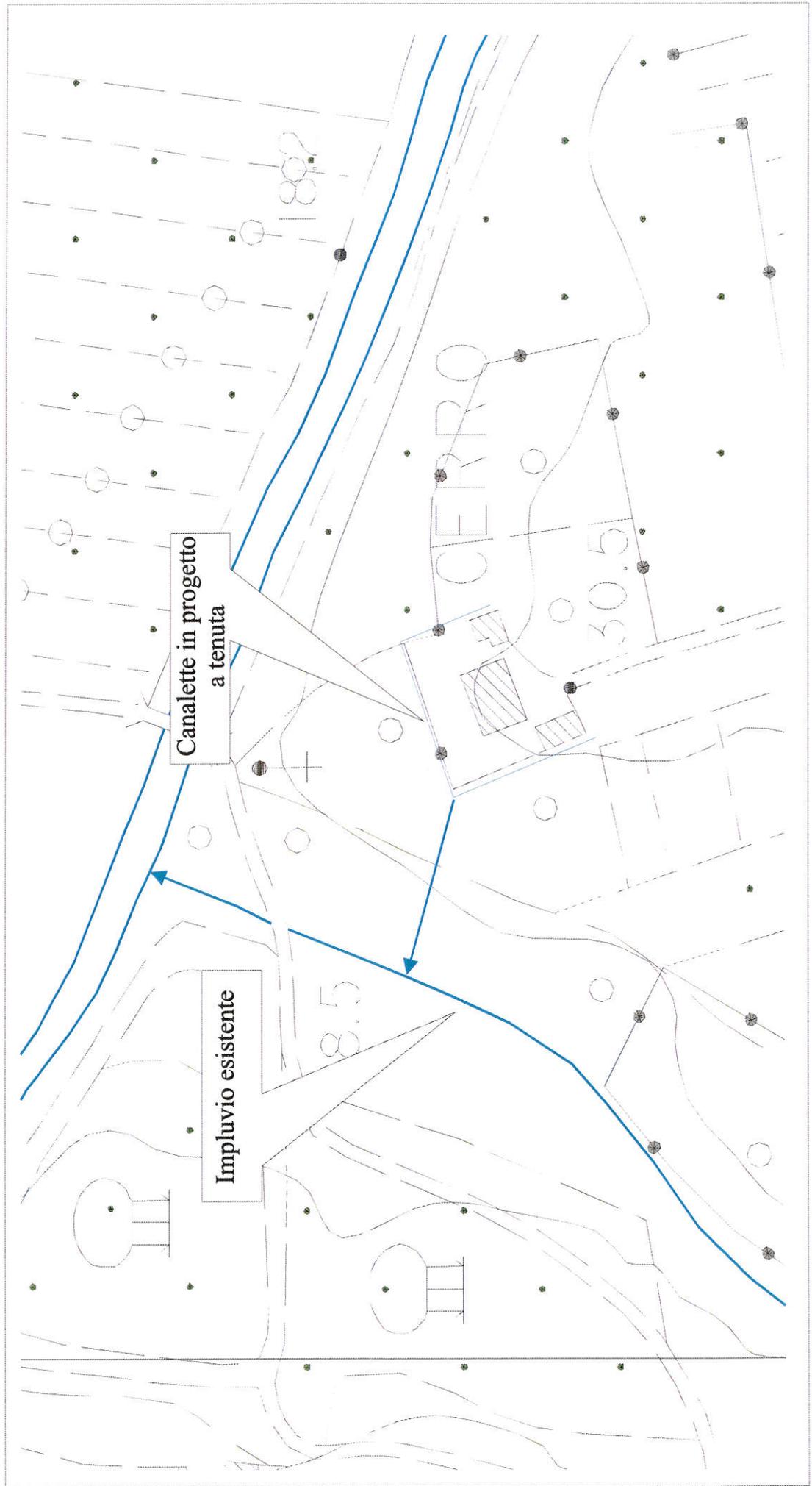


FIG. 5 - PIANTE E SEZIONE SCHEMATICA DELL'IMPIANTO DI SMALTIMENTO REFLUI



SCHEMA COSTRUTTIVO DELLA VASCA A FLUSSO ORIZZONTALE - Particolari tecnici

FIG. 6 - RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE E DI PROGETTO



Geognostica

Monitoraggio  
idrogeologico



Geofisica

Indagini  
ambientali

**Richiedente: Dott. Geol. Simone Stefani**

**località d'indagine: Fucecchio (FI)**

**data: 17 / 04 / 2013**



CPT1



CPT2

indagine: 2 CPT

strumentazione: Pagani 63/200

software di elaborazione: WinCPT2

per la geoLUK s.r.l.,

l'Amministratore

  
**geoLUK s.r.l.**  
GEOGNOSTICA E GEOFISICA  
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede operativa: Via San Marco, 224 - 55100 Lucca - sede legale: Via Nerici, 176 55100 Lucca  
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465  
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.  
tel 393 9371580 - fax 0583 956364 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com)

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

### PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha= 60^\circ$  -( area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat.  $A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta)  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- $L_1$ . punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- $L_2$ . totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- $L_t$ . aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ), corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$  .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

$$1 \text{ kN ( kiloNewton )} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN ( megaNewton )} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa ( kiloPascal )} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa ( MegaPascal )} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (qc / fs)$

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

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

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

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

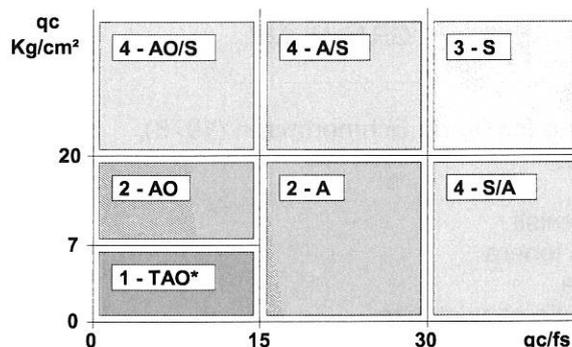
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI anche se  $( qc / fs ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = indice plastico]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  - qc - natura]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\phi'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\phi'$  -  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$ ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\phi'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme  $\phi'_{2s}$  - sabbia media uniforme/ fine ben gradata  
 $\phi'_{3s}$  - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata  
 $\phi'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto unorme
- $\phi'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.  $\phi'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- $A_{max}$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
(  $g$  = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni :  $(A_{max}/g)$  -  $D_r$ ]

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :  
- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013  
- note : falda -5.4m; foro franato -5.7m

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	10,0	---	10,0	0,67	15,0	5,20	195,0	287,0	195,0	7,93	25,0
0,40	9,0	19,0	9,0	0,53	17,0	5,40	164,0	283,0	164,0	6,73	24,0
0,60	7,0	15,0	7,0	0,33	21,0	5,60	176,0	277,0	176,0	6,00	29,0
0,80	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0	5,80	184,0	274,0	184,0	2,20	84,0
<b>1,00</b>	3,0	8,0	3,0	0,20	15,0	<b>6,00</b>	278,0	311,0	278,0	5,33	52,0
1,20	10,0	13,0	10,0	0,60	17,0	6,20	245,0	325,0	245,0	3,73	66,0
1,40	10,0	19,0	10,0	0,27	37,0	6,40	232,0	288,0	232,0	6,60	35,0
1,60	33,0	37,0	33,0	1,40	24,0	6,60	166,0	265,0	166,0	3,13	53,0
1,80	37,0	58,0	37,0	1,27	29,0	6,80	278,0	325,0	278,0	8,60	32,0
<b>2,00</b>	52,0	71,0	52,0	1,67	31,0	<b>7,00</b>	234,0	363,0	234,0	3,60	65,0
2,20	46,0	71,0	46,0	2,40	19,0	7,20	148,0	202,0	148,0	4,87	30,0
2,40	44,0	80,0	44,0	2,67	16,0	7,40	135,0	208,0	135,0	3,47	39,0
2,60	76,0	116,0	76,0	3,60	21,0	7,60	134,0	186,0	134,0	3,27	41,0
2,80	136,0	190,0	136,0	3,53	38,0	7,80	196,0	245,0	196,0	4,07	48,0
<b>3,00</b>	127,0	180,0	127,0	8,67	15,0	<b>8,00</b>	132,0	193,0	132,0	5,60	24,0
3,20	82,0	212,0	82,0	3,93	21,0	8,20	67,0	151,0	67,0	2,33	29,0
3,40	95,0	154,0	95,0	3,47	27,0	8,40	52,0	87,0	52,0	2,67	19,0
3,60	109,0	161,0	109,0	5,53	20,0	8,60	26,0	66,0	26,0	1,60	16,0
3,80	83,0	166,0	83,0	3,93	21,0	8,80	32,0	56,0	32,0	1,47	22,0
<b>4,00</b>	136,0	195,0	136,0	6,33	21,0	<b>9,00</b>	55,0	77,0	55,0	2,27	24,0
4,20	117,0	212,0	117,0	3,80	31,0	9,20	75,0	109,0	75,0	2,87	26,0
4,40	135,0	192,0	135,0	5,20	26,0	9,40	75,0	118,0	75,0	3,33	23,0
4,60	184,0	262,0	184,0	9,40	20,0	9,60	71,0	121,0	71,0	4,13	17,0
4,80	124,0	265,0	124,0	5,33	23,0	9,80	74,0	136,0	74,0	3,73	20,0
<b>5,00</b>	198,0	278,0	198,0	6,13	32,0	<b>10,00</b>	68,0	124,0	68,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 2**

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :

- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013

- note : falda -6.4m; foro franato -6.6m

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	5,0	---	5,0	0,53	9,0	5,20	51,0	94,0	51,0	1,53	33,0
0,40	7,0	15,0	7,0	0,87	8,0	5,40	82,0	105,0	82,0	3,33	25,0
0,60	12,0	25,0	12,0	1,20	10,0	5,60	59,0	109,0	59,0	2,73	22,0
0,80	46,0	64,0	46,0	1,93	24,0	5,80	103,0	144,0	103,0	3,07	34,0
<b>1,00</b>	36,0	65,0	36,0	1,87	19,0	<b>6,00</b>	52,0	98,0	52,0	2,33	22,0
1,20	82,0	110,0	82,0	4,20	20,0	6,20	107,0	142,0	107,0	2,80	38,0
1,40	84,0	147,0	84,0	3,80	22,0	6,40	76,0	118,0	76,0	3,40	22,0
1,60	97,0	154,0	97,0	7,60	13,0	6,60	118,0	169,0	118,0	3,80	31,0
1,80	105,0	219,0	105,0	3,93	27,0	6,80	159,0	216,0	159,0	3,60	44,0
<b>2,00</b>	100,0	159,0	100,0	5,33	19,0	<b>7,00</b>	136,0	190,0	136,0	2,53	54,0
2,20	45,0	125,0	45,0	4,47	10,0	7,20	205,0	243,0	205,0	7,07	29,0
2,40	43,0	110,0	43,0	1,80	24,0	7,40	39,0	145,0	39,0	1,47	27,0
2,60	45,0	72,0	45,0	1,73	26,0	7,60	42,0	64,0	42,0	1,40	30,0
2,80	106,0	132,0	106,0	4,93	21,0	7,80	46,0	67,0	46,0	2,07	22,0
<b>3,00</b>	70,0	144,0	70,0	5,07	14,0	<b>8,00</b>	68,0	99,0	68,0	2,27	30,0
3,20	93,0	169,0	93,0	5,60	17,0	8,20	87,0	121,0	87,0	3,60	24,0
3,40	79,0	163,0	79,0	4,53	17,0	8,40	73,0	127,0	73,0	3,67	20,0
3,60	56,0	124,0	56,0	2,13	26,0	8,60	58,0	113,0	58,0	3,80	15,0
3,80	42,0	74,0	42,0	0,87	48,0	8,80	62,0	119,0	62,0	3,53	18,0
<b>4,00</b>	59,0	72,0	59,0	2,80	21,0	<b>9,00</b>	66,0	119,0	66,0	3,33	20,0
4,20	49,0	91,0	49,0	3,07	16,0	9,20	64,0	114,0	64,0	3,33	19,0
4,40	39,0	85,0	39,0	1,47	27,0	9,40	62,0	112,0	62,0	3,27	19,0
4,60	74,0	96,0	74,0	3,67	20,0	9,60	70,0	119,0	70,0	3,53	20,0
4,80	71,0	126,0	71,0	1,80	39,0	9,80	68,0	121,0	68,0	3,47	20,0
<b>5,00</b>	56,0	83,0	56,0	2,87	20,0	<b>10,00</b>	62,0	114,0	62,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

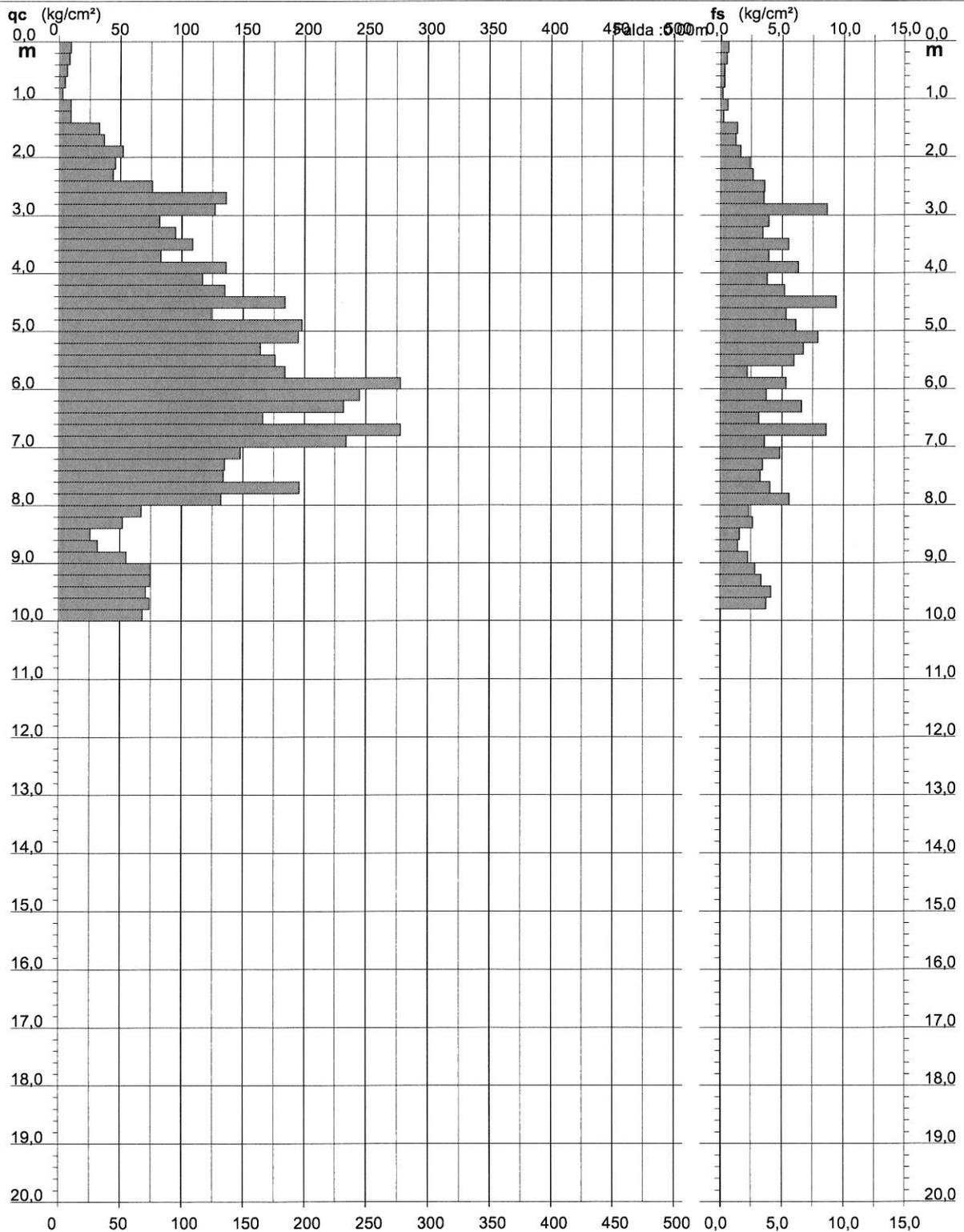
## CPT 1

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :

- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013

- note : falda -5.4m; foro franato -5.7m



# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

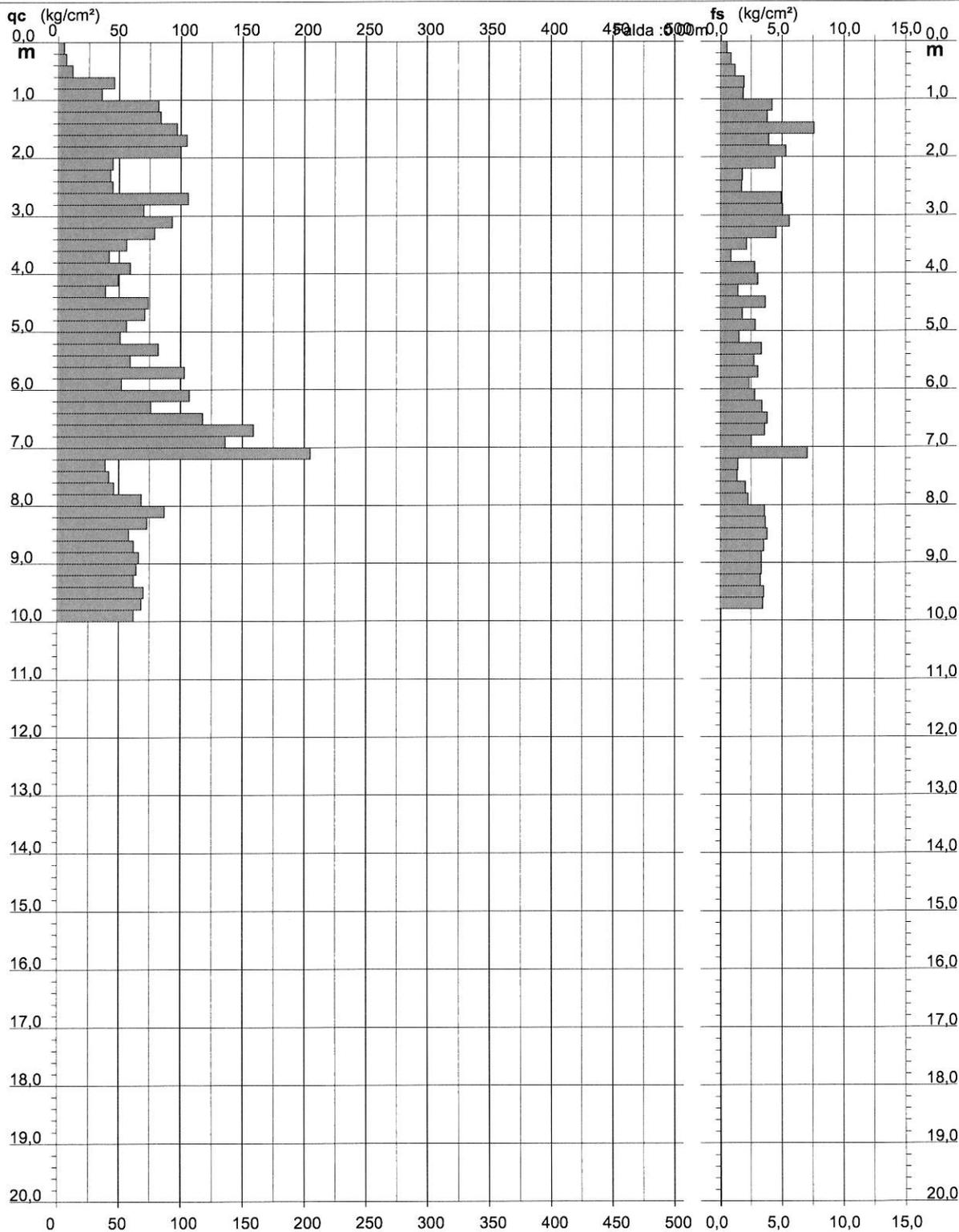
## CPT 2

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :

- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013

- note : falda -6.4m; foro franato -6.6m



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

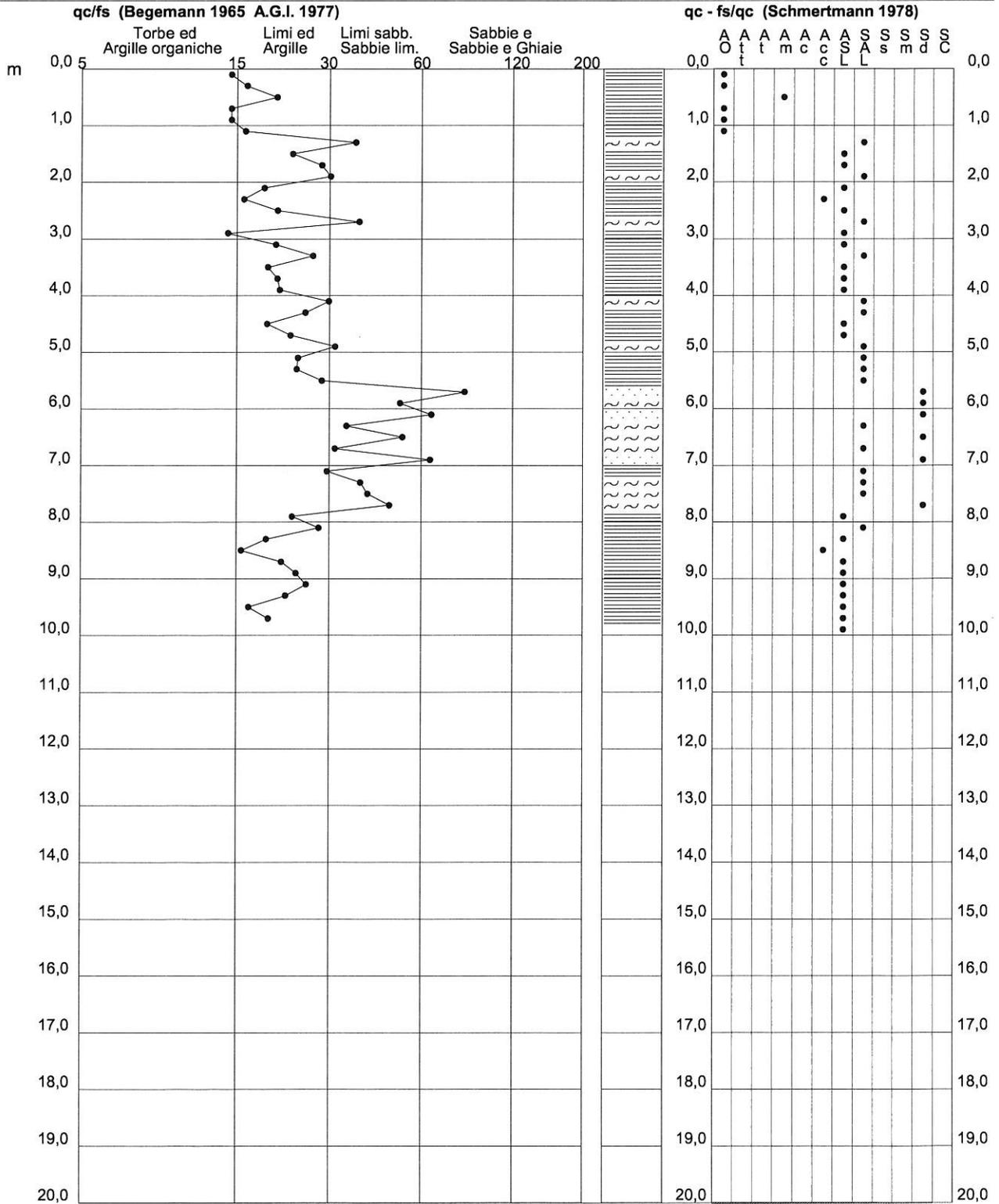
## CPT 1

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :

- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013

- note : falda -5.4m; foro franato -5.7m



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

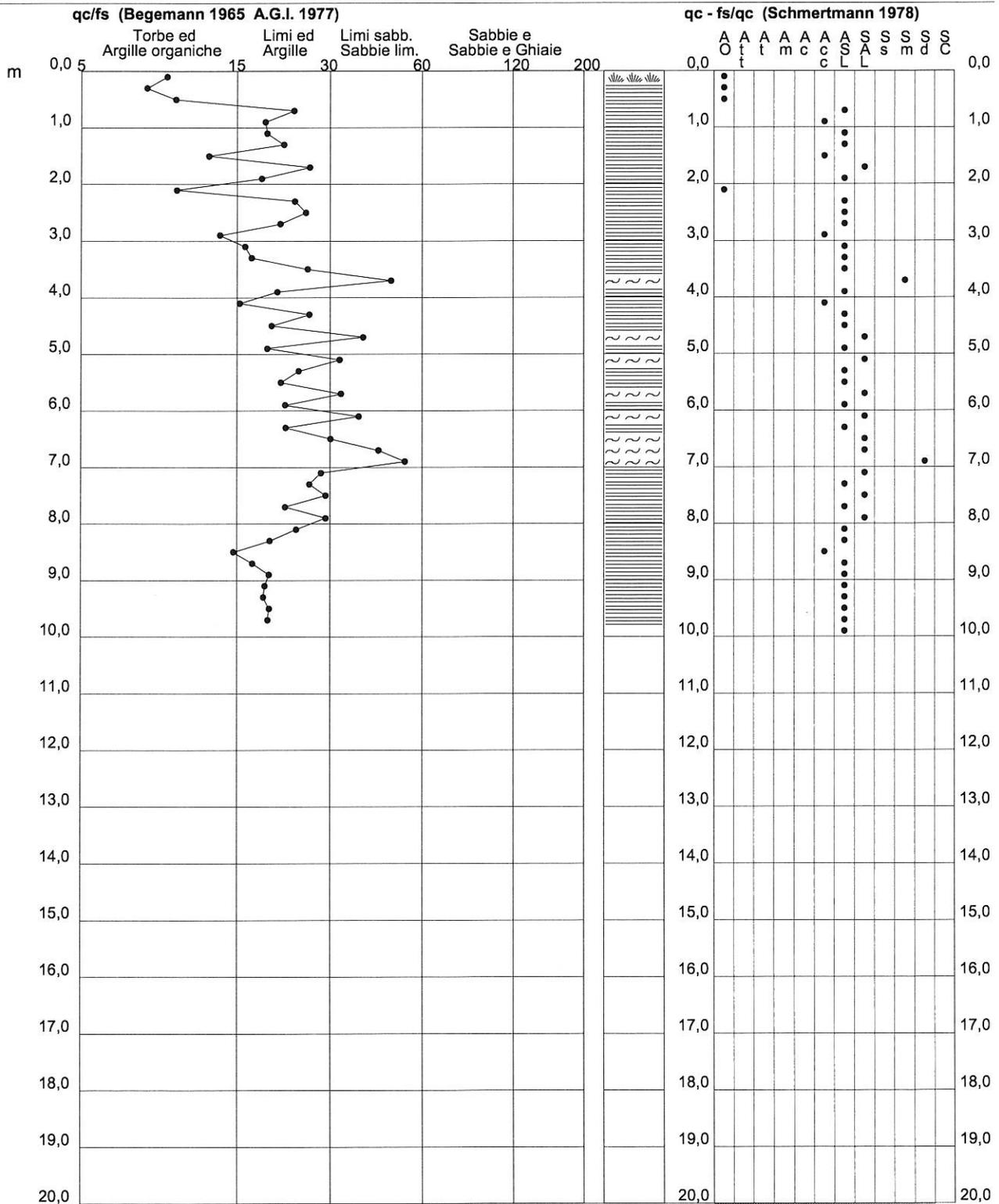
**CPT 2**

2.0105-PG076

- committente : Dott. Geol. Simone Stefani  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Fucecchio (FI)  
- assist. cantiere :

- data : 17/04/2013  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 23/04/2013

- note : falda -6.4m; foro franato -6.6m









Monitoraggi e Tecnologie per l'Ambiente

P.zza Palazzo Dipinto, 5 – 55100 Lucca

Dott. Geologo Muro Tommaso cell. 347 9415723 Dott. Geologo Stefani Simone cell. 338 5451349

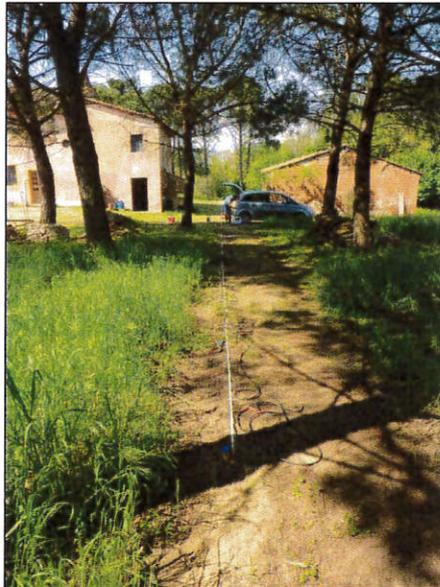
[mta@gigapec.it](mailto:mta@gigapec.it)

[www.mtasrl.com](http://www.mtasrl.com)

## PROSPEZIONE SISMICA MASW

### RELAZIONE TECNICA

Aprile 2013



**Committente:** *Sig. Impastato Silvano e Pretini Luisa*

**Cantiere:** *località Il Cerro, Fucecchio (FI)*

**Tipologia d'indagine:** *MASW attiva con onde di Rayleigh*

**Data indagini di campagna:** *18/04/2013*

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. IL METODO MASW ATTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI.....</b>	<b>3</b>
3.1 SISMOGRAFO .....	3
3.2 SORGENTE ENERGIZZANTE .....	3
3.3 TRIGGER.....	4
3.4 APPARECCHIATURA DI RICEZIONE.....	4
3.5 COMPUTER .....	4
<b>4. ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>4</b>
<b>5. RISULTATI .....</b>	<b>4</b>

## 1. PREMESSA

Su incarico dei Sig.ri Impastato Silvano e Pretini Luisa è stata eseguita un'indagine sismica MASW attiva con onde di Rayleigh su terreni posti in Il Cerro nel comune di Fucecchio nell'ambito delle indagini geologiche di supporto al piano di Recupero.

La procedura d'indagine adottata è stata eseguita in accordo con il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni), secondo cui la stima degli effetti di sito è attribuibile, in buona parte, alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Le seguenti note espongono la metodologia d'indagine ed i risultati ottenuti.

## 2. IL METODO MASW ATTIVO

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consiste in una tipologia di indagine sismica che permette di valutare le condizioni elastiche del terreno per scopi di ingegneria geotecnica. Il metodo si basa sull'analisi della dispersione delle onde di superficie. Tali onde si generano in seguito alla complessa interferenza fra onde P e S e si propagano lungo la superficie libera della Terra dove si attua una grande variazione delle proprietà elastiche dei mezzi a causa del contatto fra aria e terreno. Le onde di superficie sono rappresentate dalle onde di Rayleigh e di Love. Esse sono caratterizzate da velocità di propagazione inferiori a quelle delle onde P e S e da ampiezze molto maggiori.

Le onde di Rayleigh esistono anche in un semispazio omogeneo e sono generate dall'interferenza fra onde P e onde S polarizzate sul piano verticale ( $S_v$ ) incidenti sulla superficie libera del terreno. Le onde di Love compaiono solo in un mezzo in cui la velocità delle onde S aumenta con la profondità e si generano in seguito ad interferenza costruttiva di onde S polarizzate sul piano orizzontale ( $S_H$ ) soggette a riflessioni multiple fra la superficie libera del terreno e un'interfaccia sottostante separante due porzioni del mezzo con caratteristiche diverse.

Se un determinato mezzo attraversato dalle onde di superficie presenta una variazione delle proprietà elastiche con la profondità, le onde saranno caratterizzate dal fenomeno della dispersione. Tale fenomeno si origina dal fatto che le diverse componenti dell'onda di superficie si spostano con velocità diverse, più alte per le lunghezze d'onda più lunghe che interessano spessori maggiori di terreno, più basse per lunghezze d'onda brevi che interessano gli strati più superficiali.

La curva di dispersione rappresenta l'andamento delle velocità con cui si propaga ciascuna fase componente la perturbazione in funzione della lunghezza d'onda. Ne consegue che lo studio della curva di dispersione permette di conoscere la variazione delle caratteristiche del terreno con la profondità espressa in termini di velocità delle onde S.

Nella pratica comune delle indagini MASW, la curva di dispersione è ottenuta disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni) ad intervalli regolari lungo un allineamento rettilineo e registrando mediante un sismografo l'intero treno di onde generato da una sorgente controllata (MASW attiva).

L'analisi della curva di dispersione, tramite opportuni software, fornisce un modello sismostratigrafico monodimensionale del terreno rappresentato tramite la variazione della velocità delle onde S con la profondità. Tale modello permette, in definitiva, di determinare il parametro  $VS_{30}$  utilizzabile per la progettazione sismica secondo l'approccio semplificato definito dal D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

### **3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI**

L'acquisizione dei dati in campagna è stata effettuata utilizzando una strumentazione composta da:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione
- computer

#### **3.1 SISMOGRAFO**

Lo strumento impiegato nella presente indagine per la registrazione dei segnali sismici è un sismografo AMBROGEO "ECHO12-24/2002" Seismic UNIT avente le seguenti caratteristiche:

registrazione a 12 o 24 canali  
intervallo di campionamento: 0,296 msec  
conversione A/D: 16 bit  
impedenza d'ingresso: 1 Kohm  
guadagno da 10 dB a 100 dB con incrementi di 1 dB  
tensione di saturazione: +/- 2,3 V  
livello di saturazione: 100 dB  
distorsione 0,01%  
durata della registrazione: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 30.000 msec  
campionamento: 130 microsec  
range dinamico: 93 Db

#### **3.2 SORGENTE ENERGIZZANTE**

Per la genesi delle onde di Rayleigh è stata utilizzata una mazza da 8 kg impattante su una piastra di battuta in alluminio posata al suolo.

### 3.3 TRIGGER

Il trigger impiegato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso tramite un interruttore starter nell'istante stesso in cui il mezzo energizzante (mazza) colpisce la base di battuta; nel caso in esame lo starter è costituito da un interruttore montato in prossimità della massa battente.

### 3.4 APPARECCHIATURA DI RICEZIONE

Per la ricezione delle onde di Rayleigh sono stati utilizzati 24 geofoni verticali *Sunfull* con frequenza propria pari a 4,5 hz.

### 3.5 COMPUTER

I dati relativi a ciascuna energizzazione sono stati memorizzati istantaneamente su di un computer portatile, collegato via cavo al sismografo, sul quale è installato il software di acquisizione "ECHO 2007"; esso consente la visualizzazione delle registrazioni effettuate e la regolazione dei parametri di acquisizione prima di ogni registrazione.

## 4. ELABORAZIONE DATI

La ricostruzione del profilo verticale di  $V_s$  è stata ottenuta mediante l'utilizzo del software *WinMasw 4.3 Standard*, prodotto da *Eliosoft*.

Tramite esso avviene la determinazione dello spettro di velocità, l'identificazione delle curve di dispersione, la modellazione diretta e/o l'inversione di queste ultime.

## 5. RISULTATI

L'indagine sismica in oggetto è stata realizzata disponendo un array composto da 24 geofoni verticali spazati di 2 m ed eseguendo due serie di energizzazioni con offset minimi di 4 e 6 m.

I risultati della presente indagine sono stati ottenuti dal processing dei dati acquisiti con offset di 6 m. Nella modellazione si è formulato, inizialmente, un modello sismostratigrafico basato sulle informazioni ricavate dalla sismica a rifrazione e dalle prove penetrometriche, successivamente sottoposto ad inversione per affinamento del profilo.

Il profilo sismico verticale ricavato, espresso in termini di spessori e velocità delle onde di taglio per ciascun sismostrato, con riferimento al modello medio, è riassunto nella tabella sottostante.

	Velocità onde SH (m/s)	Deviazioni standard (m/s)	Spessore h (m)	Deviazioni standard (m)
<b>sismostrato 1</b>	162	12	0,5	0,0
<b>sismostrato 2</b>	397	7	6,6	0,9
<b>sismostrato 3</b>	549	46	3,1	0,4
<b>sismostrato 4</b>	262	15	4,1	0,3
<b>sismostrato 5</b>	595	44	Inf.	

Da tali dati è possibile determinare il valore di  $V_{S30}$  per il sito in esame e da questo la categoria di suolo di fondazione, secondo quanto stabilito dalla nuova normativa tecnica in tema di progettazione antisismica (D.M. 14/01/2008). In particolare, la  $V_{S30}$  è calcolabile secondo la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

$h_i$  = spessore i-esimo di ogni singolo sismostrato

$V_i$  = velocità i-esima di ogni singolo sismostrato

L'applicazione della suddetta formula ha fornito un valore di  $V_{S30}$ , relativo al modello medio, di 445 m/s, con riferimento al piano campagna.

Lucca, aprile 2013

