



qualità
sistemi di gestione qualità – audit di prima e seconda parte – formazione – implementazione ISO 9001:2015



ambiente e geologia
sistemi di gestione ambientale – implementazione ISO 14001:2015 – rifiuti – VIA, AUA, AIA, emissioni in atmosfera – caratterizzazioni ambientali – analisi di rischio – due diligence – indagini geotecniche – geologia applicata – CPT, CPTU, permeabilità terreni BAT, georadar, MASW, tomografia elettrica 2D, 3D – monitoraggi ambientali



energia ed impianti
progettazione impianti elettrici – termici civili, industriali, pubblica illuminazione – verifiche – impianti ad energie alternative: fotovoltaico, geotermico, solare termico



costruzioni e strutture
progettazione civile e industriale in c.a., acciaio, legno – collaudi – direzione lavori – assunzione incarico Responsabile Lavori – verifiche strutturali



sicurezza sul lavoro e cantieri
sistemi di gestione salute e sicurezza UNI-INAIL BS OHSAS 18001:2007 – RSPP – due diligence – audit di prima e seconda parte – documenti di valutazione dei rischi – valutazioni rischi specifici – sicurezza in cantiere: incarichi di CSP, CSE, RL, documenti: PSC, PSS, POS, PIMUS, progettazione ponteggi – sicurezza degli alimenti – prevenzione incendi, CPI – formazione e addestramento – formazione e-Learning



marcatura CE
marcatura CE macchine, attrezzature, impianti, accessori di sollevamento e materiali – fascicoli tecnici, libretti di uso e manutenzione, valutazione dei rischi – assistenza macchine extra UE



acustica
valutazione impatto acustico – requisiti acustici passivi – clima acustico



miglioramento energetico
diagnosi, interventi migliorativi, progettazione involucro e impianti, APE, detrazioni fiscali – verifiche termogrammetriche – termografia

RIFERIMENTO: IMPIANTO FOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA.

OGGETTO: caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione.

RELAZIONE GEOLOGICO E GEOTECNICA

L.R. 09/05/1988 n. 27
D.P.R. 380/01
O.C.M n. 3274 del 20/03/2003
D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni
D.M. 17/01/2018 Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

Comune di Orbetello
Provincia di Grosseto

Località
Via Strada di Bonifica 3

Data: 02 aprile 2024	Rif. Ns.: rel. geo. 2262/22 REV01
Codice e nome sito	A_69_FV_TO - ORBETELLO

COMMITTENTE:
AIEM GREEN srl
Viale Combattenti Alleati d'Europa, 9/G
45100 ROVIGO

TECNICO:
dott. PAOLO CHIARION
geologo e tecnico ambientale
Viale Combattenti Alleati d'Europa, 9/S
45100 ROVIGO



Tecnologica Group srl
Via Combattenti Alleati d'Europa, 9/S
45100 ROVIGO
t./f. 0425.475453
www.tecnologicagroup.com
info@tecnologicagroup.com

INDICE

1. PREMESSE
 - 1.1. Generalità
 - 1.2. Dati identificativi dell'area
 - 1.3. Normativa di riferimento
2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO
 - 2.1. Assetto geologico
 - 2.2. Assetto geomorfologico
 - 2.3. Assetto idrogeologico
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA DI INTERVENTO
4. MODELLO GEOTECNICO DEI TERRENI
 - 4.1. Caratterizzazione stratigrafica dei terreni
 - 4.2. Carico ammissibile sul substrato di fondazione
 - 4.3. Metodo utilizzato per i cedimenti - CEDIMENTI EDOMETRICI
5. SISMICITA' LOCALE E DATI PER LA PROGETTAZIONE SISMICA
 - 5.1. Dati per la progettazione sismica
 - 5.2. Indagine HVSR e MASW
6. STIMA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI
7. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA
8. CONCLUSIONI E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO
9. ALLEGATI
 - Planimetria generale
 - Prove penetrometriche statiche

1. PREMESSA

1.1. Generalità

Si redige la seguente relazione di compatibilità geologica, geotecnica, geomorfologica, idrogeologica e sismica del terreno, sito in Comune di Orbetello (GR) Via Strada di Bonifica 3, dove lo scrivente ha eseguito indagini geognostiche per verificare le caratteristiche geotecniche e sismiche del terreno di fondazione sul quale è in progetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico connesso con la rete elettrica costituito da Moduli Fotovoltaici Policristallini posizionati sul terreno mediante una struttura metallica costituita da pali infissi nel suolo sulla quale viene montato un telaio a supporto dei pannelli. All'interno dell'area si prevede il posizionamento di cabine di generazione prefabbricate in c.a. tipo monoblocco, di modeste dimensioni. Le superfici di appoggio delle strutture, trattandosi di un terreno agricolo, saranno rese piane attraverso esigue opere di movimento terra, riguardanti principalmente lo scortico dello strato agricolo. L'intervento edilizio necessario sarà di tipo assolutamente non invasivo e consisterà nell'affondare nel terreno i pali in acciaio di sostegno delle strutture dei moduli fotovoltaici, che potranno essere rimosse senza importanti interventi di scavo. Pertanto sono previsti limitati movimenti di terra visto l'andamento pianeggiante del terreno e anche per il posizionamento delle cabine si prevede solo lo scavo di sbancamento necessario al posizionamento delle fondazioni. La presente relazione, redatta in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018, prende in esame le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, sismiche e idrogeologiche del sito di previsto intervento.



Lo studio è stato condotto mediante l'analisi della documentazione esistente in materia di pianificazione territoriale del Comune di Orbetello (GR), dall'esperienza diretta da parte del sottoscritto della zona interessata dall'intervento e dall'esecuzione di prove penetrometriche statiche CPT e sismiche HVSR/MASW nell'area di intervento.

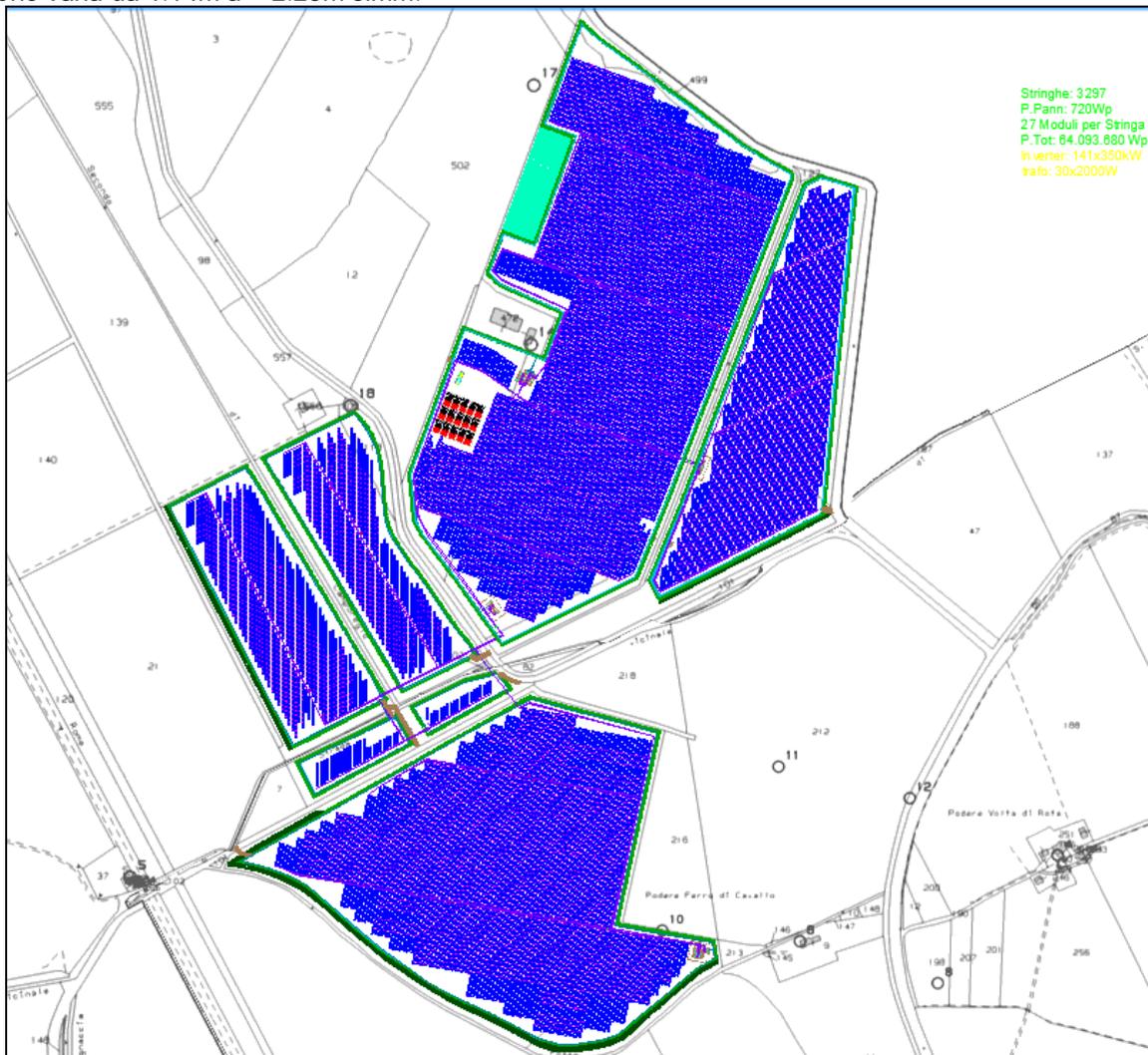
L'indagine sul terreno è stata condotta mediante l'uso di un penetrometro statico/dinamico "Pagani" modello TG63-200 e di un sismografo digitale della ditta MAE srl modello A6000SE.

In particolare, in relazione all'attuale fase progettuale, si esamina la situazione geotecnica locale, si analizzano i dati acquisiti in sito e si illustrano:

- Modello geologico, idrogeologico e geotecnico locale del terreno interessato dal progetto;
- Resistenza del terreno investigato in relazione alle prevedibili geometrie della struttura;
- Verifiche di stabilità e Valutazioni del margine di sicurezza nei riguardi delle situazioni limite SLU, che si possono manifestare sia nelle fasi transitorie di costruzione sia nella fase definitiva per l'insieme manufatto-terreno;
- Valutazioni dei prevedibili spostamenti del complesso opera-terreno, dando un giudizio sull'ammissibilità di tali spostamenti in relazione alle condizioni di sicurezza, nonché alla funzionalità dell'edificio (SLE).

1.2. Dati identificativi dell'area

L'area di intervento si trova in Comune di Orbetello (GR) Via Strada di Bonifica 3; la quota del terreno varia da 1.14m a > 2.28m slmm.



1.3. normativa di riferimento

Il lavoro è stato svolto secondo quanto previsto dalle vigenti normative in materia:

- D.M. 11.03.1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

- Circ. Dir. Centr. Tecn. n° 97/81 - "Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

- Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988 - n°30483 Istruzioni applicative al D.M. 11/03/1988;

- A.G.I. Raccomandazione sulla esecuzione e programmazione delle indagini geognostiche 1977.

- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri che detta i primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche.

- D.M. 14.09.2005 – Norme Tecniche sulle Costruzioni.

- Consiglio Superiore di LL.PP.: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – All. al voto n. 36 del 27.07.2007;

- Eurocodice 7: progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;

- Eurocodice 8: indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", pubblicato in G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. N. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.

- Consiglio Superiore di LL.PP.: Circolare 617 del 02/02/09: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008;

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio studiato si colloca nella porzione terminale sud occidentale dell'ampia regione geologica e fisiografica della Toscana Meridionale ed è caratterizzato da evidenti caratteristiche morfologiche tipiche della zona costiera meridionale con ampie aree umide, con prevalente sviluppo in direzione appenninica, che si collocano al passaggio tra le porzioni terminali delle pianure alluvionali (Pianura del Fiume Albegna e del Torrente Osa) e le fasce costiere dunali. Tali aree pianeggianti, palustri o lagunari sono delimitate da dorsali dove affiorano le formazioni del substrato litoide che hanno altresì direzione prevalente antiappenninica per la porzione meridionale del territorio ed appenninica per l'estremo lembo nord (parco dell'Uccelina). Elemento significativo dell'assetto fisiografico di Orbetello, con valore di riferimento per tutta l'Italia Centrale, è sicuramente la laguna omonima posta tra la porzione di territorio a nord del Fiume Albegna ed il rilievo di Monte Argentario.

L'assetto fisiografico, particolarmente significativo di questo territorio, costituisce elemento di riferimento per l'evoluzione paleogeografica dell'intera unità costiera della Toscana Meridionale, ed, analogamente ad altre aree, risulta fortemente influenzato dai condizionamenti tettonici.

Per quanto concerne la dinamica generale tettonico-stratigrafica che caratterizza i rilievi appenninici della Toscana Meridionale in cui, come sopra accennato, si inserisce il territorio del Comune di Orbetello, è opportuno, data la complessità sistema, suddividere le aree caratterizzate in affioramento dal prevalere di distinti complessi stratigrafico-tettonici.

Sulla base del suddetto criterio possiamo, sia a livello generale per l'intero edificio appenninico meridionale che nello specifico del territorio comunale di Orbetello, distinguere le seguenti aree:

- Aree in cui affiorano i terreni neogenici e quaternari di ambiente ora marino, ora continentale. Trattasi di un complesso formazionale che occupa gran parte delle depressioni morfologiche del territorio comunale ed appoggia su un insieme eterogeneo di formazioni, parte di Facies Toscana e parte di Facies Ligure che costituiscono il cosiddetto "Substrato litoide". Nello specifico del territorio comunale di Orbetello le formazioni appartenenti alle suddette aree sono quelle geologicamente più recenti ed in particolare: detrito di versante del Quaternario (dt), depositi di spiaggia ed eolici del Quaternario (s), depositi di transizione, di retrospiaggia ed alluvionali del Quaternario (tp), alluvioni fluviali recenti del Quaternario (a), panchina marina e sabbie eoliche in terrazzi del Quaternario (Qp), dune antiche del Quaternario (sd), argille e sabbie del Quaternario (Qm), sabbie rosse del Quaternario (sr), conglomerati poligenici poco coerenti del Pliocene (Pcg), sabbie del Pliocene (Ps), argille del Pliocene (Pag). Detti terreni affiorano nelle porzioni di costa bassa nelle ampie pianure, nelle vallecole minori, in limitate estensioni delle porzioni collinari minori e pedecollinare;

- Aree in cui affiorano rocce appartenenti alle diverse unità tettoniche liguri del substrato. Tali unità sormontano il complesso della Serie Toscana e sono rappresentate nel territorio comunale di Orbetello esclusivamente dai termini che costituiscono la copertura sedimentaria dell'unità tettonica nel suo complesso. In particolare appartengono a tale sistema le formazioni mappate nella carta geologica di supporto al P.S. come galestri e palombini del Cretaceo Superiore (gp), flysch calcareo del Cretaceo Superiore (mp), calcareniti e calcari marnosi del Paleocene-Eocene (np). Tali unità affiorano nei rilievi collinari settentrionali del territorio a nord del tracciato attuale del Torrente Osa;

- Aree in cui affiorano le formazioni della Serie Toscana. Per gran parte di dette aree trattasi di finestre tettoniche con caratteristiche stratigrafico-strutturali tipiche della Serie Toscana ridotta presente nei rilievi appendici occidentali della Toscana Meridionale. Le formazioni della Serie Toscana sono sormontate come suddetto da quelle liguri sopra descritte. Nel territorio oggetto del presente studio si rileva la presenza del Macigno dell'Oligocene (mg), del flysch calcareo-marnoso dell'Eocene (n), del

Calcere Cavernoso del Trias superiore (cv) e del Verrucano del Trias inferiore. Le formazioni della Serie Toscana affiorano nelle principali dorsali e nei rilievi più significativi sia con sviluppo in direzione appenninica (porzione nord-ovest del territorio comunale) sia anti-appenninica (ampio affioramento nella porzione meridionale del territorio comunale).

Tale distinzione consente di capire con maggiore chiarezza quanto verrà in seguito trattato nella descrizione dell'evoluzione tettonica dell'area e di identificare con precisione la posizione delle dislocazioni tettoniche, tenendo in riferimento la distinzione tra terreni neogenici e quaternari superiori (aree in cui affiorano i terreni del primo gruppo) e quelli del substrato (aree in cui affiorano le rocce dei due gruppi successivi).

La storia geologica dell'Appennino Centro-Settentrionale, di cui, come suddetto, l'area in studio è parte integrante, è caratterizzata da una o più fasi di corrugamento con uno stile prevalentemente plastico che si sono verificate in un regime di prevalente compressione.

Esse sono indicate come le fasi orogenetiche principali della complessa struttura dell'Appennino della Toscana Meridionale. Tali strutture sono riconoscibili nelle aree in cui affiora il substrato nelle dorsali collinari del territorio comunale. La fine di questa fase orogenetica principale (Oligocene-Miocene) coincide con il primo affermarsi di una nuova trasgressione marina i cui sedimenti costituiscono la base del ciclo sedimentario neo-autoctono particolarmente evidenti nel territorio comunale di Orbetello. La trasgressione è preceduta dal formarsi, a varie distanze dal mare, di una serie di depressioni chiuse, in cui si instaurano ampi bacini lacustri o palustri, la maggiore parte dei quali è stata successivamente sommersa dalla trasgressione marina. Questa generale trasgressione ha caratteristiche ed entità che difficilmente si possono collegare direttamente con movimenti propri del livello marino, ma implica movimenti di abbassamento nelle catene appenniniche precedentemente corrugate ed emerse. Lo stesso dicasi per la fase di regressione verificatasi nel Pliocene. Di tali dinamiche si rilevano ampie tracce negli affioramenti del primo gruppo tettonico descritto, posti nella porzione collinare centro-settentrionale del territorio in studio.

Trattasi di uno stile rigido distensivo che ebbe il suo sviluppo principale quindi in età Pliocenica.

La tettonica distensiva, sovrapponendosi ai motivi plicativi delle fasi precedenti, determina anche strutture a Horst e a Graben con sviluppo prevalente in direzione appenninica ma con evidenze, particolarmente chiare nell'area in esame, in direzione anti-appenninica (porzione centrale e meridionale del territorio).

Questo regime tettonico è caratterizzato da una frammentazione in blocchi rigidi della crosta terrestre, secondo movimenti differenziali lungo il sistema delle faglie dirette, unitamente a ripetuti movimenti alterni di sollevamento e sprofondamento di ampiezza regionale.

Ulteriori e meno intensi movimenti dello stesso tipo si registrano poi durante il Quaternario. Detti movimenti, compresi sotto la denominazione di tettonica recente, hanno assunto comunque un'importanza rilevante nell'assetto geografico, morfologico ed idraulico del territorio di Orbetello e sicuramente caratterizzano il peculiare aspetto paesistico ed ambientale attuale.

In particolare si hanno una serie di depressioni chiuse di recente formazione, in cui si instaurano ampi bacini palustri e lagunari delimitati da vere e proprie dune talora consolidate o tomboli legati a vari fenomeni deposizionali eolici e marini.

Dopo la suddetta descrizione dell'evoluzione tettonica, che assume rilevanza ai fini della definizione dei processi geologici e paleogeografici e della sismicità dell'area si procede nella descrizione delle caratteristiche stratigrafiche e giacimentologiche delle singole formazioni presenti nel territorio comunale.

In particolare si distinguono cinque unità geologico-stratigrafiche:

- Terreni di origine antropica.
- Quaternario;;
- sedimenti neogenici di età Pliocenica; serie ligure;
- serie toscana.

Terreni di origine antropica.

Terreni di riporto (r)

Questi depositi sono formati da terreni di riporto di chiara origine antropica. Trattasi di riporti attuali o storici formati da terreni eterogenei di scadenti caratteristiche geotecniche e che hanno perso qualsiasi assetto stratigrafico definito. Frammisti a limi argille e sabbie si rilevano clasti e frammenti litoidi e di laterizi.

Tali depositi sono più frequenti in prossimità di aree urbanizzate.

Quaternario

Queste formazioni sono caratterizzate da terreni di varia origine; fluviale recente o attuale a tessitura variabile da limi argillosi a ciottolami, di spiaggia od eolica, di transizione e di retrospiaggia, di panchina marina, detritica ed eluviale, tutti attribuibili al Quaternario.

Stratigraficamente queste formazioni si trovano in discordanza nella posizione superiore alle formazioni delle unità dei sedimenti neogenici, della serie toscana e della serie ligure.

Depositi di transizione di retrospiaggia ed alluvionali (tp).

Terreni fini costituiti da limi, limi argillosi e sabbiosi talora torbosi di ambiente prevalentemente lagunare o palustre.

Intercalati a tali depositi, soprattutto nella porzione prossima alle sabbie di origine eolica, si rilevano rare sabbie ocracee talvolta cementate.

Sono depositi prevalentemente di colmata ed alluvionali in prossimità dei corsi d'acqua temporanei. Affiorano nelle depressioni chiuse di recente formazione, in cui si instaurano ampi bacini palustri e lagunari e talora nelle vallecole minori fino ad incontrare (zona della Bonifica di Talamone) le propaggini dei rilievi collinari.

Nella zona retrostante la Laguna di Orbetello, costituiscono una rilevante unità di passaggio tra i terreni di laguna attuale ed i depositi continentali che dipartono dalla zona pedecollinare. Sono prevalentemente terreni di scadenti caratteristiche geotecniche con evidenti difficoltà di drenaggio per condizionamenti morfologici.

Alluvioni fluviali recenti (a).

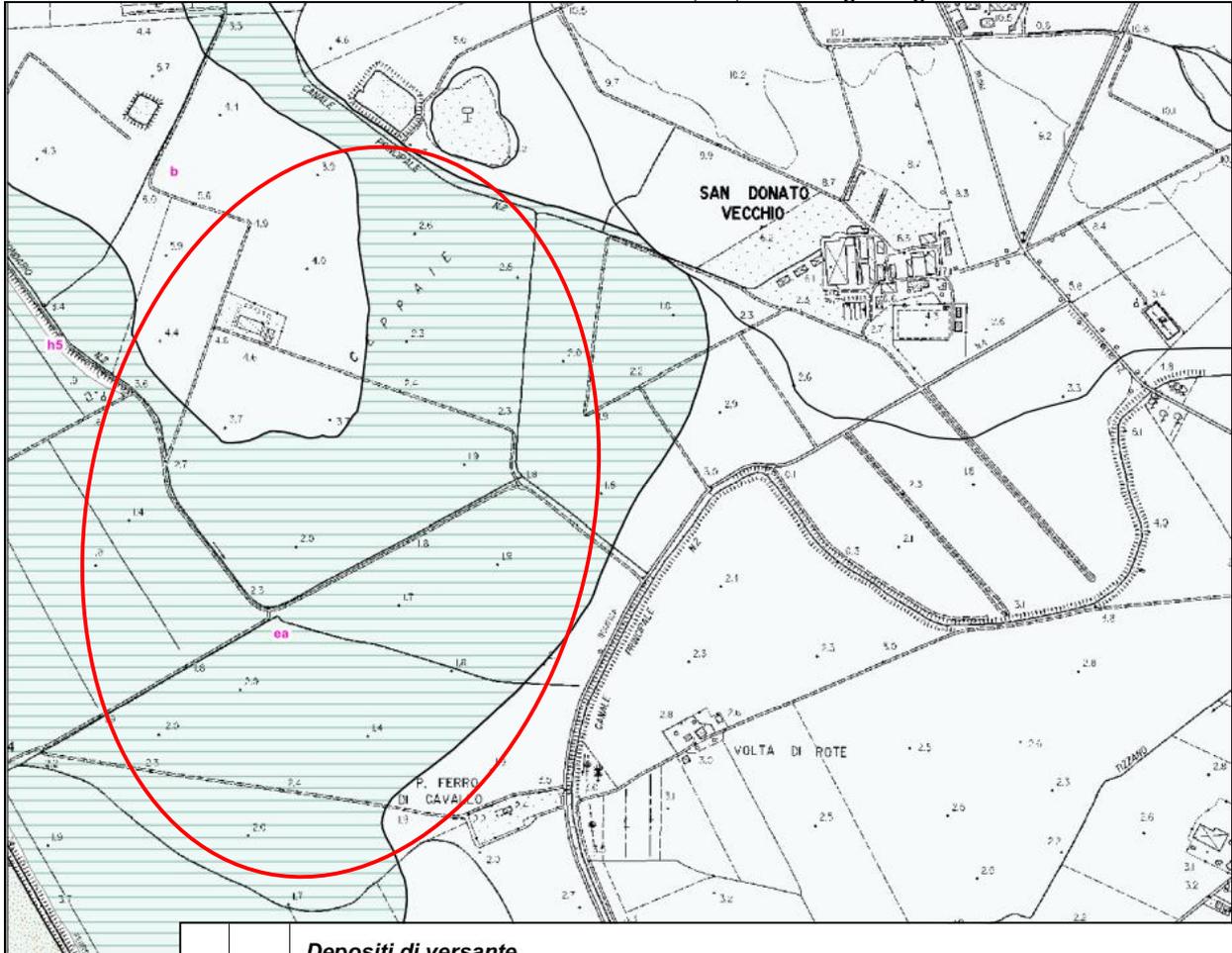
Depositi fluviali incoerenti e coerenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi alternati a sabbie e argille sabbiose con orizzonti talora ghiaiosi e ciottolosi.

Affiorano estesamente anche con discreto spessore (compresi tra 20 e 40 m dal p.c. e massimi nelle parti centrali di 60-80 m dal p.c.) nell'ampia pianura alluvionale compresa tra il Torrente Osa ed il Fiume Albegna.

In prossimità delle porzioni marginali della pianura alluvionale Osa-Albegna, vicine alle pendici pedecollinari, e negli affioramenti estesi a nord del Torrente Osa, si riconoscono livelli terrazzati di primo ordine.

Tali depositi si rilevano inoltre in prossimità di corsi d'acqua minori talora privi di opere di difesa idraulica che hanno dato origine a fenomeni di deposizione alluvionale di modesta entità.

Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta geologica



DEPOSITI QUATERNARI

Depositi Olocenici

Depositi di versante



aa Accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa

Depositi alluvionali attuali



b Ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali

Depositi eluvio-colluviali



b2a Coperture di materiale a granulometria fine (limi e sabbie) con rari frammenti litoidi grossolani; processi di alterazione e/o trasporto di entità limitata o non precisabile

Depositi eolici



da Sabbie di dune costiere

Depositi lacustri, lagunari, palustri, torbosi e di colmata indifferenziati



ea Depositi lacustri, lagunari, palustri, torbosi e di colmata indifferenziati



e1a Depositi lagunari

Depositi di spiaggia



g2a Sabbie litorali

GEOMORFOLOGIA

Forme e processi fluviali.

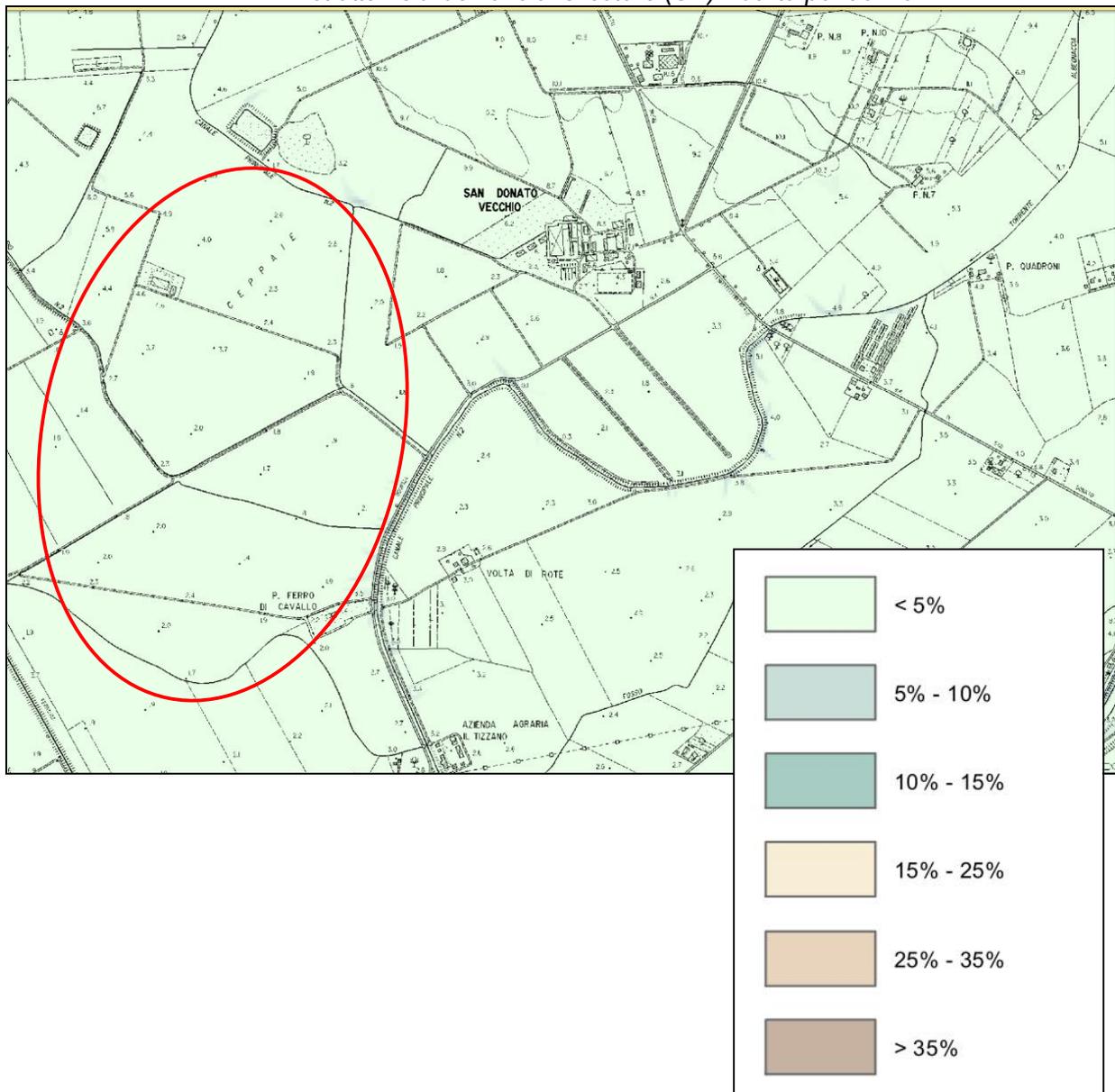
Queste forme sono associate a processi fluviali o comunque imputabili all'energia erosiva e/o deposizionale dei corsi d'acqua anche di dimensioni modeste.

Per quanto concerne le aste fluviali principali (Albegna/Osa) e, limitatamente ad alcune zone di torrenti minori, sono state segnalate le scarpate fluviali in erosione.

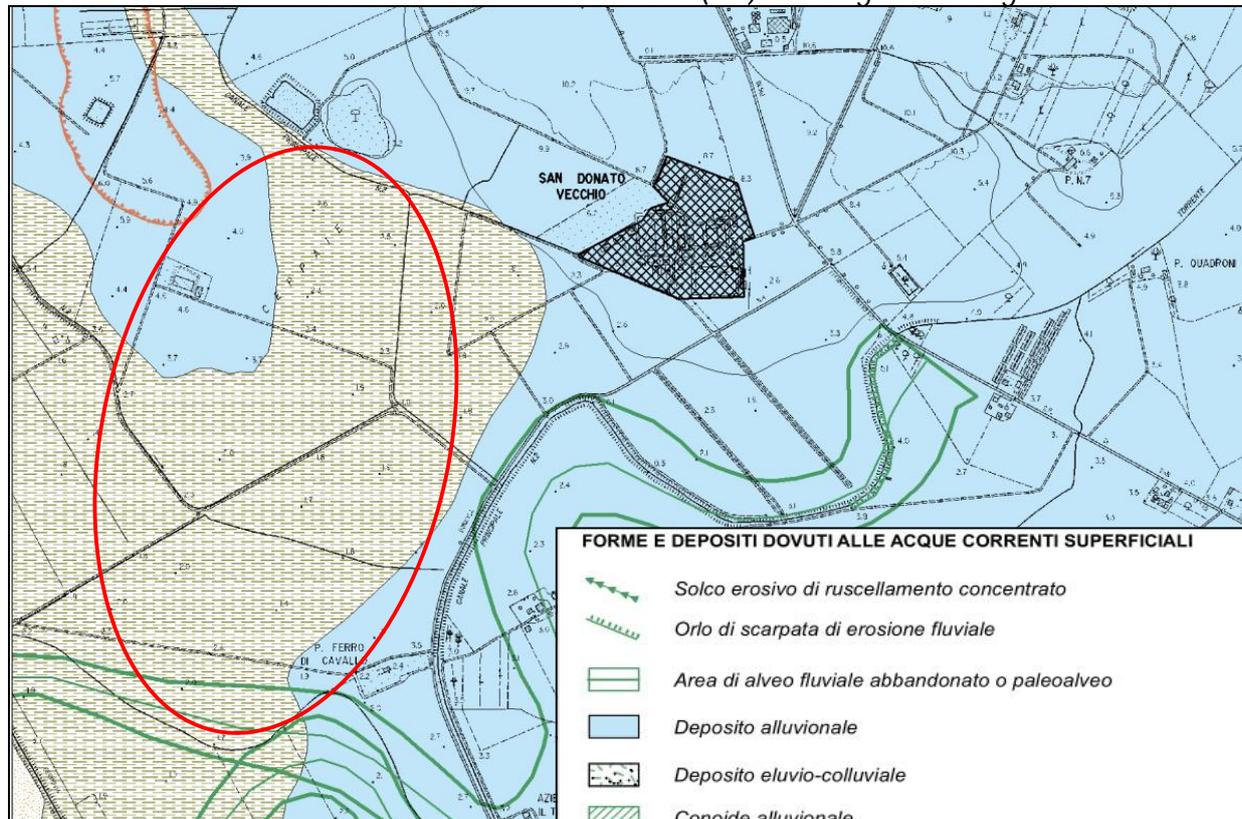
L'analisi morfologica ha consentito di individuare anche antichi processi di deposizione/erosione fluviale (terrazzi) e aree interessate da vecchi tracciati dei corsi d'acqua principali (paleoalvei). Si sono distinte inoltre le aree interessate da difficoltà di drenaggio e ristagno delle acque superficiali sostanzialmente per inefficienza e scarsa manutenzione della rete fluviale naturale.

Tali aree si collocano essenzialmente nelle pianure alluvionali dei Fiumi Osa e Albegna.

Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta pendenze



Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta geomorfologica



FORME E DEPOSITI DOVUTI ALLE ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

- Solco erosivo di ruscellamento concentrato
- Orlo di scarpata di erosione fluviale
- Area di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo
- Deposito alluvionale
- Deposito eluvio-colluviale
- Conoide alluvionale
- Area soggetta a ruscellamento concentrato

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE CARSIICA

- Grotta
- Sinkhole attivo o potenzialmente instabile
- Dolina di dissoluzione attiva o potenzialmente instabile
- Aree potenzialmente carsificabili (fonte Regione Toscana)

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE EOLICA

- Allineamento di dune
- Deposito eolico

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE MARINA

- Orlo di falesia
- Spiaggia
- Laguna

DEPOSITI LACUSTRI, PALUSTRI, LAGUNARI E DI COLMATA

- Deposito palustre, lagunare o di colmata
- Zona umida (area RAMSAR - fonte Regione Toscana)

CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEGLI AFFIORAMENTI E DATI DI BASE

Le "Unità geologiche" affioranti nell'area in esame sono state caratterizzate ed accorpate sotto il profilo litotecnico, secondo parametri relativi alle caratteristiche fisico-meccaniche, in "Unità litotecniche" o meglio sotto-unità.

I limiti delle sotto-unità litotecniche rappresentate nella suddetta cartografia tematica sono stati definiti mediante l'incrocio del rilevamento diretto in campagna (attraverso uno studio fotointerpretativo) e dei dati derivanti da indagini dirette sui terreni o rocce ricavati da relazioni geologiche di supporto ad interventi diretti. In osservanza della normativa vigente, il fine della suddetta carta è di delimitare i terreni che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo, indipendentemente dalla posizione stratigrafica e dai relativi rapporti geometrici.

La suddivisione è stata fatta seguendo la normativa di riferimento (Del. C.R. 94/85, Allegato 1, punto 3.5.3) distinguendo quindi 3 grandi unità indipendentemente dalla posizione stratigrafica e dai relativi rapporti geometrici:

- Litotipi lapidei (ovvero successioni carbonatiche, turbiditiche, rocce ignee)
- Litotipi lapideo argillosi (ovvero successioni caotiche tipo flysch ecc..)
- Litotipi conglomeratici, ghiaiosi, sabbiosi ed argillosi (ovvero terre propriamente dette).

Queste 3 grandi unità sono state poi ulteriormente suddivise in sotto-unità utilizzando i seguenti criteri tipici degli affioramenti presenti:

Lapidei:

- (1a) non stratificati molto fratturati con carsismo (Calcere Cavernoso)
- (1b) stratificati e mediamente fratturati (macigno)
- (1c) stratificati scarsamente fratturati (verrucano)

Lapideo----Argillosi:

- (2a) strutturalmente ordinati (galestri e palombini)
- (2b) strutturalmente disordinati (flysch calcareo, brecciole nummulitiche)

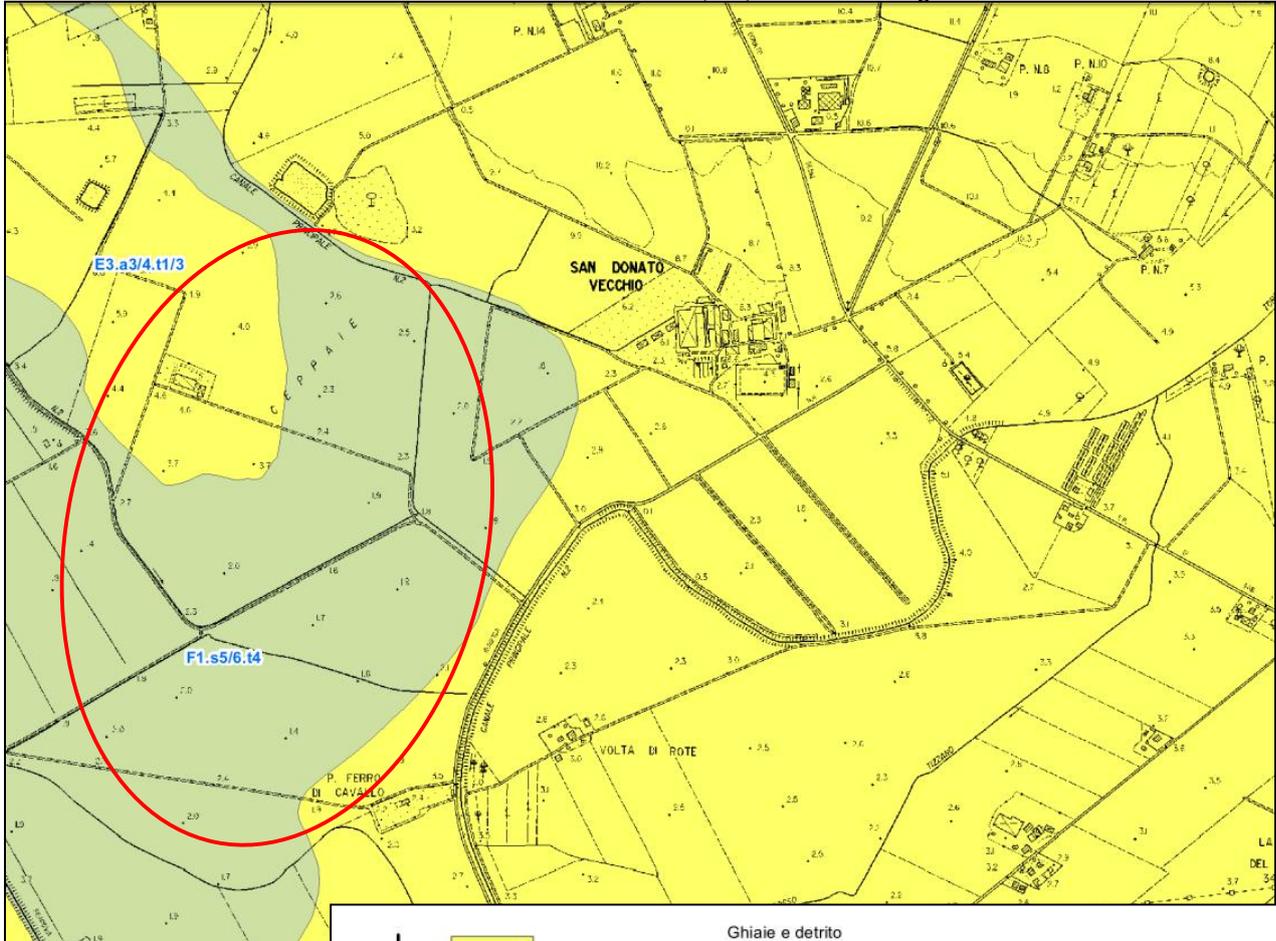
Conglomerati, Ghiaie, Sabbie e Argille:

- (3a) terreni sciolti o scarsamente cementati a granulometria grossolana con possibilità di instabilità dinamica per cedimenti o cedimenti differenziali o instabilità dinamica per fenomeni franosi (riporto, detrito, depositi di spiaggia ed eolici);
- (3b) terreni mediamente cementati a granulometria grossolana (panchina marina e sabbia eolica in terrazzi, dune antiche, sabbie rosse);
- (3c) terreni prevalentemente cementati a granulometria grossolana (conglomerati poligenici poco coerenti, sabbie);
- (3d) terreni a granulometria fine di scadenti caratteristiche geotecniche con possibilità di instabilità dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali (depositi di transizione di retrospiaggia e lacustri)
- (3e) terreni prevalentemente fini con passaggi a granulometria media con caratteristiche geotecniche da scadenti a medie (alluvioni recenti, argille e sabbie marine o lagunari recenti);
- (3f) terreni fini sovraconsolidati (argille sovraconsolidate).

La terza (3d) e quarta unità (3e) sono tipiche di pianura e sono particolarmente critiche per il comportamento geotecnico legato al grado di consolidazione raggiunto dai materiali (sempre basso). Questi terreni possono essere localmente (zona di bonifica di Talamone, Camporegio, piana

dell'Albegna, della Palude della Tagliata e di tutta la fascia circumlagunare) soggetti a significativi fenomeni di subsidenza o di variazioni volumetriche in relazione alle condizioni di saturazione e consolidazione. In tali unità come vedremo in seguito si sono in passato verificati fenomeni di sinkholes in alcune aree circoscritte.

Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta litologica



Copertura		E2.a3/4.t2/3	Ghiaie e detrito Terreno da poco addensato a sciolto Presenza di frazione sabbiosa e coesiva <i>(corrispondente geologico - Aa, b - vedi Tav.G01)</i>
		E3.a3/4.t1/3	Sabbie Terreno da poco addensato a sciolto Presenza di frammenti di dimensioni maggiori e coesiva <i>(corrispondente geologico - b - vedi Tav.G01)</i>
		E3.a2/3.t3	Sabbie Terreno da poco addensato a sciolto Presenza di frazione coesiva <i>(corrispondente geologico - Da, g2a - vedi Tav.G01)</i>
		E3.a3/4.t3	Sabbie limose Terreno da poco addensato a sciolto Presenza di frazione coesiva <i>(corrispondente geologico - b - vedi Tav.G01)</i>
		F1.s5/6.t1/2	Limi Terreno coesivo da poco consistente a privo di consistenza Presenza di frazione sabbiosa e ghiaiosa <i>(corrispondente geologico - b2a - vedi Tav.G01)</i>
		F1.s5/6.t4	Limi Terreno coesivo da poco consistente a privo di consistenza Presenza di materiale torboso <i>(corrispondente geologico - ea, e1a - vedi Tav.G01)</i>

IDROGEOLOGIA

Il tematismo di base più significativo per quanto concerne le indagini geologico tecniche di supporto al P.S. del Comune di Orbetello è risultato essere sicuramente quello idrogeologico. Tale fatto deriva dalle condizioni fisiografiche di Orbetello con forti condizionamenti anche morfologici legati al tema delle acque superficiali e sotterranee.

Gli equilibri idrogeologici della laguna di Orbetello, i condizionamenti derivati dal mare e dalle azioni di bonifica nelle zone palustri o umide, unitamente ad una complessa situazione idrogeologica con afflussi del circuito idrogeologico profondo (acque termali calde) ed un regime di prelievi di acqua del sottosuolo molto sviluppato, rendono tale tema di interesse fondamentale per lo sviluppo compatibile del territorio.

Per quanto possibile in riferimento ad uno studio di supporto ad uno strumento urbanistico, sono stati approfonditi vari temi di interesse idrogeologico, ottenendo una cartografia di sintesi utile per una corretta programmazione dello sviluppo del territorio individuando le possibilità di mitigazione o riduzione degli evidenti squilibri attuali del regime idrogeologico.

Classi di permeabilità dei terreni

In relazione alle caratteristiche tessiturali e geolitologiche delle varie formazioni affioranti ed a prove di permeabilità sperimentali tipiche delle stesse e ritenute valide da dati di pubblicazioni eseguite nell'area di riferimento, nella carta idrogeologica l'intero territorio comunale è stato suddiviso in varie classi di permeabilità. Tale studio si rende particolarmente utile per la valutazione delle possibili interazioni tra gli acquiferi principali ed eventuali zone a rischio di contaminazione, consentendo quindi successivamente la definizione preliminare della vulnerabilità idrogeologica.

Per definire nel dettaglio l'estensione delle aree di salvaguardia o di tutela speciale, i dati precedentemente descritti vanno incrociati con le considerazioni sulla dinamica e sulle caratteristiche geochimiche della falda. La successiva definizione dei centri di pericolo consentirà di individuare le aree a rischio idrogeologico.

Nell'analisi condotta sono stati presi in considerazione anche i suggerimenti che vengono indicati nella normativa di riferimento (Regione Toscana, PTC, ATO) ai fini di una corretta classificazione di permeabilità superficiale e conseguentemente vulnerabilità idrogeologica.

In relazione a quanto sopra vengono quindi individuate tre diverse classi di permeabilità dei terreni e delle rocce affioranti (elevata, media, bassa), in maniera da distinguere in funzione del coefficiente di permeabilità K il diverso tempo di percolazione superficiale.

E' stata inoltre eseguita un'ulteriore suddivisione all'interno delle suddette classi di permeabilità in modo da avere una maggiore definizione anche del tipo di permeabilità prevalente per porosità o per fessurazione. Vengono così individuate sottoclassi porose e sottoclassi fratturate. Tutte queste elaborazioni consentono di ottenere in via generale una classificazione sulla permeabilità dei terreni.

- *Classe di permeabilità bassa (B)*: che riunisce tutte le unità litologiche a composizione prevalentemente argillosa, nelle quali la penetrazione ed il passaggio sono minimi. Si distinguono unità a permeabilità bassa prevalente per porosità (Bp) e caratterizzate dalle seguenti formazioni geologiche: tp, Om e Pag. Si distingue inoltre una sola unità a permeabilità bassa prevalente per fessurazione (Bf) caratterizzata dalla formazione geologica gp.

- *Classe di permeabilità media (M)* riunisce una serie di terreni e rocce a caratteristiche assai varie per alternanze di strati permeabili ed impermeabili. Si distinguono unità a permeabilità media prevalente per porosità (Mp) e caratterizzate dalle seguenti formazioni geologiche: a e Ps.

Si distinguono inoltre unità a permeabilità media prevalente per fessurazione (Mf) caratterizzate dalle formazioni geologiche: V, mp, np, mg, ed n.

- *Classe di permeabilità alta (A)*, della quale fanno parte quelle rocce ed i terreni che, per le loro caratteristiche di circolazione e permeabilità possono costituire ottimi acquiferi. Si distinguono unità a permeabilità elevata prevalente per porosità (Ap) e caratterizzate dalle seguenti formazioni geologiche: sr, r, dt, s, Qp, sd, e Pcg. Si distingue inoltre una unità a permeabilità elevata prevalente per fessurazione (Af), caratterizzata dalla formazione geologica del Calcare Cavernoso e potenzialità idrogeologiche di carattere regionale.

Per valutazioni di dettaglio si rimanda all'analisi della carta idrogeologica dove vengono chiaramente distinte le suddette classi in relazione alla disposizione areale degli affioramenti delle unità idrogeologiche accorpate in funzione delle classi e della tipologia di permeabilità. Dette delimitazioni unitamente alle condizioni geometriche e strutturali dell'acquifero hanno contribuito in maniera significativa alla definizione delle zone di protezione idrogeologica. Tali aree sono infatti caratterizzate da pregi particolari della falda dati sia da condizioni intrinseche (particolare produttività e talora qualità buona) che da condizioni contingenti ed in particolare dall'interesse strategico per gli attuali ed i futuri sviluppi dell'uso idropotabile.

Morfologia piezometrica e caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero superficiale principale dell'area pi aneggiante e costiera. Come accennato in precedenza nelle aree pianeggianti o pseudo pianeggianti poste tra i fiumi Osa ed Albegna, nelle vallecole minori e nella fascia del loro collegamento con le zone costiere si rileva un complesso acquifero multifalda dotato di elementi di continuità idrogeologica. Trattasi del complesso acquifero multifalda costiero plio-pleistocenico ed attuale costituito da più livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi intervallati da orizzonti talora discontinui di limi e ed argille con eteropie in prossimità della linea di costa attuale con i depositi eolici di retro spiaggia e gli stessi depositi sabbiosi di spiaggia attuale. In merito alla geometria ed alla struttura dell'acquifero si rilevano spessori medi complessivi nella porzione centrale dell'area pianeggiante di circa 60-80 metri con orizzonti produttivi (ghiaie e sabbie) che variano notevolmente in relazione alle eteropie deposizionali ma che in media hanno spessori significativi medi di circa 15-20 metri. Data la discreta continuità geometrica dell'acquifero si possono distinguere in tutto tre orizzonti produttivi principali (superficiale, intermedio ed inferiore) che nel complesso raggiungono le potenze sopra descritte. Ai margini dei rilievi collinari ed in prossimità di condizionamenti tettonici dell'originaria area deposizionale si rilevano riduzioni locali di tali spessori fino ad un minimo di circa 10-15 metri medi complessivi (orizzonti produttivi ridotti ad un massimo di 3-5 metri). Per valutazioni di dettaglio si rimanda all'analisi della carta idrogeologica dove vengono chiaramente distinte le aree dell'acquifero in studio dove è stata ricostruita la morfologia piezometrica.

Nell'acquifero in esame si rilevano numerosissimi pozzi utilizzati in prevalenza per usi irrigui stagionali molto intensi e subordinatamente per servizi o usi industriali. Nelle ricostruzioni stratigrafiche disponibili e negli schemi di tubaggio, soprattutto nei vecchi pozzi, sono rare le corrette separazioni di livelli acquiferi isolati. Sia per fattori naturali (eteropie laterali o contatti verticali) che a causa dei condizionamenti delle opere di presa si assiste quindi alla vera e propria miscelazione dei tre orizzonti acquiferi principali. Si determinano quindi vere e proprie condizioni di un acquifero multifalda di importanza regionale tipico di molte zone costiere toscane.

L'alimentazione dell'acquifero proviene direttamente per percolazione dagli affioramenti dello stesso, dai corpi d'acqua che interagiscono con i livelli produttivi (fiumi, laguna e mare) e soprattutto dall'interazione degli orizzonti acquiferi alla base e lateralmente con i versanti calcarei saturi.

Per i motivi suddetti e per assenza di dati di ulteriore dettaglio risulta difficilmente attendibile la stesura di un vero e proprio bilancio idrogeologico dell'acquifero studiato.

Tuttavia dai dati analizzati si evidenziano portate significative in gran parte dei pozzi che captano tutto l'acquifero con portate medie di esercizio variabili tra 15-20 litri al secondo per ciascuna opera. Dati i valori di risorsa rinnovabile, l'estensione degli affioramenti e le buone portate per singolo punto di approvvigionamento significativo, la ricarica dall'acquifero calcareo risulta sicuramente essere molto importante per il sistema, anche se difficilmente quantificabile.

E' importante segnalare che a sua volta lo stesso acquifero calcareo quando intercetta un piano di faglia profondo risulta interessato da fenomeni di alimentazione per risalienza dal circuito idrotermale profondo, con acque ricche in sali e con temperature elevate. In alcuni punti di misura tale effetto condiziona anche l'acquifero superficiale multifalda. Per quanto concerne la quantità di risorsa dell'acquifero in questione, rimandando ad uno studio specifico per la definizione attendibile del bilancio idrogeologico, si concorda con quanto indicato in via generale da uno studio eseguito nell'anno 2000 nell'area in esame (Quaderni di Geologia Applicata, 7/3/2000) dove si determina un volume totale di acqua immagazzinabile nell'acquifero studiato pari a circa

$180 \times 10^6 \text{ m}^3$. In relazione ai dati disponibili sui prelievi e tenendo in considerazione il rilievo eseguito in questa fase di studio soprattutto in riferimento alla diffusione dei pozzi con prelievi superiori a 10 l/sec, si riscontra che in gran parte dell'area in studio si hanno prelievi eccessivi che possono determinare una condizione di stress idrico associata ad un progressivo peggioramento della qualità delle acque di falda. Il problema dell'acquifero studiato oltre agli eccessivi prelievi prevalentemente per gli usi irrigui è sicuramente, come vedremo in seguito, quello della elevata salinità delle acque.

Passando ad una analisi di dettaglio della morfologia piezometrica per determinare precisamente le aree interessate da stress idrico si sottolinea che il rilievo piezometrico, che ha interessato circa 110 pozzi con dati omogenei, è stato eseguito in un solo giorno da tre squadre di rilevatori nel mese di giugno 2004 (11/06/2004), per garantire la massima istantaneità e quindi rappresentatività della misura. Si sottolinea che il continuo emungimento cui è sottoposta la falda prevalentemente per usi irrigui comporta di misurarne solo il livello in condizioni dinamiche. Si ha quindi una valutazione molto alterata rispetto alle condizioni naturali della falda ma sicuramente attinenti ad una condizione dinamica che ben rappresenta l'acquifero nelle condizioni attuali.

Partendo dall'estremo lembo nord-ovest dell'area dove è stata rappresentata la morfologia piezometrica nella vallecchia minore dei collettori occidentale ed orientale e nella zona di Fonteblanda si rileva in generale un andamento piatto e depresso della superficie piezometrica nelle aree prossime alla linea di costa con livello piezometrico medio pari a quello del mare. Procedendo verso i rilievi collinari la superficie piezometrica assume un andamento ellittico con un'area caratterizzata dalla maggiore depressione (livello anche inferiore al livello del mare) a forma cilindrica iperbolica centrale e con fronte di alimentazione dal massiccio calcareo laterale. Lo stesso fronte di alimentazione si rileva nei pressi di Fonteblanda. Nell'ampia area pianeggiante e pseudo pianeggiante compresa tra i corsi d'acqua attuali del Fiume Osa ed Albegna si rileva in generale una ampia superficie radiale della piezometria che individua chiaramente una zona di alimentazione proveniente dagli affioramenti diretti degli orizzonti acquiferi in prossimità dell'area pedecollinare posta nella porzione est di questa zona. Si rilevano inoltre in quest'area i maggiori condizionamenti dovuti ad eccessivi prelievi che danno luogo a due fenomeni distinti. Il primo è quello che vede localizzata in tale area ed in particolare nell'area compresa tra la zona di retroduna attuale ed i primi rilievi collinari, una vasta zona dove la superficie piezometrica risulta fortemente depressa con valori che scendono anche al di sotto del livello del mare. Si notano inoltre situazioni locali di forte depressione che fanno assumere alla superficie piezometrica il classico andamento cilindrico parabolico. Tali condizionamenti locali dovuti a singoli pozzi con portate significative determinano una tipica situazione con spartiacque dinamici che

intervallano varie condizioni di depressione cilindrica parabolica della superficie piezometrica. Trattasi quindi di tipica falda radiale influenzata dai prelievi.

Anche il rapporto con i corsi d'acqua risente di tale condizione dinamica dei prelievi con situazioni che fanno sì che talora il fiume alimenta la falda e talora invece la drena. Anche nella parte centrale costiera quindi la superficie piezometrica risulta complessa e fortemente influenzata dai prelievi. Tuttavia si nota un fronte di alimentazione anche dal mare che risulta amplificato in prossimità dei corsi d'acqua principali determinando possibili aree di contaminazione naturale a causa dell'eccessiva salinità delle acque di falda.

Dall'analisi della morfologia piezometrica il condizionamento principale di tale fenomeno risulta comunque essere l'eccessivo prelievo eseguito non tanto lungo la linea di costa ma nell'area a funzione agricola esclusiva retrostante. Tale eccessivo prelievo che determina una condizione generale di depressione estesa della falda insiste in una zona che per cause naturali (fronte di alimentazione dal mare, possibili interazioni con circuiti idrotermali profondi) e condizionamenti locali (corsi d'acqua come vie di ingressione prevalente, prelievi dei consorzi di bonifica etc.) è caratterizzata da problemi di eccessiva salinità delle acque di falda causando i presupposti di una zona di stress idrico progressivo esteso anche oltre il confine comunale distante alcuni chilometri dalla linea di costa. Per ulteriori valutazioni si rimanda alla consultazione della carta idrogeologica.

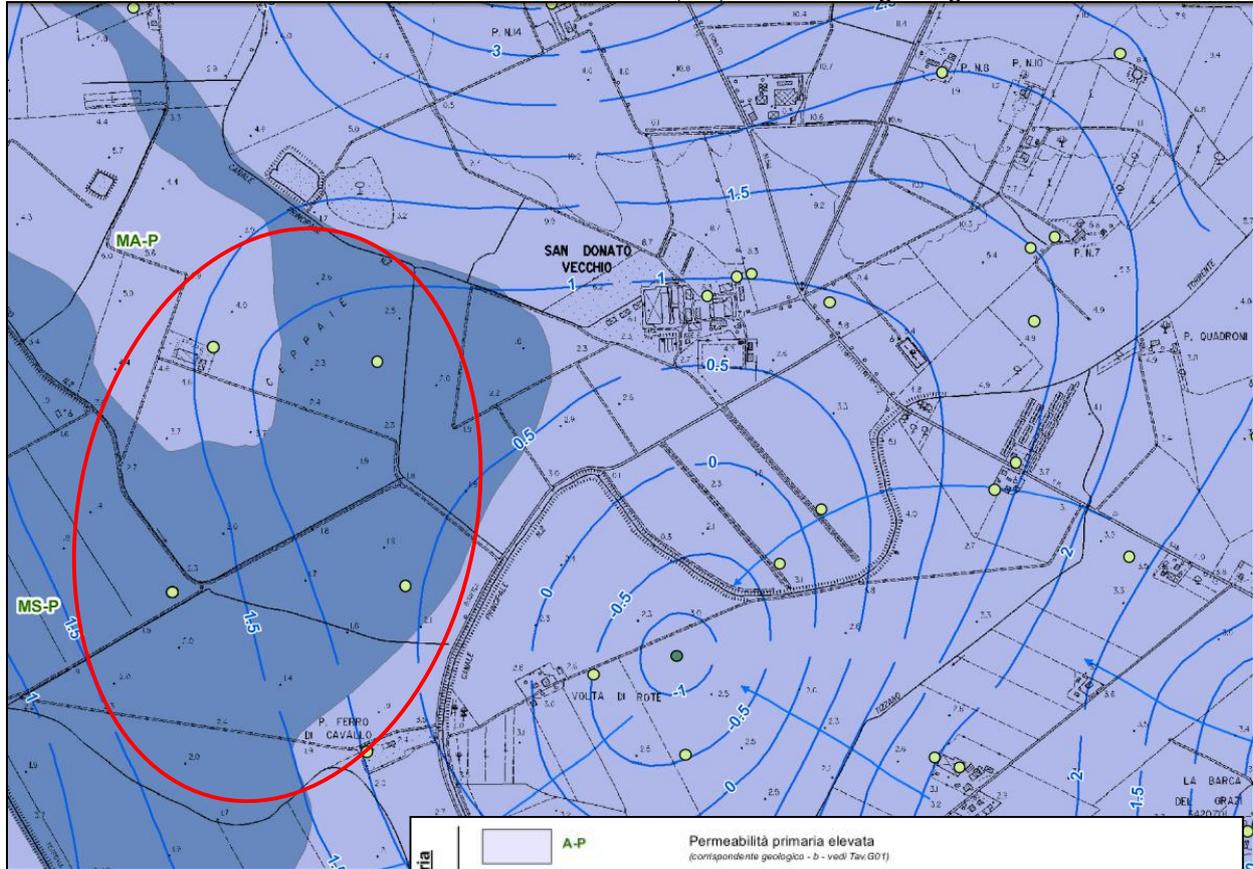
Procedendo in direzione sud nell'analisi della morfologia piezometrica si determina il termine della suddetta area vasta (zona di stress idrico) tra i due corsi d'acqua principali dato dal forte fronte di alimentazione localizzato alle propaggini dei rilievi calcarei.

Trattasi di un tema comune che caratterizza tutta la zona sud del territorio comunale e che è dato dalla forte alimentazione al sistema studiato da parte dell'acquifero del Calcare Cavernoso. Quando l'acquifero intercetta un piano di faglia profondo importante si possono avere fenomeni locali di alimentazione per risalienza dal circuito idrotermale profondo, con acque ricche in sali e con temperature elevate ed anche elevata conducibilità. Nella rimanente porzione sud del territorio si ha una superficie piezometrica prevalentemente radiale a filetti divergenti a partire dal vicino fronte di sovralimentazione dei rilievi calcarei con forma piatta nei pressi della linea di costa e che raramente scende al disotto del livello del mare. In particolare si rileva una forte depressione della superficie piezometrica dovuta ad eccessivi prelievi nei pressi dell'impianto di itticultura posto immediatamente a nord del tombolo della Feniglia.

Comunque dall'analisi della morfologia piezometrica questa forte depressione risulta isolata rispetto all'ampia depressione della falda della pianura compresa tra il Fiume Osa ed Albegna. Tale elemento positivo (la divisione delle 2 depressioni) sotto il profilo idrogeologico è dovuto alla presenza di un forte fronte di sovralimentazione proveniente dall'acquifero del Calcare Cavernoso che da luogo a un vero e proprio spartiacque delle acque di sottosuolo localizzato poco a sud di Orbetello Scalo.

Nella marginale Valle d'Oro, che rappresenta l'estremo lembo sud dell'area oggetto di ricostruzione della superficie piezometrica, il fronte di alimentazione proveniente dai rilievi calcarei risulta essere il fenomeno prevalente causando una condizione locale che, nonostante i numerosi prelievi ad uso irriguo, non risulta interessata da stress idrico. La falda invece assume una forma cilindrica iperbolica con una discreta depressione, amplificata da alcuni prelievi di pozzi esistenti, in prossimità della palude della tagliata etrusca.

Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta idrogeologica



Permeabilità Primaria	
	A-P Permeabilità primaria elevata <i>(corrispondente geologica - b - vedi Tav.G01)</i>
	MA-P Permeabilità primaria medio elevata <i>(corrispondente geologica - b, MESa, MESb, PLUa, SLEc, VILa, VILe - vedi Tav.G01)</i>
	M-P Permeabilità primaria media <i>(corrispondente geologica - b, EMDf, PLIs, MESc, SLEr - vedi Tav.G01)</i>
	MS-P Permeabilità primaria medio bassa <i>(corrispondente geologica -PLIc, MUX - vedi Tav.G01)</i>
Permeabilità Secondaria	
	MA-S Permeabilità secondaria medio elevata <i>(corrispondente geologica - CCA - vedi Tav.G01)</i>
	M-S Permeabilità secondaria media <i>(corrispondente geologica - PTF, MAC, SLEm, PTFa, VINc, VINb, FOSa, CGV, PTFa - vedi Tav.G01)</i>
	MS-S Permeabilità secondaria medio bassa <i>(corrispondente geologica - GBB, PRN, RIO, STO3, APAa, DSA, FOSa, CPE, VEU, VEUa, FOS, APA, FNE - vedi Tav.G01)</i>
	S-S Permeabilità secondaria bassa <i>(corrispondente geologica - STO2, EMOC, BUR, TMI, STO1, OFI, FAA, FAAb, FAAd, FAAg, MESd, EMD - vedi Tav.G01)</i>
	Det-P Permeabilità primaria medio-alta associata a materiale detritico e/o fortemente alterato di modesta continuità laterale <i>(corrispondente geologica - Aa, b2a, h1, h2, h3 e h5 - vedi Tav.G01 e Frane quiescenti, allive e aree a Franosità diffusa - vedi Tav.G02)</i>

Rischio sinkholes

Nel territorio comunale di Orbetello vi sono evidenze di letteratura di fenomeni di sinkholes passati (dati Regione Toscana su fonte ANPA) ormai forme relitte come vecchi laghetti, depressioni colmate ecc...

Nella particolarità l'archivio storico dell'ANPA segnala 10 siti con le seguenti caratteristiche:

REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	LOCALITA' O TOPONIMO	DATA DI FORMAZIONE	DIAMETRO	note	quota	IGM 25	litologia	profondità substrato
Toscana	Grosseto	Orbetello	Lago scuro	secolare	30	nella piana del F. Albegna	7	1351 so	terre rosse e calcare	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello	piccola cavità vicino Lago scuro	sconosciuta prima del 1950	120	substrato a poca profondità	12	1352 NO	alluvioni, terre rosse	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello	Torretta	sconosciuta prima del 1950	260	nella piana del F. Albegna		1351 so	alluvioni, terre rosse	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	podere 55	sconosciuta prima del 1950	130	nella piana del F. Albegna, travertini?	18	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	tre piscine 1	ricolmato nel 1950	123	nella piana del F. Albegna	7	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	tre piscine 2	ricolmato nel 1950	110	nella piana del F. Albegna	7	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	tre piscine 3	ricolmato nel 1950	50	nella piana del F. Albegna	7	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	ceppaie 1	sconosciuta prima del 1950	80	nella piana del F. Albegna	5	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	ceppaie 2	sconosciuta prima del 1950	75	nella piana del F. Albegna	5	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	ceppaie 3	sconosciuta prima del 1950	35	nella piana del F. Albegna	5	1351 SO S. Donato	alluvioni e travertini	decine di m
Toscana	Grosseto	Orbetello-S. Donato	podere 34			nella piana del F. Albegna, depressione circolare con una strada intorno da verificare		1351 SO S. Donato		
Toscana				sconosciuta prima del 1950	190		10	Donato	alluvioni e travertini	decine di m

La genesi del fenomeno dei sinkholes è sotto studio da vari anni anche se ai fini della definizione della pericolosità geologica di supporto ai Piani Strutturali costituisce elemento di novità con l'eccezione dell'evento nel Comune di Grosseto ed in quello di Camaiore. Senza dubbio però è un elemento conosciuto da tenere presente specie nel caso in cui vi siano evidenze storiche del fenomeno in maniera da proporre un adeguato sistema di vincoli e norme specifiche a tutela di beni e persone.

Le cause che possono determinare il fenomeno di sinkhole (sprofondamento rapido ed improvviso del terreno) sono molteplici e generalmente concomitanti. In genere si ha un substrato al di sotto di una copertura sedimentaria (depositi alluvionali) costituito in genere da litotipi soggetti a fenomeni di dissoluzione. Prevalentemente si tratta di rocce carbonatiche (calcari, dolomie, dolomie calcaree, calcari marnosi etc.) o evaporitiche (anidridi gesso e salgemma). Tali litotipi sono tutti in natura carsificabili ovvero soggetti a processi di dissoluzione chimica condizionata dalla circolazione delle acque e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle acque stesse. Oltre ai caratteri litologici e morfologici del substrato, il manifestarsi delle voragini è influenzato dallo spessore e dal tipo di sedimenti di copertura;

materiali sabbiosi o comunque con granulometria intermedia vengono più facilmente mobilizzati dalle acque circolanti rispetto ai materiali fini come limi ed argille. Un ruolo primario è rappresentato dal grado di consolidazione, poiché terreni poco consolidati risultano più soggetti a dissesti rispetto a materiali compatti. Il richiamo di materiali di copertura all'interno di condotti carsici è attivato mediante variazione della superficie freatica che può essere sia di origine naturale che antropica.

Un ulteriore fattore condizionante risulta essere la presenza di fenomeni termali con piezometrica prossima o superiore al piano di campagna. Tale fattore è in diretto collegamento con le grandi lineazioni tettoniche (faglie e fratture) profonde che rappresentano un livello di debolezza locale e via preferenziale per grandi flussi di acqua che possono aumentare i fenomeni carsici (acque ricche di Anidride Carbonica ed acide).

Le zone con notizie storiche di tale fenomeno nel Comune di Orbetello sono comprese tutte nella piana dell'Albegna, ove effettivamente si hanno spessori di sedimenti alluvionali fini talora

prevalentemente sabbiosi di alcune decine di metri posti al di sopra di un substrato litoide carbonatico (Calcere Cavernoso). La stessa zona è interessata da linee di faglia a carattere regionale e da fenomeni di termalismo. Nella Carta Idrogeologica si riporta l'ubicazione dei "sinkholes storici" e di una relativa area di contorno (intorno significativo di circa 300 ml) in cui, in caso di nuovi interventi di tipo edificatorio, si devono eseguire indagini di dettaglio di tipo geoelettrico o di tipo gravimetrico in modo da accertare la profondità del substrato, le caratteristiche dei terreni di copertura e di ogni altra informazione utile alla definizione del problema delle aree soggette a rischio sinkholes.

Il territorio in esame è costituito da terreni quaternari. Si tratta di alluvioni e depositi in genere sciolti di natura limo-argillosa e sabbiosa.

La falda si attesta ad una profondità media di circa 2.5m.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA DI INTERVENTO

Considerata la modestia dell'impatto sul terreno in termini di carichi (strutture porta pannelli ancorate al terreno tramite dei paletti infissi nel suolo sino a profondità di circa 1.5/1.8mt e cabine di trasformazione di ridotte dimensioni) per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo si fa riferimento ai dati acquisiti con le prove penetrometriche statiche effettuate sull'intera area di intervento in corrispondenza della zona di appoggio delle cabine e dei pali porta pannelli.

Le indagini sono consistite in prove penetrometriche CPT spinte fino alla profondità massima di 10.0 metri da p.c. mediante un penetrometro Pagani TG63-200.

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	2
Costante di trasformazione Ct	-



PROVE CPT - METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2\text{ cm/sec} \pm 0,5\text{ cm/sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

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

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7\text{ mm}$
- area di punta $A_p = 10\text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150\text{ cm}^2$

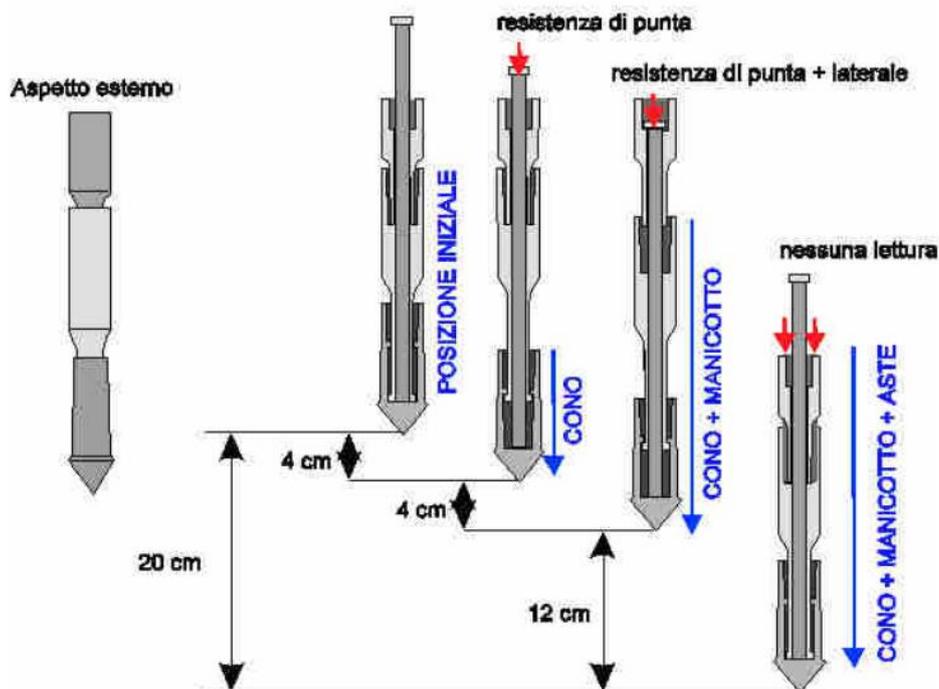


Fig.3 - Punta Begemann: caratteristiche e schema d'avanzamento La punta Begemann è probabilmente la più diffusa. E' dotata di manicotto d'attrito e viene impiegata in prove discontinue. La procedura, partendo dalla posizione di riposo, è la seguente: 1) avanzamento di 4 cm del solo cono, con spinta proveniente dalla batteria di aste interne: lettura della R_p 2) avanzamento di 4 cm di cono + manicotto, spinta dalle aste interne: lettura della R_t 3) avanzamento di 12 cm dell'intera punta, con spinta da parte della batteria di aste esterne, fino al ritorno alla posizione iniziale: nessuna lettura. IndicePiezocono (Prove CPTU):

Sulla batteria di aste esterne è stato installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico.

Le letture di campagna (rilevate dal sistema di acquisizione in Kg/cm²) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta LP = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta.
- Lettura laterale LT = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto.
- Lettura totale LLTT = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru.

La resistenze specifiche Q_c (Resistenza alla punta RP) e Q_l (Resistenza Laterale RL o f_s attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$$A_p = \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann")} = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2$$

$$C_t = \text{costante di trasformazione} = 10$$

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o f_s , attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmetmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2. \quad \text{Resistenza alla punta}$$

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2. \quad \text{Resistenza laterale}$$

$$Q_c (RP) = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / \text{Superficie Punta } A_p$$

$Q_l (RL) (fs) = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / A_m$ area del manicotto di frizione

$$\text{N.B. - } A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

- la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta)

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

I parametri ottenuti per i terreni investigati e adottati poi nelle verifiche, sono ricavati mediante correlazioni empiriche con le resistenze penetrometriche Q_c delle indagini condotte. Si veda tabella sottostante.

Metodi assunti per il calcolo dei parametri geotecnici

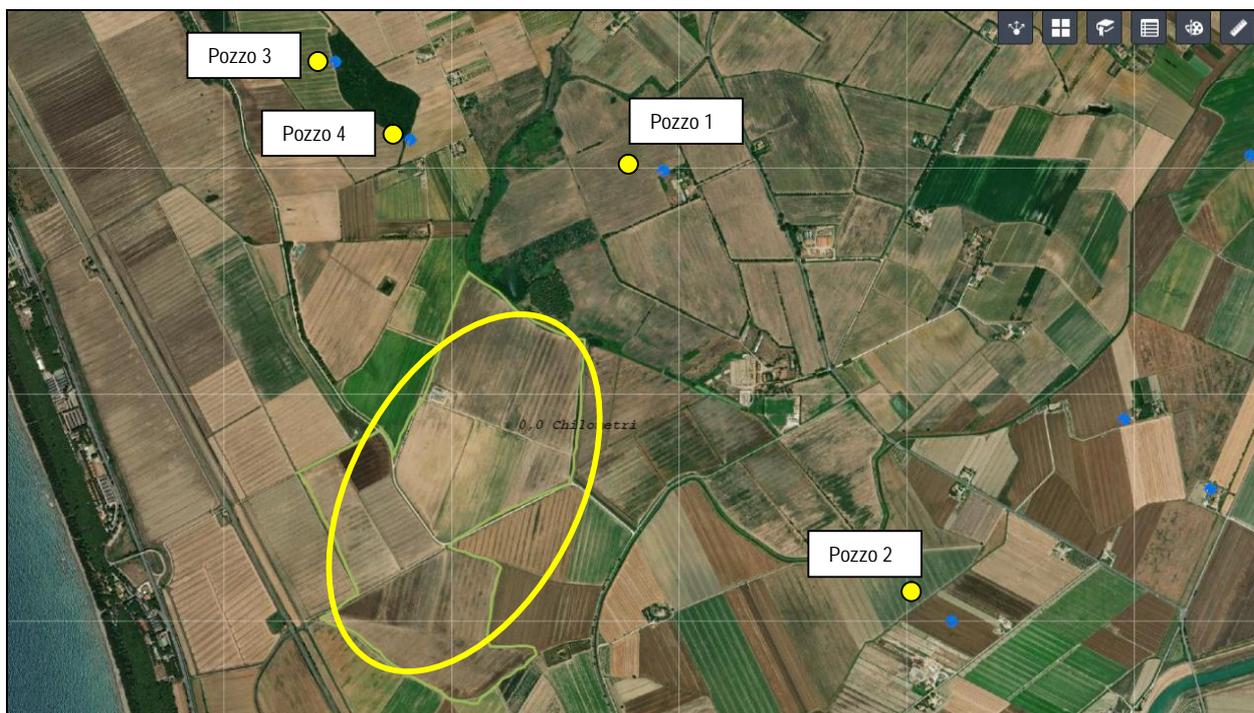
Terreni incoerenti	Formula	Autore	Note
Resistenza al taglio (φ)	$\varphi = 17.4 + 4.49R_p$	Meyerhof	R_p (kg/cm^2) è la resistenza di punta media misurata nello strato
Densità relativa (Dr %)	$Dr = 34.36 \ln \left(\frac{R_p}{12.3\sigma^{0.7}} \right)$	Harman	σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cm^2 e R_p (kg/cm^2) la resistenza di punta media misurata nello strato
Modulo Deformazione (E_s) in Kg/cm^2	$E = 2.5R_p$	Schmertmann	R_p (kg/cm^2) è la resistenza di punta media misurata nello strato
Modulo Edometrico (E_d) in Kg/cm^2	$M = 0.03R_p + 11.7\sigma + 0.79Dr\%$	Robertson - Campanella	σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cm^2 , R_p (kg/cm^2) la resistenza di punta media misurata nello strato e Dr la densità relativa in percentuale
Modulo Deformazione di Taglio (G_0) in Kg/cm^2	$G_0 = 28R_p^{0.611}$	Imai - Tomauchi	R_p è la resistenza di punta media nello strato.
Velocità onde V_s (m/s)	$V_s = \alpha + \beta R_p$	Barrow e Stockoe	$\alpha = 50,6$ e $\beta = 2.1$, valida per ogni terreno
Terreni coesivi	Formula	Autore	Note
Coesione non drenata (c_u) in Kg/cm^2	$c_u = \frac{R_p - \sigma}{20.7 - 0.18IP}$	Lunne e Eide	R_p (kg/cm^2) è la Resistenza alla punta media dello strato; IP è l'Indice di plasticità medio dello strato; σ (kg/cm^2) è la Pressione litostatica efficace a metà strato.
Modulo edometrico (E_d) in Kg/cm^2	$E_d = \alpha R_p$	Mitchell e Gardner	R_p è la resistenza alla punta media dello strato e α è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno
Modulo Deformazione di Taglio (G_0) in Kg/cm^2	$G_0 = 28R_p^{0.611}$	Imai - Tomauchi	R_p è la resistenza di punta media nello strato.
Indice di Compressione C_c	$C_c = 0.09 - 0.055 \text{Log} \left(\frac{2c_u}{\sigma} \right)$	Schmertmann	c_u è la coesione non drenata media dello strato e σ la pressione litostatica efficace media a metà strato

4. MODELLO GEOTECNICO DEI TERRENI

4.1 Caratterizzazione stratigrafica dei terreni

La zona di studio risulta interessata dalla presenza di una coltre di depositi alluvionali caratterizzati, in questa zona, da una prevalenza di sedimenti fini limo-argillosi debolmente sabbiosi. Le prove hanno evidenziato una situazione litotecnica pressoché omogenea in tutta l'area con poche significative differenze soprattutto per quanto riguarda l'orizzonte superficiale (primi 2 m di terreno); da notare terreni superficiali più sabbiosi nella parte nord-ovest dell'area interessata dall'impianto.

Di seguito si riportano dati stratigrafici di pozzi terebrati nelle vicinanze dell'area di interesse.



Pozzo 1

Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
Codice: 188868 Regione: TOSCANA Provincia: GROSSETO Comune: ORBETELLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 55,00 Quota pc slm (m): 12,00 Anno realizzazione: 1991 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 10,000 Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 0 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 10 Longitudine WGS84 (dd): 11,216281 Latitudine WGS84 (dd): 42,536781 Longitudine WGS84 (dms): 11° 12' 58.61" E Latitudine WGS84 (dms): 42° 32' 12.41" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	55,00	55,00	400	
POSIZIONE FILTRI					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	45,00	48,00	3,00	225	
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
lug/1991	7,50	15,00	7,50	10,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	6,00	6,00		ARGILLE SABBIOSE
2	6,00	8,00	2,00		SABBIA
3	8,00	15,00	7,00		ARGILLA CELESTE
4	15,00	17,00	2,00		SABBIA LIMOSA

sgt2.isprambiente.it/indagini/stampa_indagine.aspx?Codice=188868

1/2

27/09/22, 08:16

Stampa documento

5	17,00	41,00	24,00		ARGILLA CELESTE
6	41,00	45,00	4,00		ARGILLA SABBIOSA
7	45,00	48,00	3,00		GHIAIA CON SABBIA
8	48,00	51,00	3,00		ARGILLA
9	51,00	52,00	1,00		ARGILLA CON TROVANTI
10	52,00	55,00	3,00		ARGILLA

Pozzo 2

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 189025 Regione: TOSCANA Provincia: GROSSETO Comune: ORBETELLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 58,70 Quota pc slm (m): 4,00 Anno realizzazione: 1992 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 15,000 Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 0 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 6 Longitudine WGS84 (dd): 11,230169 Latitudine WGS84 (dd): 42,520669 Longitudine WGS84 (dms): 11° 13' 48.61" E Latitudine WGS84 (dms): 42° 31' 14.41" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	58,70	58,70	500

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	42,00	49,00	7,00	250

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
dic/1992	1,50	3,00	1,50	15,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	10,00	10,00		ARGILLA
2	10,00	36,00	26,00		ARGILLA CELESTE LIMOSA
3	36,00	42,00	6,00		ARGILLA
4	42,00	49,00	7,00		GHIAIA

sg12.isprambiente.it/indagini/stampa_indagine.aspx?Codice=189025

1/2

27/09/22, 08:16

Stampa documento

5	49,00	52,00	3,00		SABBIE CONGLOMERATE
6	52,00	58,70	6,70		ARGILLA

Pozzo 3

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 188986 Regione: TOSCANA Provincia: GROSSETO Comune: ORBETELLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 47,00 Quota pc slm (m): 5,00 Anno realizzazione: 1999 Numero diametri: 0 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 11,000 Portata esercizio (l/s): 9,000 Numero falde: 2 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 8 Longitudine WGS84 (dd): 11,200450 Latitudine WGS84 (dd): 42,540669 Longitudine WGS84 (dms): 11° 12' 01.63" E Latitudine WGS84 (dms): 42° 32' 26.41" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	6,00	15,00	9,00
2	45,00	47,00	2,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	45,00	47,00	2,00	250

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
apr/1999	3,00	11,00	8,00	11,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO AGRICOLO
2	1,00	6,00	5,00		ARGILLA
3	6,00	15,00	9,00		SABBIA CON ACQUA

sgl2.isprambiente.it/Indagini/stampa_indagine.aspx?Codice=188986

1/2

27/09/22, 08:17

Stampa documento

4	15,00	15,50	0,50		PASSAGGIO DI ARGILLA MARRONE
5	15,50	16,00	0,50		PANCHINA
6	16,00	17,50	1,50		SABBIA
7	17,50	45,00	27,50		ARGILLA
8	45,00	47,00	2,00		GHIAIA CON ACQUA

Pozzo 4

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 188915 Regione: TOSCANA Provincia: GROSSETO Comune: ORBETELLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 64,00 Quota pc slm (m): 4,00 Anno realizzazione: 1993 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 8,000 Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 0 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 9 Longitudine WGS84 (dd): 11,204061 Latitudine WGS84 (dd): 42,537889 Longitudine WGS84 (dms): 11° 12' 14.62" E Latitudine WGS84 (dms): 42° 32' 16.40" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	64,00	64,00	350

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	56,00	59,00	3,00	200

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
mag/1993	4,00	12,00	8,00	8,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,50	2,50		ARGILLA
2	2,50	9,00	6,50		SABBIE CONGLOMERATE
3	9,00	15,00	6,00		ARGILLA
4	15,00	19,00	4,00		SABBIA

sgiz.isprambiente.it/indagini/stampa_indagine.aspx?Codice=188915

1/2

27/09/22, 08:18

Stampa documento

5	19,00	39,00	20,00		ARGILLA CELESTE
6	39,00	42,00	3,00		SABBIE CONGLOMERATE
7	42,00	56,00	14,00		ARGILLA
8	56,00	59,00	3,00		GHIAIA
9	59,00	64,00	5,00		ARGILLA

ZONA NORD-OVEST

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DATI ANALITICI PROVE CPT			
DESCRIZIONE LITOLOGICA	Peso di Volume $\gamma - \text{Kg/dm}^3$	Angolo attrito ϕ (°)	Coesione non drenata $C_u - \text{Kg/cm}^2$
Limi sabbiosi ed argillosi p.c. – 1.5/2.0m Litologia B	1.85	26-28	0.6-0.8

AREA RESTANTE

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DATI ANALITICI PROVE CPT			
DESCRIZIONE LITOLOGICA	Peso di Volume $\gamma - \text{Kg/dm}^3$	Angolo attrito ϕ (°)	Coesione non drenata $C_u - \text{Kg/cm}^2$
Argille debolmente limose p.c. – 4.0m Litologia A	1.85	0	1.0-1.8
Limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi 4.0m-6.0m Litologia B	1.85	28-30	1.0-1.4

I grafici mostrano nel suo complesso un andamento tipico di un terreno a componente principalmente coesiva (depositi alluvionali argillosi con una buona aliquota di coesione non drenata – l'area a nord-est nell'intorno della fattoria presenta terreni più sabbiosi). La struttura portante dei pannelli fotovoltaici sarà fondata ad una profondità intorno ai 1.5/1.8 metri; in corrispondenza di questa profondità le caratteristiche del sottosuolo presentano buoni parametri geotecnici. I risultati dell'indagine geognostica hanno evidenziato, quindi che il terreno oggetto di studio è costituito prevalentemente da litotipi alluvionali argillosi all'interno dei quali sono intercalati sporadici livelli limo-sabbiosi. In conclusione possiamo affermare che l'area oggetto di studio è caratterizzata da terreni alluvionali di bassa energia ovvero argille, argille limose con sporadici livelli di limi sabbiosi.

STRATIGRAFIA TERRENO - cabine elettriche

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consolidazione primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria
0.2	17.65	20.59	42.0	0.0	0.0	11375.71	7943.39	0.0	0.0	0.0
0.2	20.72	21.5	42.0	0.0	225.55	9022.12	9021.98	0.0	0.0	0.0
1.2	19.39	20.17	0.0	0.0	101.01	0.0	4053.42	0.0	0.0	0.0
0.2	19.55	20.34	34.37	0.0	112.78	4511.06	4510.99	0.0	0.0	0.0
0.4	18.71	19.5	0.0	0.0	68.65	0.0	4739.64	0.0	0.0	0.0
0.2	19.94	20.72	34.72	0.0	142.2	5687.86	5687.77	0.0	0.0	0.0
1.6	19.84	20.63	0.0	0.0	135.33	0.0	5393.57	0.0	0.0	0.0
0.2	20.09	20.88	33.92	0.0	156.91	6276.26	6276.16	0.0	0.0	0.0
0.4	19.95	20.74	33.32	0.0	145.14	5785.92	5785.83	0.0	0.0	0.0
0.2	20.29	21.07	0.0	0.0	176.52	0.0	7060.68	0.0	0.0	0.0
0.4	20.14	20.92	33.54	0.0	161.81	6472.39	6472.29	0.0	0.0	0.0

0.2	18.63	21.57	33.81	0.0	0.0	7060.79	4167.83	0.0	0.0	0.0
0.2	19.37	20.15	30.94	0.0	102.97	4118.79	4118.73	0.0	0.0	0.0
0.4	19.79	20.58	32.08	0.0	132.39	5295.59	5295.51	0.0	0.0	0.0
0.4	19.59	20.38	31.29	0.0	117.68	4707.19	4707.12	0.0	0.0	0.0
0.2	20.41	21.2	33.64	0.0	191.23	7649.19	7649.07	0.0	0.0	0.0
0.2	20.41	21.2	33.55	0.0	191.23	7649.19	7649.07	0.0	0.0	0.0
1.0	19.96	20.75	0.0	0.0	147.1	0.0	5883.9	0.0	0.0	0.0
0.2	20.07	20.85	32.05	0.0	156.91	6276.26	6276.16	0.0	0.0	0.0
1.8	19.84	20.63	0.0	0.0	138.27	0.0	5513.41	0.0	0.0	0.0

4.2. Carico ammissibile sul substrato di fondazione CABINE e INVERTER.

Nel caso in questione, fondazioni a platea con piano di imposta a -0.2/-0.3m da p.c., la stabilità è regolata da terreni a comportamento coesivo.

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	7.5 m
Lunghezza fondazione	3.5 m
Profondità piano di posa	0.3 m
Profondità falda	2.0
Correzione parametri	

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.036
Effetto sismico secondo	NTC: Cascone Maugeri
Fattore di comportamento [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.25
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0.0072
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0.0939

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.235	2.612	0.188
S.L.D.	35.0	0.255	2.632	0.192
S.L.V.	332.0	0.471	2.765	0.284
S.L.C.	682.0	0.559	2.826	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3525	0.2	0.0072	0.0036
S.L.D.	0.3825	0.2	0.0078	0.0039
S.L.V.	0.7065	0.2	0.0144	0.0072
S.L.C.	0.8385	0.2	0.0171	0.0086

Le verifiche si sono fatte assumendo tali configurazioni per valutare il grado di stabilità globale. Non conoscendo i carichi di progetto né di esercizio, né gli eventuali momenti o sforzi laterali cui può essere soggetta la struttura e le fondazioni, si dà solo la pressione di progetto calcolata per i vari SL.

Si sono eseguite le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e alle condizioni di esercizio (SLE) nel rispetto dei principi e delle procedure citate nel paragrafo 6.2.3 delle NTC.

Per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) si è utilizzato il metodo dei coefficienti parziali che le NTC indicano, per ogni stato limite ultimo, nella condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione normale alla base della fondazione e dove Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nel calcolo di Ed e Rd è necessario moltiplicare le azioni di progetto per il coefficiente parziale γ_F e dividere i parametri di progetto per il coefficiente parziale γ_M , secondo le combinazioni fornite dalla normativa in relazione a ciascuna opera geotecnica.

Al paragrafo 6.2.3.1 delle NTC è scritto che *"la verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi"*.

Per le verifiche della suddetta condizione si è utilizzato l'Approccio progettuale 2 con la Combinazione 1 (A1+M1+R3) come prevedono le NTC 2018. Si sono anche utilizzati gli approcci progettuali sisma, SLE e SLD forniti dal software Loadcap che permettono di ricavare i carichi di servizio ed i conseguenti cedimenti del sistema "terreno-fondazioni" tenendo conto dell'azioni del sisma di progetto precedentemente calcolate.

Il valore di progetto della resistenza Rd è stato determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II delle NTC (vedi tabella sottostante) e tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Il coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema è riportato nella tabella sottostante (da Tab. 6.4.1 NCT).

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
A1+M1+R3	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
Sisma	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
SLE	No	1	1	1	1	1	1	1
SLD	No	1	1	1	1	1	1	1

Inoltre, il sistema geotecnico relativo all'opera in progetto è stato verificato anche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE). Infatti, "il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese per l'opera stessa. Il grado d'approfondimento dell'analisi di interazioni terreno-struttura è funzione dell'importanza dell'opera (par. 6.2.3.3 NTC). Per ciascun stato limite di esercizio la condizione da rispettare è

$$Ed \leq Cd$$

Dove Ed è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e Cd è il valore limite dell'effetto delle azioni stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

Le NTC – par. 6.4.2.2 – indicano che "si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7). Analogamente, forma, dimensioni e rigidità della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

Metodo utilizzato per il carico limite

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Vd \leq Rd$$

Dove Vd è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto Rd si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L') \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{Per fondazioni quadrate o circolari.}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H / A' c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B' / L') \cdot \text{sen} \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \text{sen} \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B' / L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H

$$i_q = \left[1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi') \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi') \right]^{m+1}$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Dove:

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]} \quad \text{con } H/B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]} \quad \text{con } H/L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L', l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_{\theta} = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

VERIFICHE SLU e SLE

Si è adottata la condizione non drenata non essendo disponibile la definizione delle resistenze drenate ottenibili da analisi di laboratorio per i terreni fini.

Assumendo le combinazioni di calcolo sopra citate si è ricavato il carico agente sul sottosuolo con fondazione a platea per la struttura in progetto.

La tabella sottostante indica i risultati mentre di seguito vengono riportati il Carico limite (Q), la resistenza di progetto (Rd – paragonabile alla vecchia q_{amm}), il Fattore di sicurezza (F) tra il Carico Limite e la Pressione normale di progetto e la verifica o meno del rapporto $Ed \leq Rd$.

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	168.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	168.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	168.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	168.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult]	506.06 kN/m ²
Resistenza di progetto[Rd]	220.02 kN/m ²
Tensione [Ed]	168.69 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 20242.29 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	19.76 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	20.59 kN/m ³
Angolo di attrito	0.0 °
Coesione	131.0436 kN/m ²
Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14

Fattore forma [Sc]	1.43
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
=====	
Carico limite	650.3 kN/m ²
Resistenza di progetto	282.74 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Sisma

Autore: *Brinch - Hansen 1970* (Condizione non drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====	
Peso unità di volume	19.76 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	20.59 kN/m ³
Angolo di attrito	0.0 °
Coesione	131.0436 kN/m ²
=====	
Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.43
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
=====	
Carico limite	650.3 kN/m ²
Resistenza di progetto	361.28 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

4.3. Metodo utilizzato per i cedimenti - CEDIMENTI EDOMETRICI

I parametri di deformabilità dei terreni sono stati ricavati mediante correlazioni empiriche con qc delle prove condotte. Il tempo di calcolo per i cedimenti di consolidazione è stato preso pari a 15. Nel calcolo si è tenuto conto dello spessore di terreno asportato, fattore questo che riduce l'effettivo carico imposto. Il metodo usato è stato il metodo di consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Pertanto la stima effettuata con questo metodo va considerata come empirica, piuttosto che teorica.

Tuttavia la semplicità d'uso e la facilità di controllare l'influenza dei vari parametri che intervengono nel calcolo, ne fanno un metodo molto diffuso.

L'approccio edometrico nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi:

- a) il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;
- b) la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In riferimento ai risultati della prova edometrica, il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

se si tratta di un terreno sovraconsolidato ($OCR > 1$), ossia se l'incremento di tensione dovuto all'applicazione del carico non fa superare la pressione di preconsolidazione σ'_p ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v < \sigma'_p$).

Se invece il terreno è normalconsolidato ($\sigma'_{v0} = \sigma'_p$) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

- RR Rapporto di ricomprensione;
- CR Rapporto di compressione;
- H_0 Spessore iniziale dello strato;
- σ'_{v0} Tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico;
- $\Delta\sigma_v$ Incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

In alternativa ai parametri RR e CR si fa riferimento al modulo edometrico M ; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

- la suddivisione degli strati compressibili in una serie di piccoli strati di modesto spessore (< 2.00 m);
- la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;
- il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

Molti usano le espressioni sopra riportate per il calcolo del cedimento di consolidazione tanto per le argille quanto per le sabbie di granulometria da fina a media, perché il modulo di elasticità impiegato è ricavato direttamente da prove di consolidazione. Tuttavia, per terreni a grana più grossa le

dimensioni dei provini edometrici sono poco significative del comportamento globale dello strato e, per le sabbie, risulta preferibile impiegare prove penetrometriche statiche e dinamiche.

Cedimento secondario

Il cedimento secondario è calcolato facendo riferimento alla relazione:

$$\Delta H_s = H_c \cdot C_\alpha \cdot \log \frac{T}{T_{100}}$$

in cui:

H_c E' l'altezza dello strato in fase di consolidazione;

C_α E' il coefficiente di consolidazione secondaria come pendenza nel tratto secondario della curva *cedimento-logaritmo tempo*;

T Tempo in cui si vuole il cedimento secondario;

T_{100} Tempo necessario all'esaurimento del processo di consolidazione primaria.

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

Cedimento edometrico calcolato con il Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto 50 kN/m²

Cedimento dopo T anni 15.0

Cedimento totale al centro 3.79cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	0.35	6.638	44.398	Edometrico	0.0492	--	0.0492
3	1	19.308	43.335	Edometrico	1.2829	--	1.2829
4	1.7	32.897	38.739	Edometrico	0.1718	--	0.1718
5	2	38.594	36.121	Edometrico	0.3048	--	0.3048
6	2.3	41.624	33.421	Edometrico	0.1175	--	0.1175
7	3.2	51.374	25.916	Edometrico	0.7688	--	0.7688
8	4.1	61.139	19.999	Edometrico	0.0637	--	0.0637
9	4.4	64.433	18.377	Edometrico	0.127	--	0.127
10	4.7	67.746	16.911	Edometrico	0.0479	--	0.0479
11	5	71.095	15.586	Edometrico	0.0963	--	0.0963
12	5.3	74.494	14.39	Edometrico	0.0691	--	0.0691
13	5.5	76.705	13.657	Edometrico	0.0663	--	0.0663
14	5.8	79.893	12.646	Edometrico	0.0955	--	0.0955
15	6.2	84.163	11.445	Edometrico	0.0973	--	0.0973
16	6.5	87.416	10.643	Edometrico	0.0278	--	0.0278
17	6.7	89.695	10.149	Edometrico	0.0265	--	0.0265
18	7.3	96.306	8.843	Edometrico	0.1503	--	0.1503
19	7.9	102.882	7.758	Edometrico	0.0247	--	0.0247
20	8.9	113.727	6.324	Edometrico	0.2065	--	0.2065

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto	50.0 kN/m ²
Tempo	15.0
Profondità significativa Zi (m)	5.212
Media dei valori di N _{spt} all'interno di Zi	21.86364
Fattore di forma fs	0.663
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1.44
Indice di compressibilità	0.023
Cedimento	4.108 mm

I cedimenti calcolati riguardano fondazioni flessibili. Per ottenere il cedimento teorico totale con fondazioni rigide bisogna moltiplicare il valore ricavato per 0.75.

Per fondazioni a platea, Wilum e Starzewski (1974) fissano in 80÷100mm i cedimenti totali massimi ammissibili ed in 0.003 ($\delta/L \approx 1/300$) e 0.005 ($\delta/L \approx 1/200$) il rapporto tra il cedimento differenziale di due punti e la loro distanza ossia la distorsione angolare.

Altri autori (Bowles, 1994) indicano, invece, in 50mm il cedimento totale atteso ed in 20mm quello differenziale per fondazioni a platea; mentre i valori di β (distorsione angolare) vengono fissati tra 0.002 ($\delta/L \approx 1/500$) e 0.003 ($\delta/L \approx 1/300$), cioè tra il limite di sicurezza, per non avere fessurazioni, ed il limite inferiore, quando queste iniziano (Bjerrum, 1963).

Per alcuni autori (Skempton e MacDonald, 1955) i valori massimi dei cedimenti tollerabili sono:

- Travi continue, plinti: S max = 3.8cm (sabbie) S max = 6.3 cm (argille)
- Platee di fondazione: S max = 5,0 cm (sabbie) S max = 8.2 (argille)

Dall'analisi dei risultati emerge che con una pressione di progetto di 50kN/m² (SLE) i valori del cedimento fissati in termini di cedimenti totali, sia come fondazione flessibile che rigida, vengono rispettati.

La fondazione, al fine di contenere al minimo i cedimenti differenziali, deve essere adeguatamente irrigidita.

L'irrigidimento del sistema fondale deve avvenire sull'intero orizzonte fondale, per evitare che si creino zone di cerniera con conseguente richiamo delle distorsioni. Il grado di irrigidimento deve essere proporzionale non solo all'entità dei carichi totali, ma anche al grado della loro disomogeneità.

5. SISMICITA' LOCALE E DATI PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

Il calcolo dell'azione sismica di progetto, secondo l'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 30/03/2003 e NTC2018, è in relazione alla zonazione sismica ed alle categorie di suolo di fondazione.

Il Comune di Orbetello (GR) viene inserito in Classe 4.

L'analisi del profilo stratigrafico del suolo di fondazione permette di inserirlo in Categoria C.

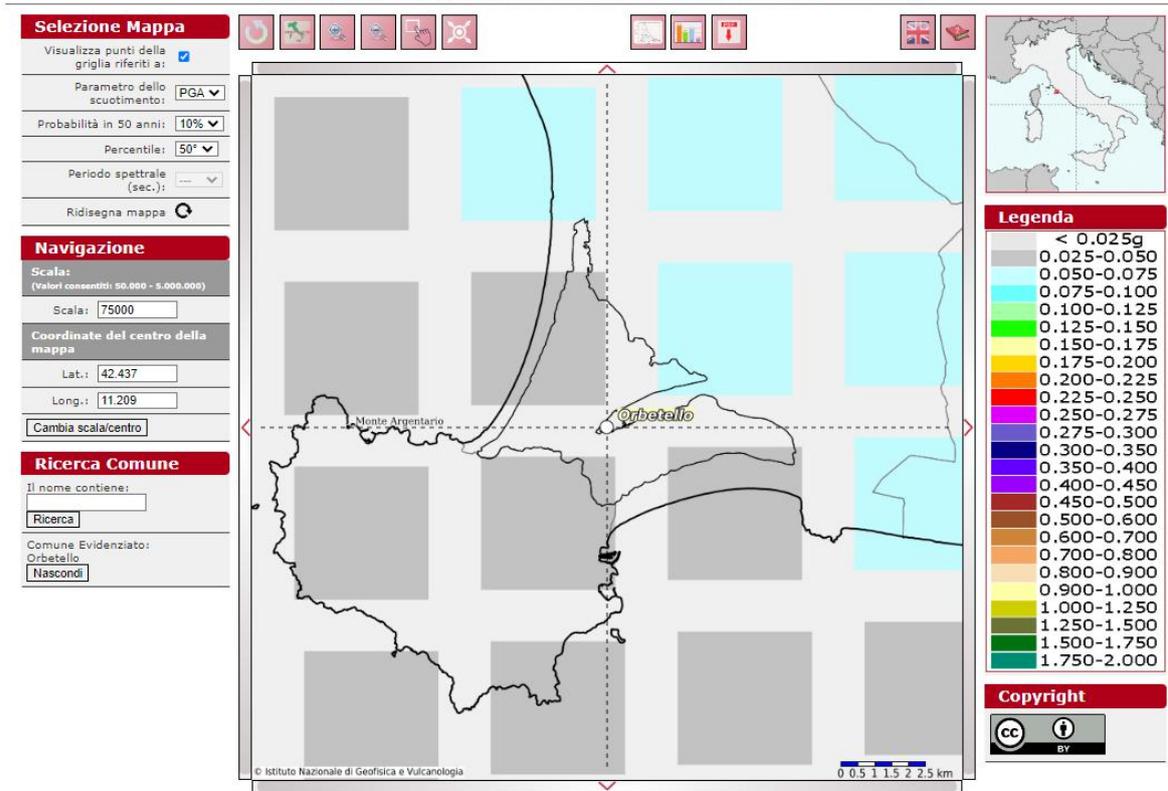
Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

5.1. Dati per la progettazione sismica

La classificazione sismica introdotta dall'O.P.C.M. 3519/2006 -" Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"- recepita dal D.M. 14/01/2008 e D.M. 17/01/2018, attribuisce al Comune di Grosseto (GR) un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo di 0.050-0.075g con T=0, su suolo rigido con $180 < V_{seq} < 360$ m/s e con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale. Nella figura seguente si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vr} a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T^*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

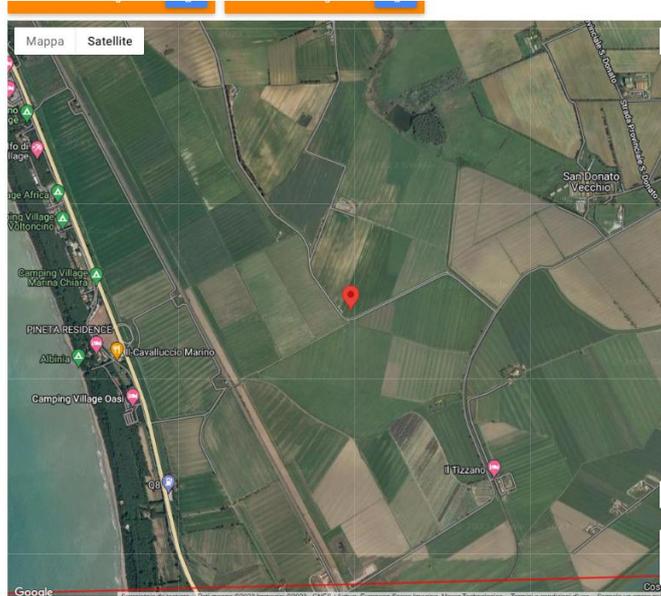
Nella Tabella che segue si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limiti a cui si può spingere la progettazione.

Stati Limite	P_{vr} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_r	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito indipendente". Come indicato nel D.M. 17 gennaio 2018, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Si valutano i parametri spettrali a_g , F_0 e T^*C per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica (T1) la categoria del sottosuolo C e la classe d'uso della costruzione (I).

Si ricava:



Stati limite

Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.024	2.612	0.188
Danno (SLD)	35	0.026	2.632	0.192
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.048	2.765	0.284
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.057	2.826	0.300

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 35

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,82	1,81	1,59	1,56
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.008	0.015	0.017
kv	0.004	0.004	0.007	0.009
Amax [m/s ²]	0.358	0.379	0.713	0.842
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

5.2 INDAGINE HVSR

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

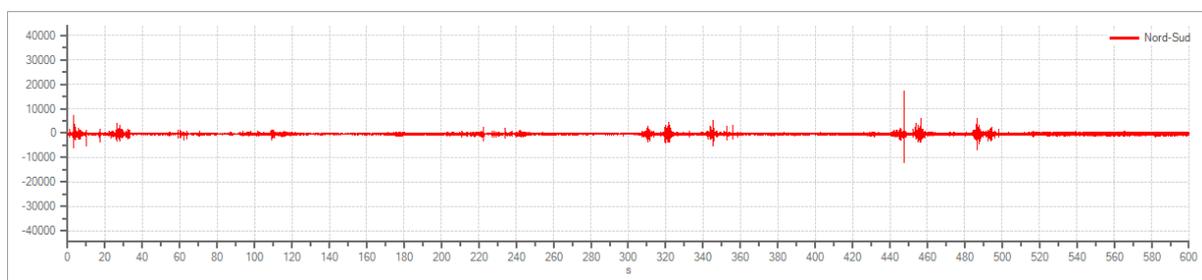
Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

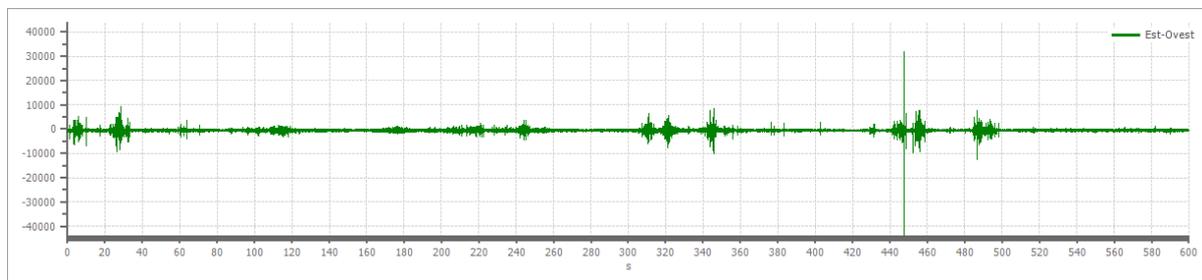
Tracce in input

Dati riepilogativi:

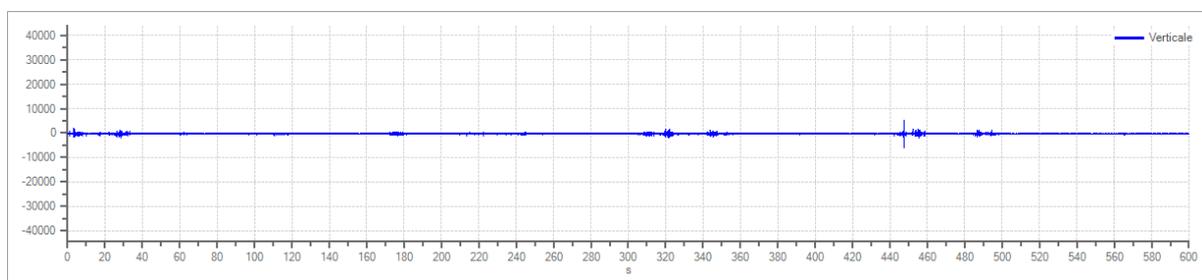
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 600 s
Frequenza di campionamento: 125.00 Hz
Numero campioni: 75000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest

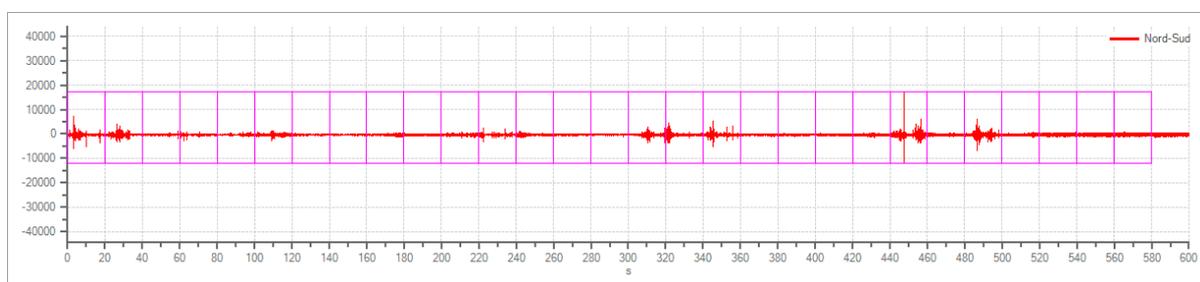


Traccia in direzione Verticale

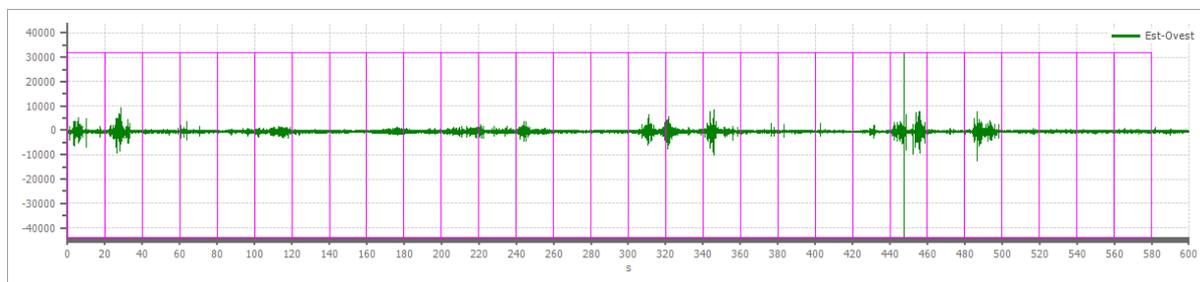
Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

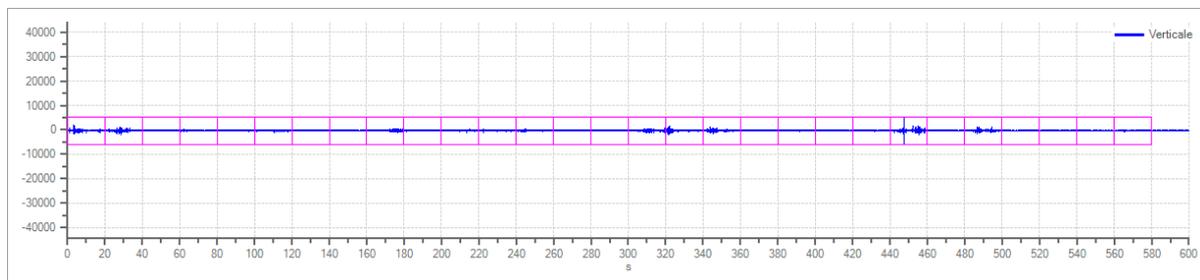
Numero totale finestre selezionate: 29
Numero finestre incluse nel calcolo: 29
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamto: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamto: 10.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

Grafici tracce con finestre selezionate:

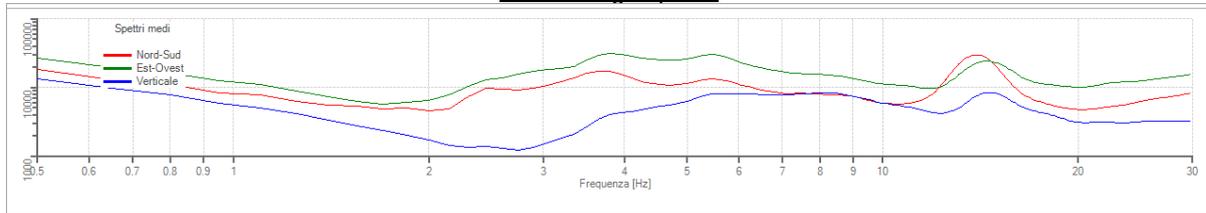
Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



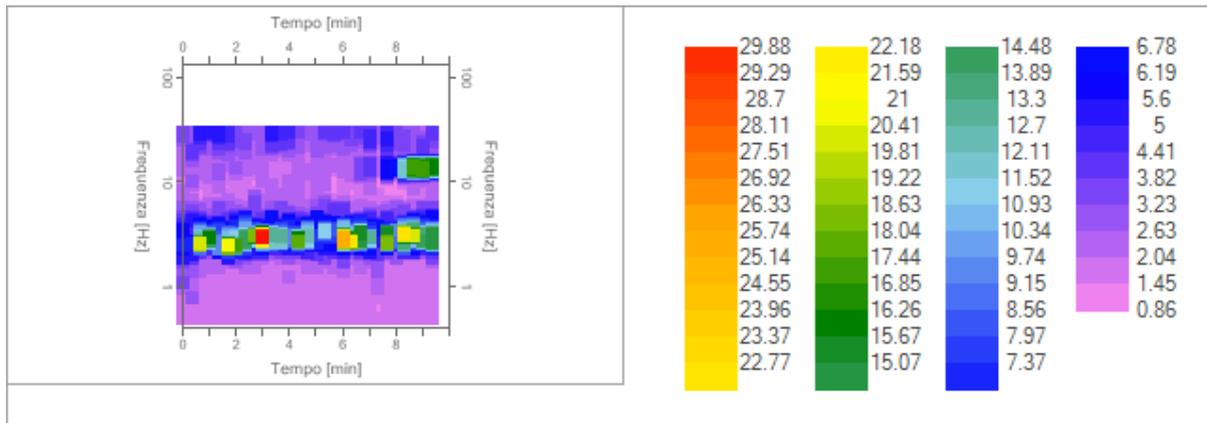
Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



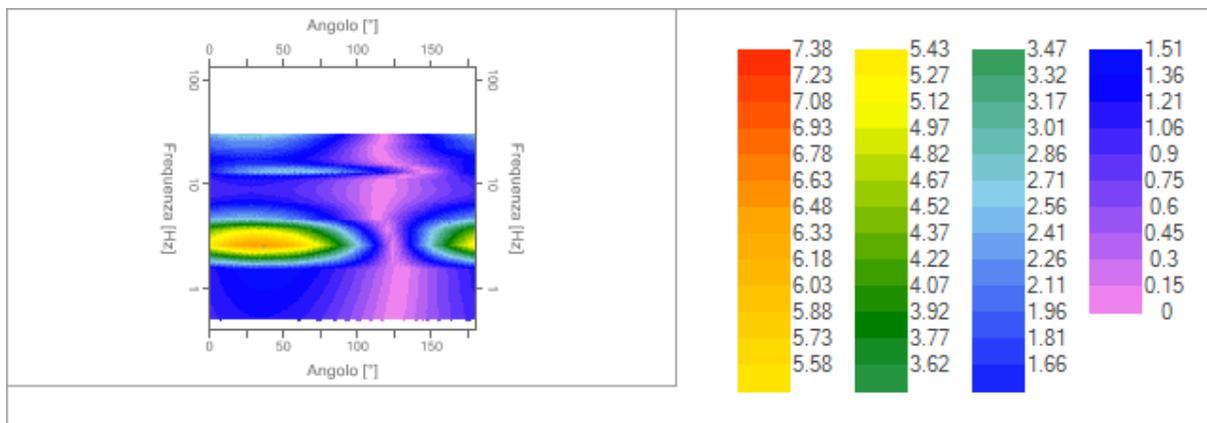
Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

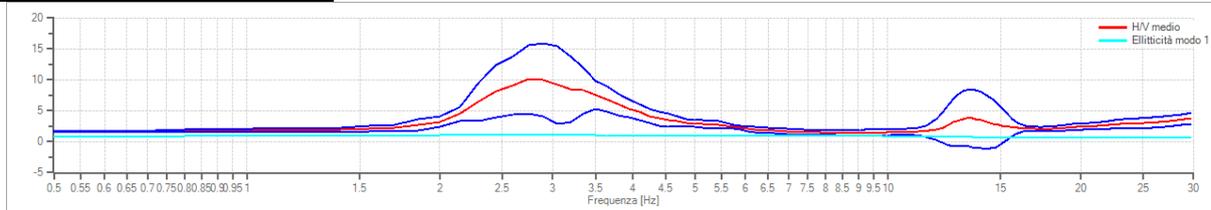
Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.75 Hz ± 0.55 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V

Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Modello stratigrafico

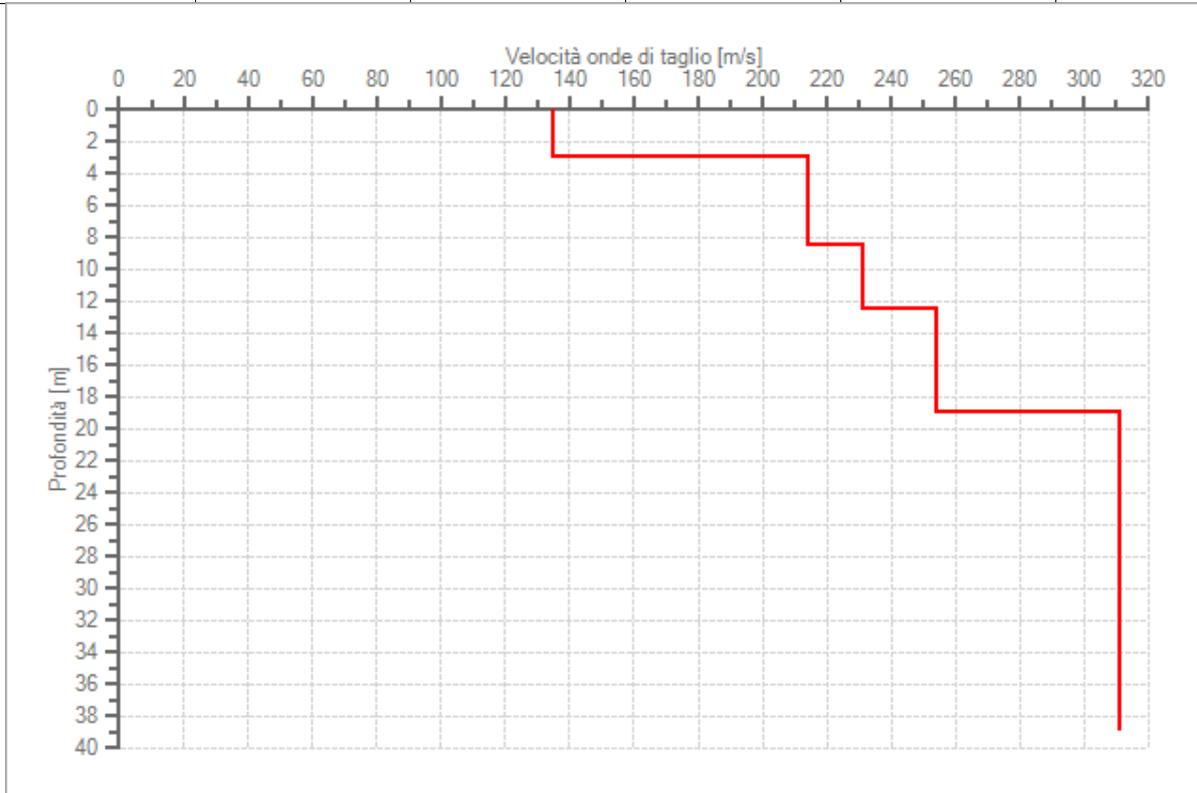
Dati riepilogativi:

Numero strati:	5
Frequenza del picco dell'ellitticità:	2.75 Hz
Valore di disadattamento:	-1.00
Valore Vseq:	237.72 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3	18	0.3	135
2	3	5.5	18	0.3	214
3	8.5	4	18	0.3	231
4	12.5	6.5	18	0.3	254

5	19	20	18	0.3	311
---	----	----	----	-----	-----



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

INDAGINE MASW

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

Moto del segnale sismico

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

P-Longitudinale: onda profonda di compressione;

S-Trasversale: onda profonda di taglio;

L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;

R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

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

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio $f-k$ è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

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

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

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

Modi di vibrazione

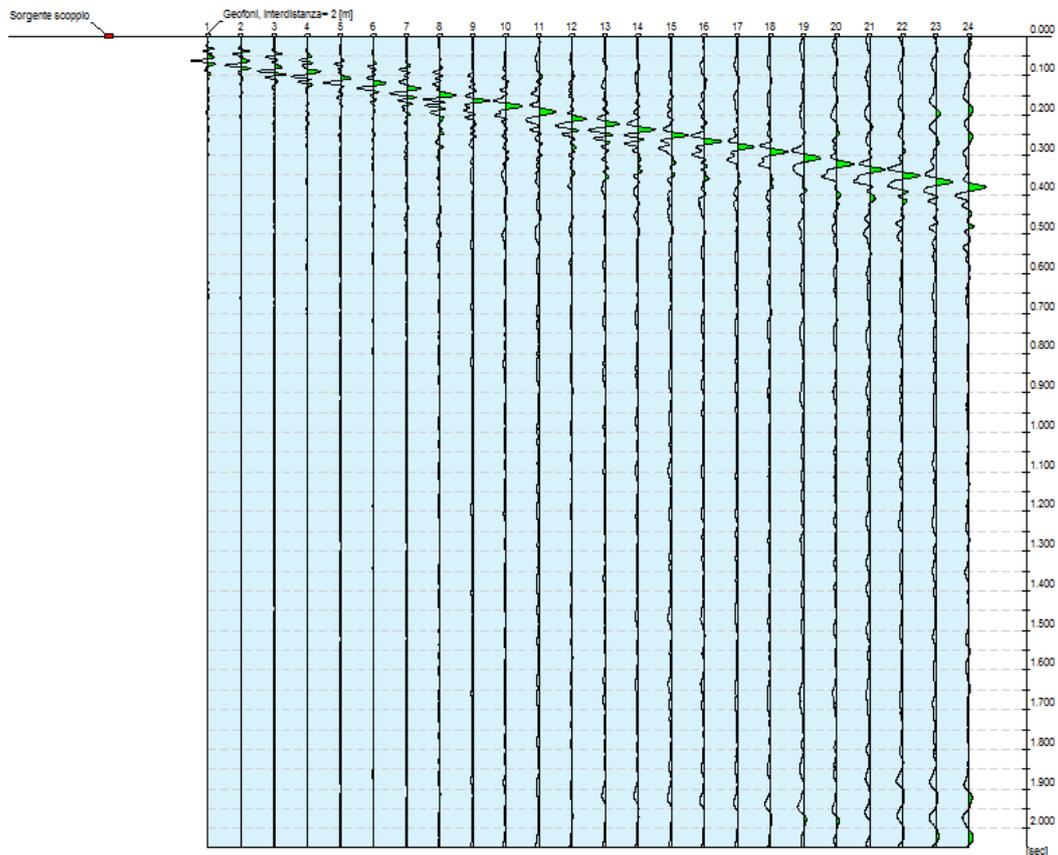
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle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

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Le prove sono state eseguite, utilizzando un sismografo digitale della MAE srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.

1. Numero geofoni: 16 con frequenza propria 4.5 Hz distanza geofonica 2.0 m;
2. Acquisizione a 7651 Hz per 1 sec.
3. Numero profili: 3 masw;
4. Tiri: n. 3 cad profilo masw 1 .
 - i. Tiro n. 1 eseguito – 2.0 metri dal geofono n. 22 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
 - ii. Tiro n. 2 eseguito – 4.0 metri dal geofono n. 22 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
 - iii. Tiro n. 3 eseguito – 6.0 metri dal geofono n. 22 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
5. Lunghezza singolo profilo: 30 metri;
6. Sorgente utilizzata: Mazza battente kg 6 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);
7. Energia utilizzata: numero 1 colpo (masw) di mazza per tiro;



Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.7	275.0	0
2	4.1	204.4	0
3	5.8	153.6	0
4	9.9	133.9	0
5	13.4	137.2	0
6	16.5	135.4	0
7	19.4	130.4	0
8	22.3	130.3	0
9	25.2	132.6	0
10	28.1	137.1	0
11	31.3	138.8	0
12	34.4	137.2	0

Inversione

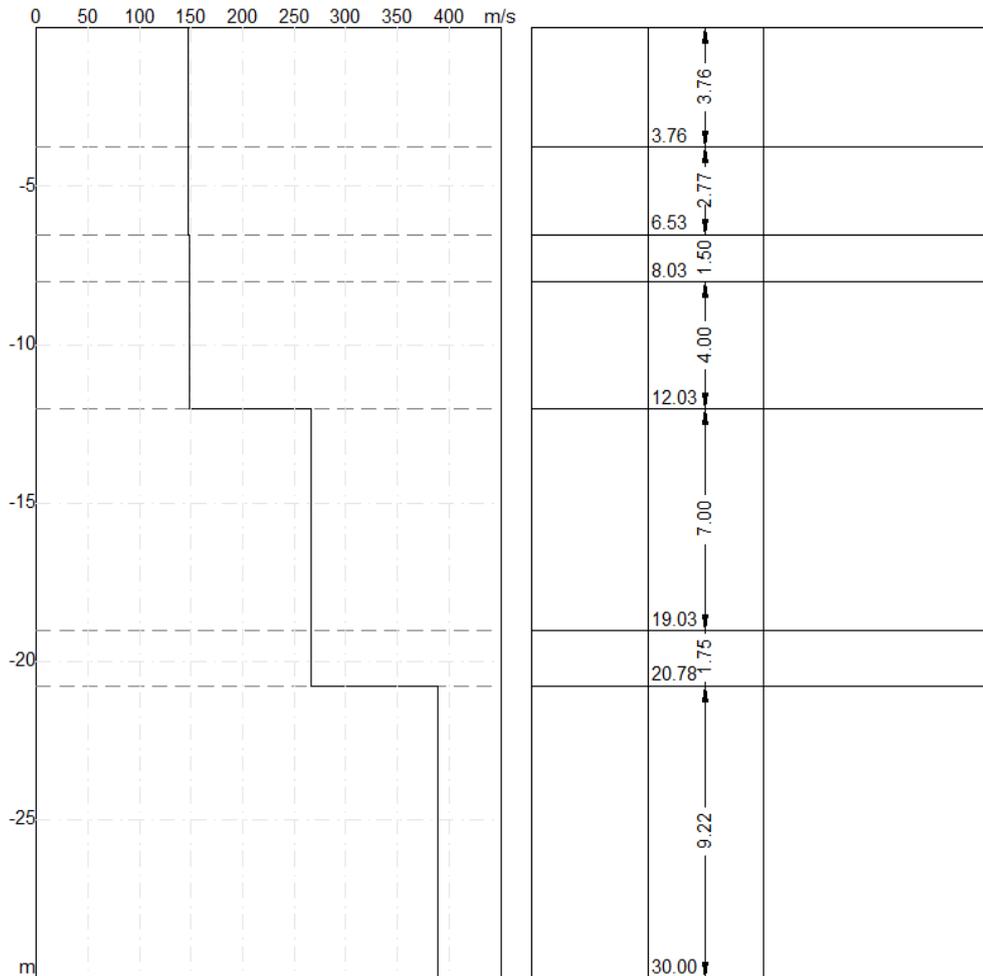
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.76	3.76	1800.0	0.2	Si	241.1	147.7
2		6.53	2.77	1800.0	0.2	Si	241.2	147.7
3		8.03	1.50	1800.0	0.2	Si	241.3	147.8
4		12.03	4.00	1800.0	0.2	Si	241.8	148.1
5		19.03	7.00	1800.0	0.2	Si	433.9	265.7
6		20.78	1.75	1800.0	0.3	Si	497.9	266.1
7		oo	oo	1800.0	0.3	No	728.2	389.2

Percentuale di errore

0.027 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.020



Risultati

Profondità piano di posa	0.00
[m]	
Vseq [m/sec]	227.44
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o 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 Vseq compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.76	3.76	147.66	241.13	1800.00	0.20	39.25	104.66	52.33	94.19	42	165.57
2	6.53	2.77	147.72	241.23	1800.00	0.20	39.28	104.75	52.37	94.27	14	165.91
3	8.03	1.50	147.77	241.30	1800.00	0.20	39.30	104.81	52.40	94.33	9	166.16
4	12.03	4.00	148.09	241.83	1800.00	0.20	39.47	105.26	52.63	94.74	7	167.98
5	19.03	7.00	265.68	433.86	1800.00	0.20	127.06	338.82	169.41	304.94	N/A	3168.46
6	20.78	1.75	266.14	497.89	1800.00	0.30	127.49	446.22	276.23	331.47	91	3195.69
7	oo	oo	389.22	728.17	1800.00	0.30	272.69	954.42	590.83	709.00	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

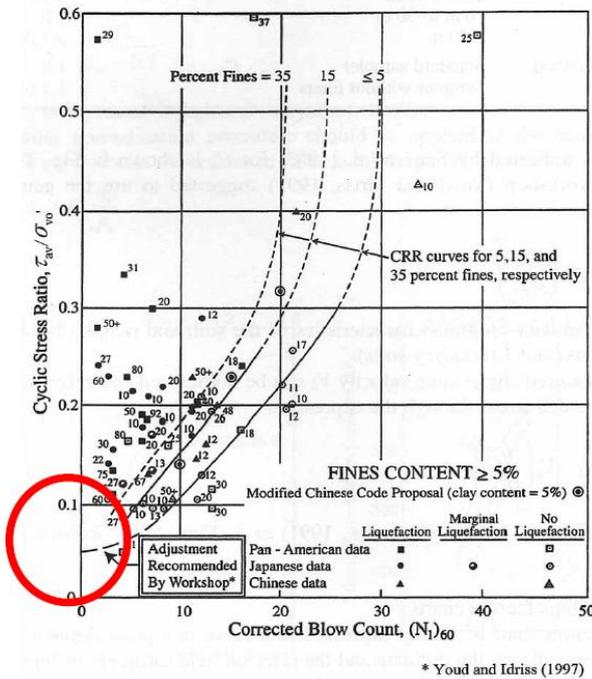
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

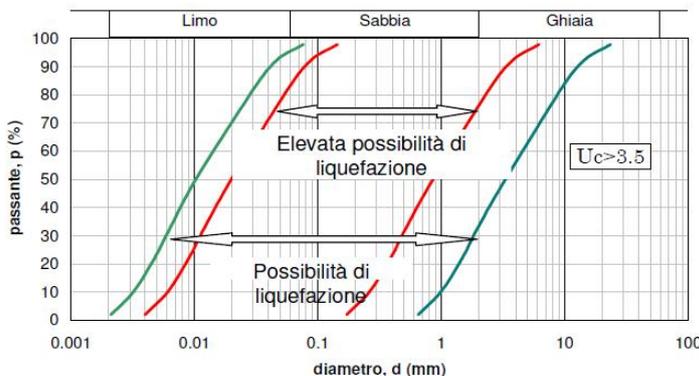
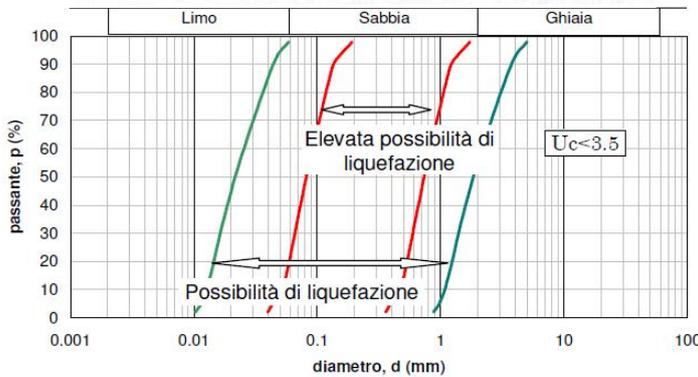
Ey: Modulo di Young;

6. STIMA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Le indagini geognostiche mostrano che i terreni incontrati sono sia coesivi che incoerente. La falda è alla profondità media di circa -2.5m da p.c. attuale. Il paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC afferma che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:



- Eventi sismici di Magnitudo inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficienti di uniformità $U_c > 3,5$.



La stima della magnitudo del sisma di progetto è stata fatta mediante l'espressione del GNDT:

$$M = \frac{\log_{10} a_{gbedrock} + 2,544}{0,363}$$

SEED E IDRIS

Il metodo utilizzato dal software Loadcap per la valutazione della liquefacibilità di un terreno sabbioso saturo durante un evento sismico è quello proposto da Seed e Idriss, il più noto e utilizzato dei metodi semplificati.

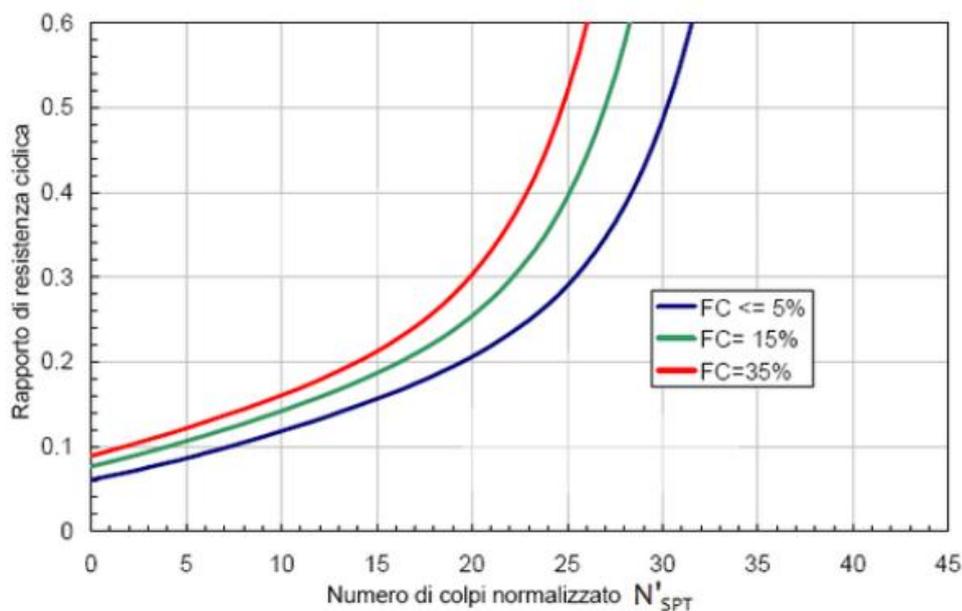
Si basa sul numero di colpi della prova Standard Penetration Test e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, la densità relativa, il peso di volume.

Con tale metodo il fattore di resistenza alla liquefazione FS viene valutato dal rapporto tra la capacità di resistenza normalizzata (R) e la domanda di resistenza ciclica (T), moltiplicato per un fattore di scala valutato considerando un evento sismico atteso di magnitudo M=6.5 che assume un valore costante pari a 1.19 (condizione peggiore).

La capacità di resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale viene espressa dalla seguente relazione:

$$R = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere determinata dal grafico rappresentato in figura, funzione di parametri desunti da prove SPT opportunamente corretti e normalizzati.



Correlazione fra capacità di resistenza ciclica e numeri di colpi corretto della prova penetrometrica dinamica (N'_{SPT})

La domanda di resistenza ciclica viene espressa dalla relazione:

$$T = 0.65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

dove:

g accelerazione di gravità;

σ_v σ'_v rispettivamente la tensione verticale totale e quella efficace alla profondità considerata;

$r_d = 1 - 0.015z$ coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del terreno al passaggio delle onde sismiche di taglio.

Nell'espressione della domanda di resistenza (T), per tenere conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione, si corregge lo sforzo massimo ciclico indotto dall'evento sismico del 35% ottenendo un valore di "sforzo equivalente uniforme".

Se $F_s > 1.3$ il deposito viene considerato NON LIQUEFACIBILE.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

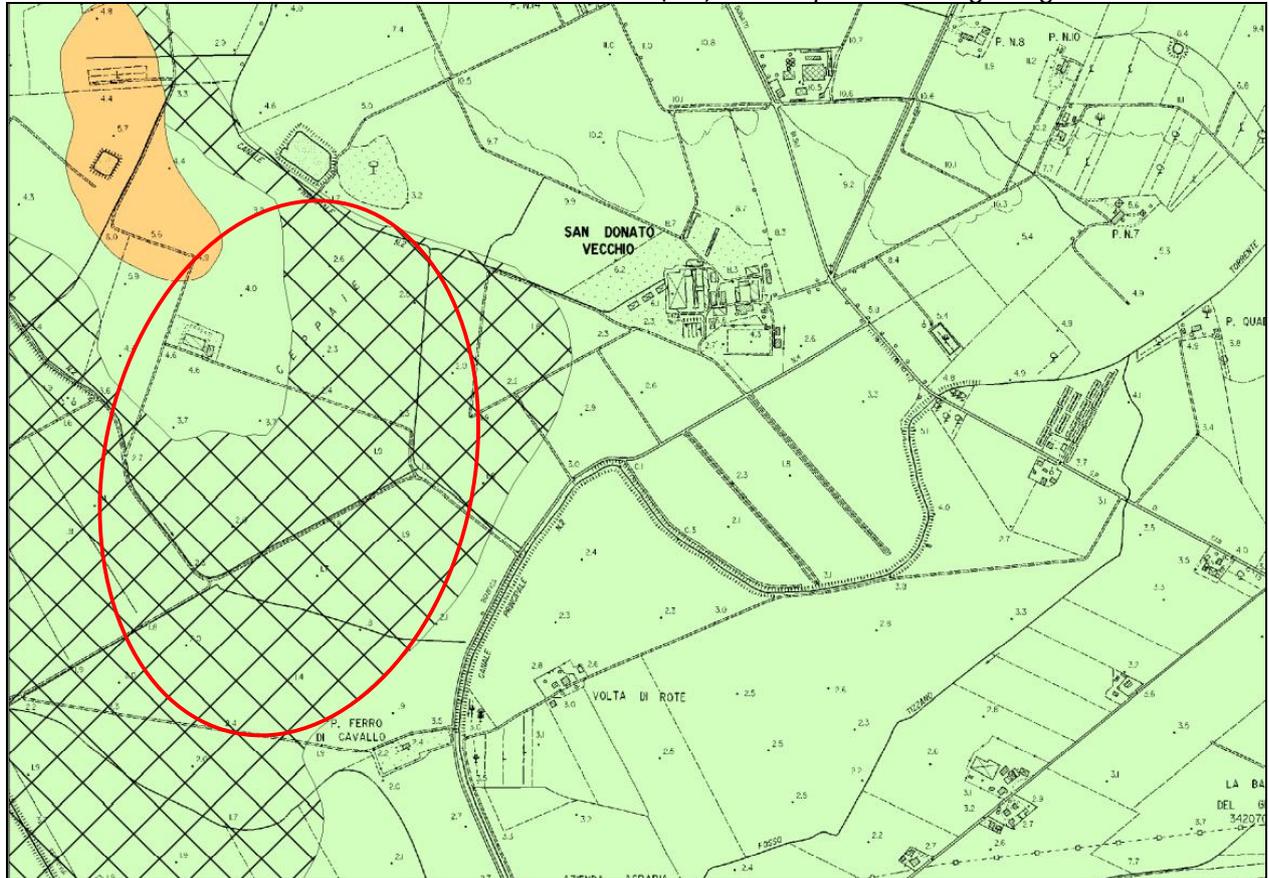
Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	Svo (kN/m ²)	S'vo (kN/m ²)	T	R	Fs	Condizione:
2	0.40	46.00	100.482	7.674	7.674	0.023	8723.096	375032.10	Livello non liquefacibile
3	1.60	21.00	35.155	30.942	30.942	0.023	5.843	255.85	Livello non liquefacibile
4	1.80	23.00	37.048	34.851	34.851	0.023	8.333	365.99	Livello non liquefacibile
5	2.20	14.00	21.378	42.493	40.532	0.024	0.364	15.36	Livello non liquefacibile
6	2.40	29.00	43.414	46.637	42.715	0.025	24.792	1006.61	Livello non liquefacibile
7	4.00	28.00	36.276	79.645	60.031	0.029	7.224	247.53	Livello non liquefacibile
8	4.20	32.00	40.757	83.821	62.246	0.030	16.023	542.68	Livello non liquefacibile
9	4.60	30.00	36.975	92.117	66.619	0.030	8.221	272.92	Livello non liquefacibile
10	4.80	36.00	43.643	96.330	68.871	0.030	25.710	846.47	Livello non liquefacibile
11	5.20	33.00	38.753	104.698	73.316	0.031	11.330	367.76	Livello non liquefacibile
12	5.40	36.00	41.587	109.012	75.669	0.031	18.413	594.35	Livello non liquefacibile
13	5.60	21.00	23.916	113.042	77.738	0.031	0.581	18.64	Livello non liquefacibile
14	6.00	27.00	29.870	121.274	82.047	0.031	2.017	64.08	Livello non liquefacibile
15	6.40	24.00	25.827	129.426	86.276	0.032	0.858	27.03	Livello non

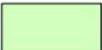
16	6.60	39.00	41.360	133.666	88.554	0.032	17.730	557.12	liquefacibile Livello non liquefacibile
17	6.80	39.00	40.769	137.906	90.833	0.032	16.054	503.23	Livello non liquefacibile
18	7.80	30.00	29.347	158.656	101.776	0.032	1.807	56.09	Livello non liquefacibile
19	8.00	32.00	30.903	162.825	103.984	0.032	2.501	77.58	Livello non liquefacibile
20	9.80	28.00	24.298	199.959	123.466	0.032	0.627	19.39	Livello non liquefacibile

7. COMPATIBILITA' GEOLOGICA

Estratto PSC Comune di Orbetello (GR) - Carta pericolosità geologica



D.P.G.R. 53/R/2011

- | | |
|---|---|
|  | G.4 Pericolosità geologica molto elevata |
|  | G.3 Pericolosità geologica elevata |
|  | G.3 Pericolosità geologica elevata
(aree interessate da pendenze dei versanti superiori al 35%) |
|  | G.2 Pericolosità geologica media |
|  | G.2 Pericolosità geologica media
(aree prive di criticità geomorfologiche ma ricadenti su terreni potenzialmente scadenti da un punto di vista geotecnico, quali dune e depositi palustri/lagunari. Per queste aree si prescrive di prestare la massima attenzione in fase di progettazione in termini di indagini geognostiche da effettuarsi, ai sensi del DPGR 36/R/2009 e NTC2018, al fine di definire la fondazione più idonea all'intervento di progetto per garantire la massima stabilità al progetto medesimo) |

ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

In relazione al rilievo geomorfologico effettuato ed alle risultanze dei rilievi di dettaglio dei tematismi di base, si sono distinte le classi di pericolosità in relazione ai seguenti criteri suggeriti dalla Del. C.R. 94/85 e tenendo in dovuta considerazione le vigenti misure del PAI di cui alla D.C.R. 12/2005:

- caratteristiche geomorfologiche;
- caratteristiche geolitologiche e topografiche;
- caratteristiche litotecniche;
- caratteristiche idrogeologiche.

Per le problematiche di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico e idrogeologico, che influenzano la pericolosità, la sintesi delle valutazioni di base ha tenuto in dovuta considerazione sia il tipo di processo verificato che il grado di sviluppo attuale e futuro. In particolare il rilievo geomorfologico è risultato, in relazione alle caratteristiche del territorio analizzato un elemento fondamentale per la definizione dei caratteri di pericolosità geologica.

Sovrapponendo le varie valutazioni di base suddette, l'elemento geomorfologico è risultato quello con la correlazione diretta maggiore tra fenomeno mappato e classe di pericolosità. Oltre ai fenomeni geomorfologici mappati si è tenuto di conto anche dell'associazione di più fattori legati all'esposizione, alle caratteristiche litologiche, all'uso del suolo, alla copertura vegetale ed alla pendenza che genera e regola lo sviluppo delle situazioni di instabilità geomorfologica.

Tale valutazione è confermata dalle più recenti pubblicazioni in relazione al rischio di dissesto delle aree collinari.

In sintesi, per le aree collinari in cui il pericolo principale è quello del dissesto geomorfologico, le classi di pericolosità sono determinate in relazione alla sovrapposizione di tutti i fattori di base analizzati con particolare riferimento alla valutazione dello sviluppo del fenomeno morfologico distinto.

Pertanto in relazione alla tipologia del fenomeno, alle modalità ed al grado del possibile sviluppo ed all'insieme delle valutazioni di base delle aree circostanti, oltre alla classificazione di pericolosità per l'area rilevata effettivamente instabile, si sono considerate due zone distinte intorno alle aree in frana (criteri del PAI).

In particolare prendendo a riferimento la mappatura eseguita nella Carta Geomorfologica per ciò che riguarda l'area di influenza e l'area potenzialmente coinvolgibile si sono assegnate le classi di pericolosità geologica secondo quanto riportato in tabella 4.

In particolare si precisa che in relazione al tipo di fenomeno si è considerato la possibilità di retrogressione nell'area a monte di una scarpata o di evoluzione della corona di frana (lato monte) per un'estensione sempre maggiore dell'altezza rilevata.

Concettualmente l'area di influenza è stata assimilata ad una pericolosità elevata in ragione di fenomeni di arretramento o avanzamento considerando tale area direttamente influenzata dal movimento di massa stesso. L'area potenzialmente coinvolgibile rappresenta invece un'area a pericolosità media in ragione di un potenziale interessamento della zona pur non rilevando ad oggi situazioni di dissesto attivo.

In tutti i casi mappati vengono inoltre eseguiti aggiustamenti locali in relazione alle condizioni geologiche e geomorfologiche al contorno.

In aggiunta alla delimitazione delle aree sopra definite per le aree in frana o comunque classificate in classe di pericolosità elevata (scarpata fluviale, doline, grotte, falesie, riva in erosione, zona umida, laguna, soliflussi), in favore di sicurezza, si sono definite con esattezza limiti specifici per ogni forma secondo quanto descritto in Tab. 4..

Si precisa comunque che tale classe 3 (pericolosità media) "fittizia" è stata individuata, ove necessario in relazione al fenomeno presente, laddove vi era un confine diretto tra le classi 4 e 2 di pericolosità.

L'estensione di tale classe fittizia è stata stabilita in genere pari ad 1/3 dell'"intorno significativo" adiacente alla classe di pericolosità 4, come precedentemente specificato e riportato in tabella 4.

In questo modo le valutazioni di pericolosità tengono in considerazione l'estensione dell'instabilità secondo la tipologia del fenomeno e le condizioni di potenziale instabilità nel contorno, per fenomeni connessi con il dissesto.

Nelle aree pianeggianti in cui vi è la presenza di terreni di bonifica o di colmata e nelle zone dove affiora detrito o riporto è stata attribuita una classe di pericolosità geologica 3 media in relazione alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali.

Sempre in classe 3 sono state cartografate le aree con difficoltà di drenaggio e ristagni.

Nella stessa cartografia sono state recepite le aree PFME del PAI in cui valgono le norme dell'art. 13 del PAI stesso.

Appare comunque importante sottolineare che la pericolosità così definita, seppure relativa a valutazioni puntuali di dettaglio, possiede sempre un margine di indeterminazione proprio della scala di valutazione. Tale analisi risulta comunque essere sufficiente al livello di Strumento Urbanistico Generale.

Quest'indeterminazione potrà essere chiarita a livello di indagine geognostica per i progetti esecutivi o per la predisposizione degli strumenti urbanistici attuativi.

In relazione a quanto suddetto le classi di pericolosità individuate nell'area in esame sono le seguenti:

CLASSE 2 ---- PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA. .

In questa classe sono comprese quelle aree collinari di varia acclività comprese quelle pianeggianti dove si verificano situazioni geomorfologiche e geologico-tecniche apparentemente stabili su cui però permangono dubbi che potranno essere chiariti a livello di indagini di supporto alla progettazione edilizia. Dal punto di vista geomorfologico non si verificano situazioni di dissesto degne di nota ed i terreni affioranti risultano di caratteristiche geotecniche medio-buone.

Particolare attenzione dovrà essere posta alle zone classificate in questa classe ma poste in prossimità di zone instabili o con dissesti o con classe di pericolosità 3 o 4.

CLASSE 3 ---- PERICOLOSITA' GEOLOGICA MEDIA

In tali aree, per le zone collinari, non sono presenti fenomeni di dissesto attivo come frane rilevanti, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e soprattutto geomorfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trova al limite dell'equilibrio e/o può essere interessato da fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica o dissesti geomorfologici in genere.

Rientrano in questa classe anche le zone interessate da ruscellamento diffuso, erosione superficiale diffusa, rotture di pendio, coperture detritiche, zone in abbandono o acclivi con scarsa regimazione e zone limitrofe alle aree interessate da frane o fenomeni di dissesto (aree fittizie definite in precedenza con un intorno significativo, aree potenzialmente coinvolgibili). In tale classe sono comprese le aree pianeggianti in cui vi è la presenza di terreni di bonifica o di colmata e le zone dove affiora detrito o riporto con scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali, zone con difficoltà di drenaggio e ristagni e aree a rischio sinkholes .

Qui ogni intervento edilizio è condizionato e le indagini di approfondimento dovranno essere condotte al livello di area nel suo complesso.

Per le aree a rischio sinkholes le indagini di dettaglio di tipo geoelettrico o di tipo gravimetrico dovranno accertare la profondità del substrato, le caratteristiche dei terreni di copertura e di ogni altra informazione utile per la comprensione del fenomeno e l'adozione di eventuali misure di salvaguardia e mitigazione.

CLASSE 4 ---- PERICOLOSITA' GEOLOGICA ELEVATA

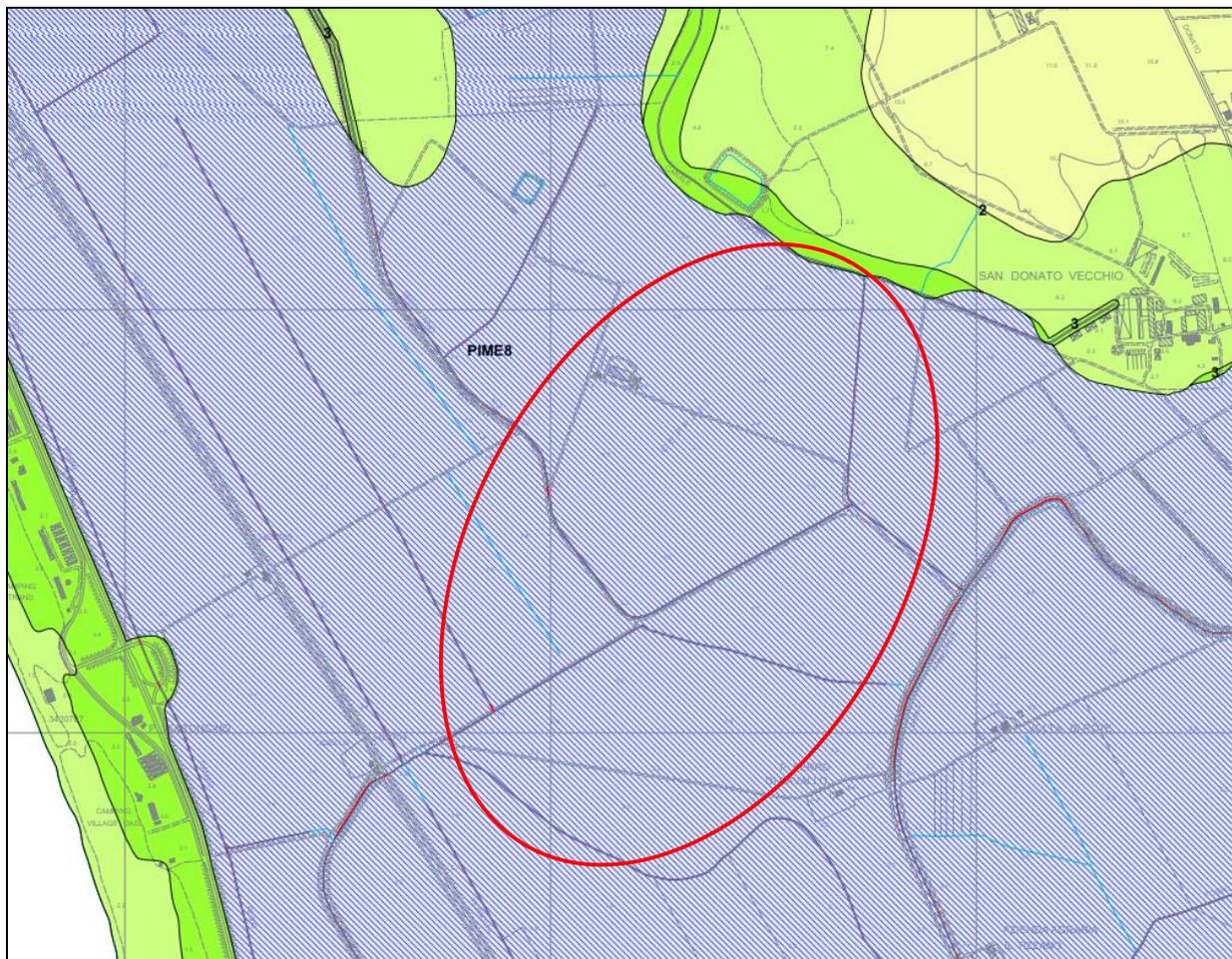
In tali zone ricadono le aree interessate da fenomeni di dissesto attivi (frane, aree di influenza, soliflussi, fenomeni di subsidenza, grotte e doline ecc.).

In tali aree, per le zone collinari, sono presenti fenomeni di dissesto attivi o fenomeni di elevata amplificazione della sollecitazione sismica.

E' stata inoltre individuata e mappata nel dettaglio la pericolosità da frana molto elevata derivante dal Piano di Bacino del Fiume Ombrone.

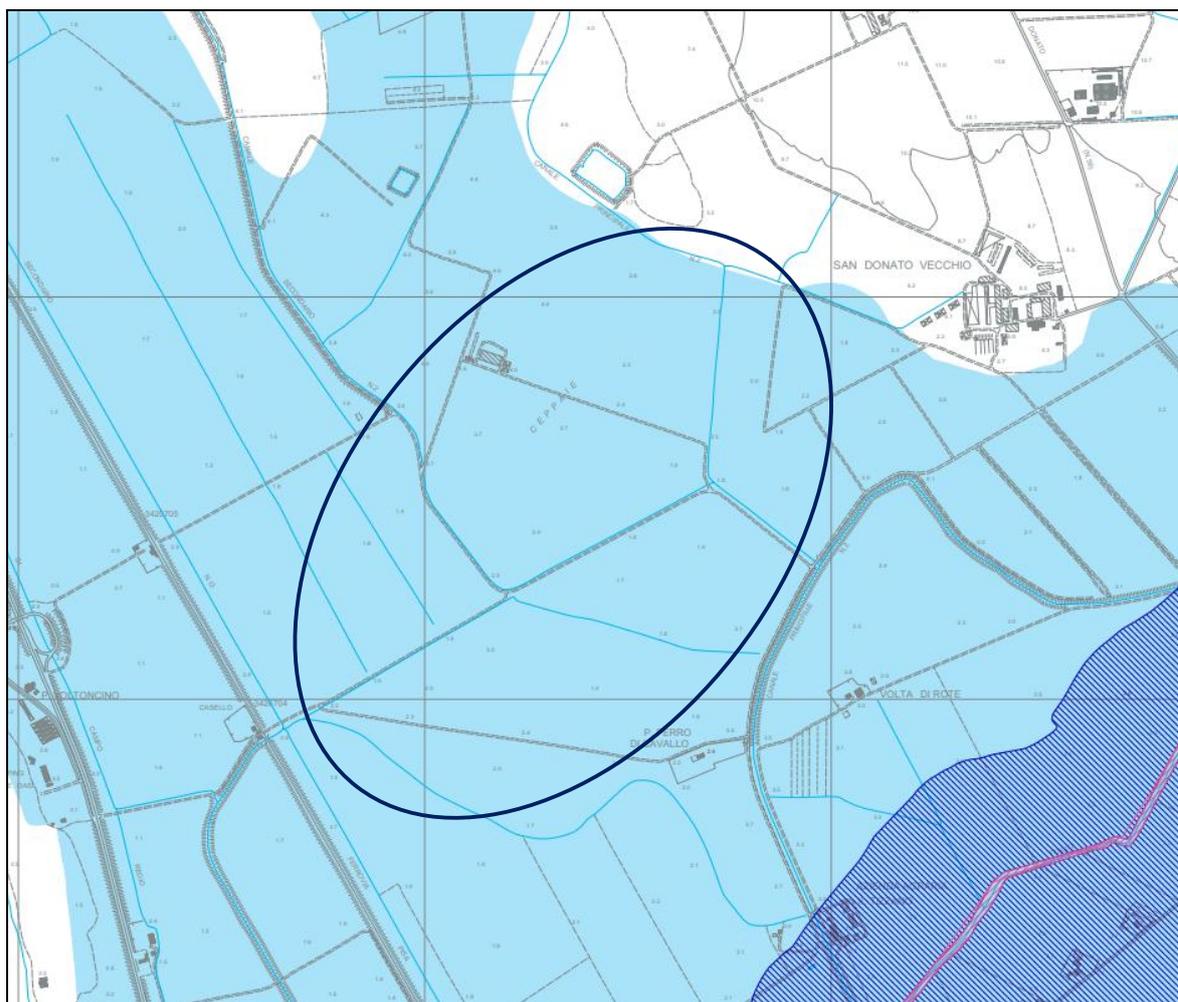
ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Lo studio sulla pericolosità idraulica ha tenuto in dovuta considerazione la normativa sul rischio idraulico in riferimento alle ex salvuguardie (Del. C.R.12/00) e le definizioni di pericolosità idraulica contenute nel P.A.I. (Del. C.R.T. 12/2005).

**Legenda**

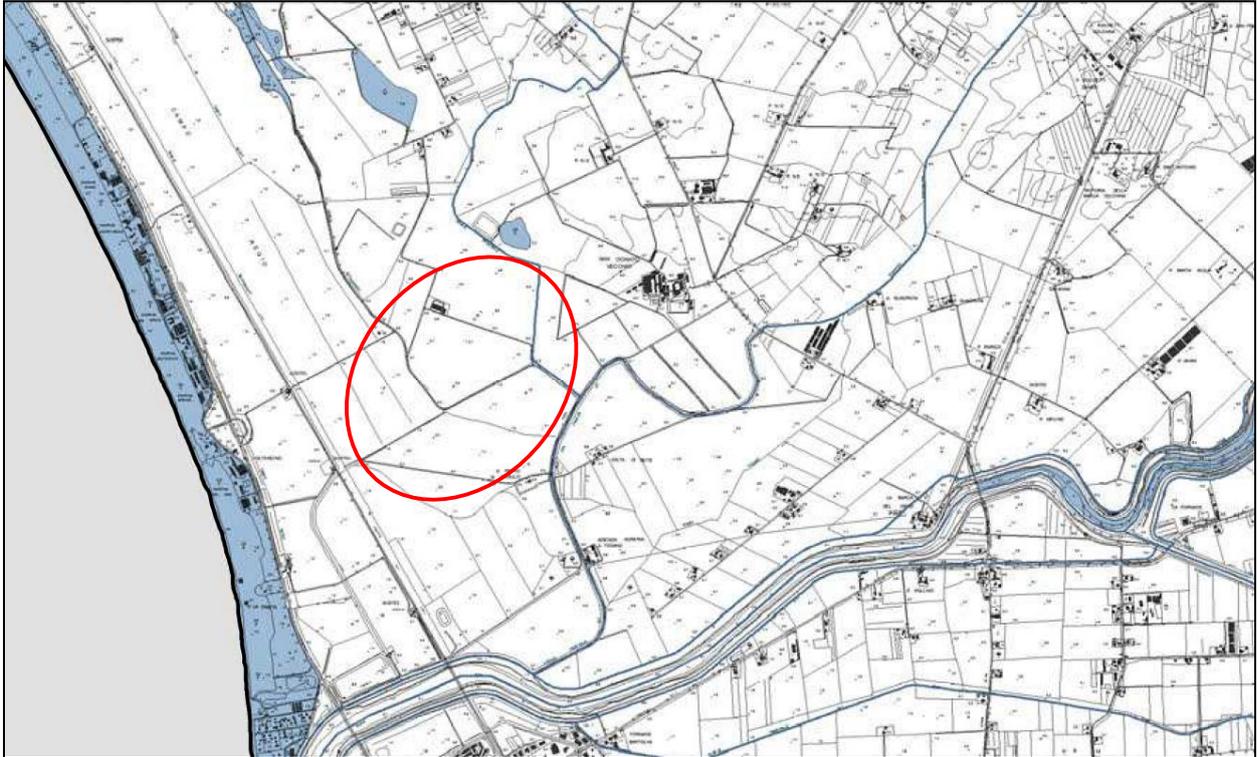
-  1 - Pericolosità idraulica irrilevante.
-  2 - Pericolosità idraulica bassa.
-  3 - Pericolosità idraulica media.
-  4 - Pericolosità idraulica elevata.
-  PIME5 - Piano Assetto Idrogeologico (Art. 5 NTA).
-  PIME8 - Piano Assetto Idrogeologico (Art. 8 NTA).
-  Reticolo significativo PAI
-  Tratti di corsi d'acqua con S.I.I.





Legenda

-  Aree con notizie storiche di esondazione (dati S.I.T. rielaborati).
-  Ambito A1 - ex salvaguardie (Del. C.R. 12/00).
-  Ambito B - ex salvaguardie (Del. C.R. 12/00).
-  Aree A.S.I.P. da Piano Assetto Idrogeologico (Del. C.R. 12/05).
-  Aree con difficoltà di drenaggio e/o soggette a fenomeni di ristagno.
-  Tratti di corsi d'acqua arginati.
-  Tratti di corsi d'acqua con S.I.I.
-  Reticolo significativo P.A.I.
-  Estremi cartografati dei corsi d'acqua classificati (secondo Del. C.R. 12/00) con relativo codice regionale (tracciato come da banca dati fornita - Regione Toscana).



Vincolo idrogeologico - Regio Decreto n°3267 del 1923 e Aree boscate di cui al Pit/Ppr della Regione Toscana

In particolare relativamente al presente studio, oltre alle valutazioni di carattere generale sul rischio idraulico, si sono tenute in considerazione le direttive per la formazione di strumenti urbanistici generali e loro varianti: artt. 75-77 Del. C.R. 12/00 (Ambito A1 e B). (Ambito A1 e B). (Ambito A1 e B). (Ambito A1 e B). In tale occasione è stato eseguito un controllo dettagliato ed un approfondimento dei corsi d'acqua classificati. Il Dipartimento Ambiente della Regione Toscana, in relazione alle caratteristiche idrologiche ed idrauliche dei corsi d'acqua ed alle notizie storiche di esondazione, ha redatto un elenco ed una cartografia dei corsi d'acqua principali, ai fini del corretto assetto idraulico, soggetti a prescrizioni vincoli e/o direttive.

Con lo stesso criterio, ed in conformità con il P.A.I. la pericolosità idraulica, estesa per l'intero territorio comunale, è stata valutata nel dettaglio per tutto il reticolo significativo del P.A.I..

In relazione alla perimetrazione delle aree con notizie storiche di esondazione, al rilievo delle opere idrauliche esistenti, agli studi idrologici ed idraulici redatti dagli scriventi nel territorio comunale di Orbetello che hanno in parte modificato i perimetri suddetti ed alle risultanze dei precedenti studi geologici ed idraulici, si sono distinte le classi di pericolosità in relazione ai seguenti criteri suggeriti dalle ex salvaguardie Del. C.R. 12/00 ed implementati con i criteri di pericolosità definiti dal P.A.I.:

- aree collinari ed aree di fondovalle;
- Ambito B ed Ambito A1 per i corsi d'acqua classificati dalle ex salvaguardie Del. C.R. 12/00;
- aree di fondovalle in cui vi sono notizie storiche di esondazione;
- situazione di alto morfologico (situazione geomorfologica favorevole) rispetto alla piana alluvionale di riferimento, di norma a quote altimetriche superiori a ml. 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda;
- presenza di opere di difesa idraulica;

Nella zona di fondovalle si è considerato una fascia di circa 100 ml sia in destra che in sinistra idraulica dei corsi d'acqua minori ma significativi come area di influenza idraulica dove assegnare la classe di pericolosità di riferimento.

L'attribuzione della classe di pericolosità ha tenuto quindi in considerazione l'area di influenza dei vari corsi d'acqua classificati sia dalle ex salvaguardie che nell'intero reticolo significativo del P.A.I., in relazione sia alle notizie storiche di esondazione che agli elementi morfologici sopra definiti nonché delle eventuali opere di difesa idraulica di riferimento, ed all'esistenza o meno di S.I.I..

In presenza di opere di difesa idraulica il grado di deterioramento delle stesse è risultato essere nullo tenendo in considerazione il lavoro di ottima manutenzione eseguito dai consorzi di bonifica.

Il riassunto grafico degli elementi conoscitivi di base per la stesura della pericolosità Idraulica sono riassunti nella già citata Carta delle Aree Allagate e dei Contesti Idraulici (Tav. 8A/H).

Appare importate sottolineare che le quote assolute di riferimento per le valutazioni di merito sulla pericolosità idraulica sono state eseguite sulla cartografia ufficiale (CTR) in scala 1:5.000, tenendo in dovuta considerazione gli studi geologici precedentemente approvati di supporto alle Varianti Generali al PRG, così come la definizione della presenza e consistenza delle opere di difesa idraulica.

Oltre ai criteri suddetti la definizione della classe di pericolosità idraulica ha tenuto in dovuta considerazione anche l'assetto geomorfologico di dettaglio per ogni singola area.

In relazione a quanto suddetto le classi di pericolosità idraulica individuate nel territorio comunale di Orbetello sono le seguenti:

CLASSE 1 PERICOLOSITA' IDRAULICA IRRILEVANTE.

In questa classe sono comprese le aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente (quote altimetriche superiori a ml 2 rispetto al piede esterno dell'argine o del ciglio di sponda).

CLASSE 2 ---- PERICOLOSITA' IDRAULICA BASSA.

In questa classe sono comprese le aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente di riferimento rispetto all'intero reticolo significativo del P.A.I. E degli altri corsi d'acqua classificati dalla ex Del. 12/00 (quote altimetriche superiori a ml 2 rispetto al piede esterno dell'argine o del ciglio di sponda).

CLASSE 3 ---- PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA

In questa classe sono comprese le aree per le quali ricorre almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole (quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml 2 sopra al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda).

CLASSE 4 ---- PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA

In questa classe sono comprese le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono entrambi le seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole (quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml 2 sopra al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda).

Le indagini eseguite hanno permesso di delineare in modo specifico la conoscenza del territorio e dell'ambiente superficiale e sotterraneo, permettendo la formulazione di un esaustivo quadro conoscitivo.

Le considerazioni finali sono le seguenti:

1. La natura dei terreni è prevalentemente a tessitura limo argillosa debolmente sabbiosa con permeabilità medio/bassa;
2. Le caratteristiche geotecniche risultano discrete e la portanza per una fondazione a platea allo SLU risulta pari a 2.2Kg/cmq; il valore va sempre confrontato con i cedimenti indotti che risultano ammissibili per un carico di esercizio (SLE) di 0.5Kg/cmq.
3. la profondità media della falda si attesta a -2.5 m da p.c.;

8. CONCLUSIONI E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

sismicità Il sito investigato è inserito in Classe 4 e in Categoria C secondo quanto prescritto dall'O.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e NTC18 e smi.

Capacità portante Le tensioni indotte dal carico dell'opera (cabine) interessano prevalentemente i terreni di natura coesiva. In accordo con quanto previsto dalle NTC 2018, le verifiche sono state condotte secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3); i cedimenti risultano ammissibili e contenuti per un carico di esercizio (SLE) di 0.5Kg/cm².

Cedimenti Il cedimento di consolidazione che si prevede, in base alle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione, all'entità dei carichi indotti dall'opera e alla profondità di posa della fondazione (compensazione dei carichi applicati), risulta di valore ammissibile.

NOTE La profondità di falda freatica si attesta ad una profondità media di circa -2.5m da p.c.. La cartografia del PSC comunale riporta pericolo elevato per quanto riguarda il rischio idraulico: area con notizie storiche di esondazione. Si rimanda al progettista eventuali misure di mitigazione.

aprile 2024

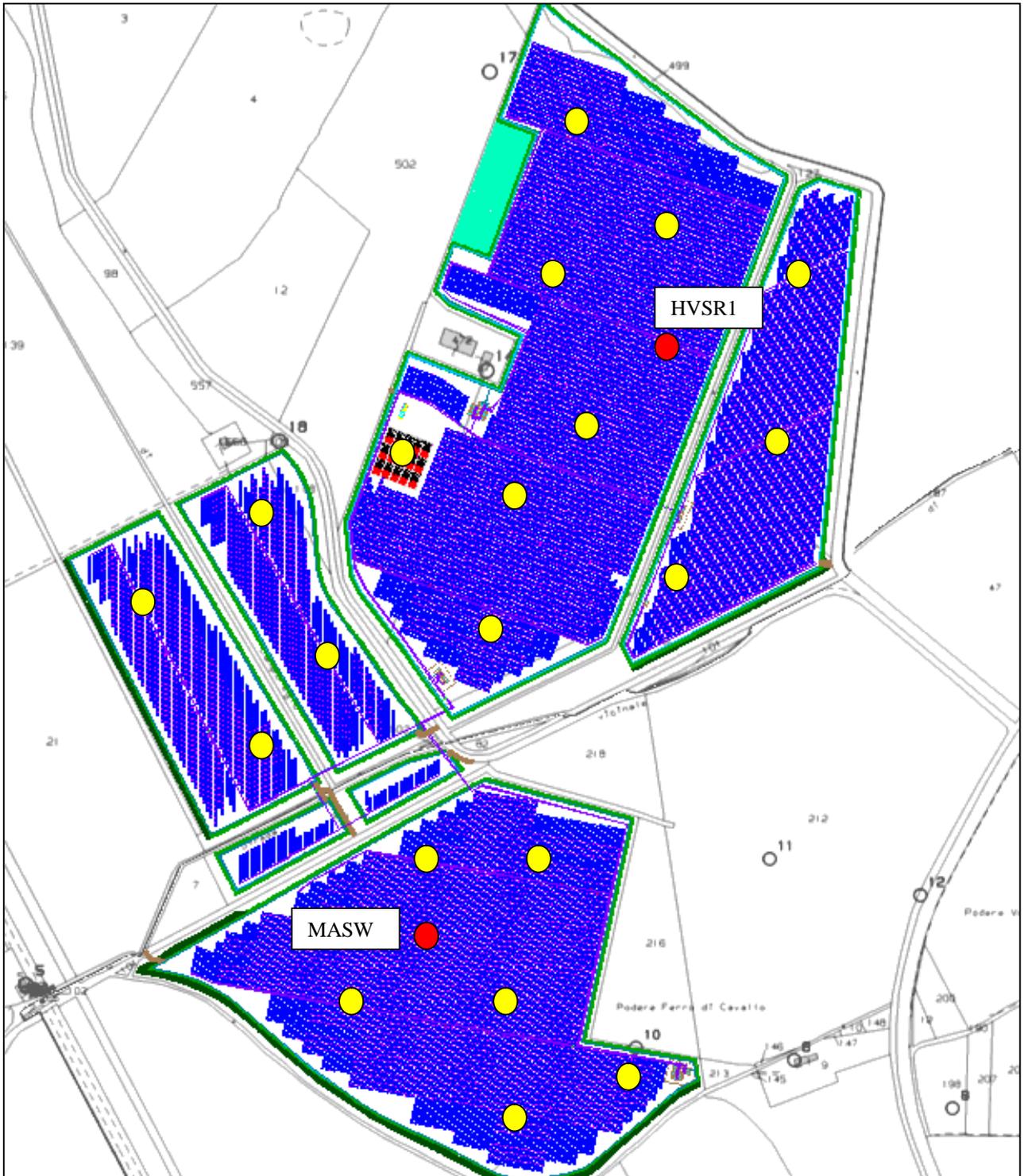
dott. geol. Paolo Chiarion

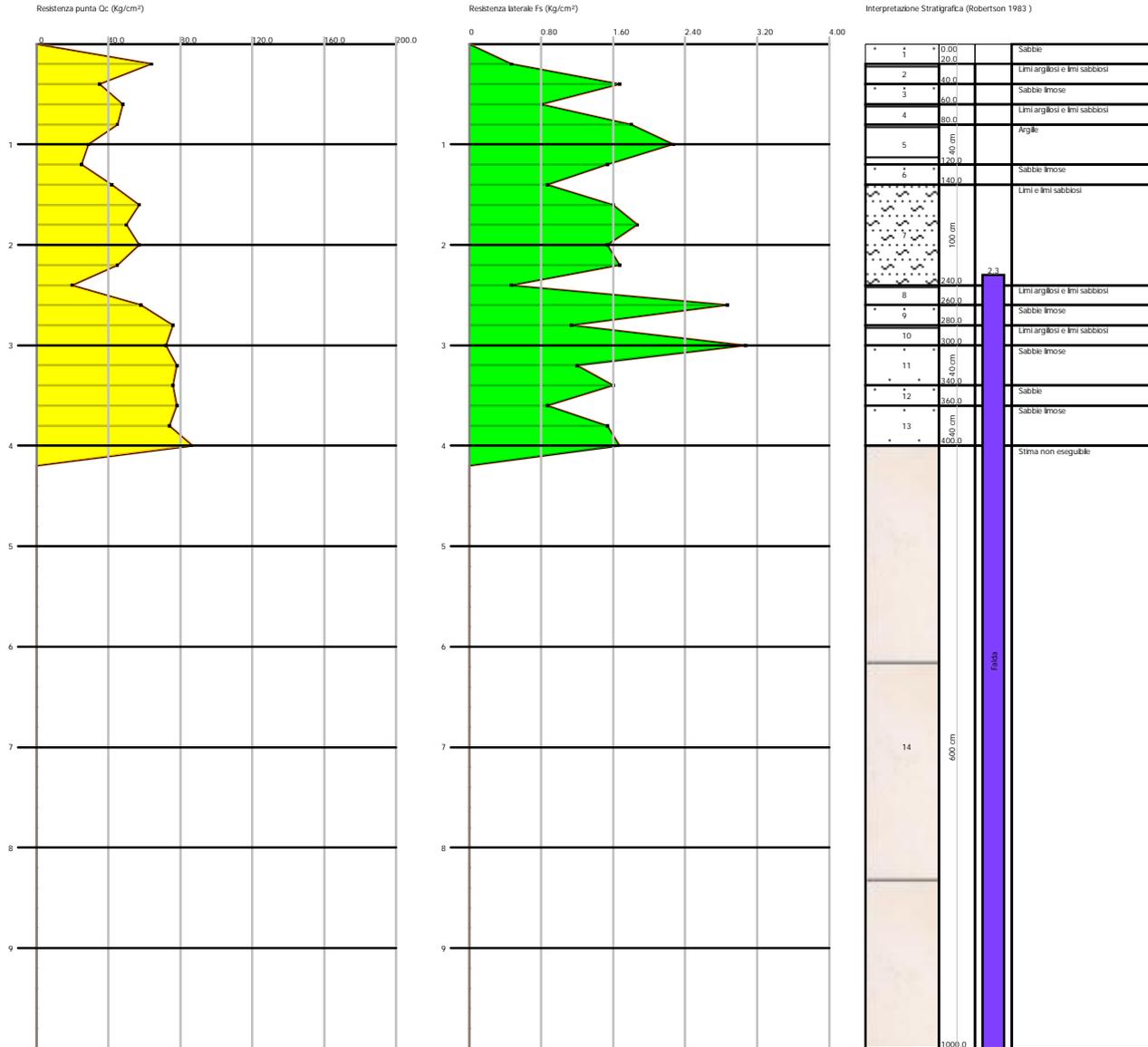


9. ALLEGATI

- planimetria generale

- Prova penetrometrica statica
 - Letture di campagna, valori di resistenza
 - Grafico valori di resistenza
 - Parametri geotecnici

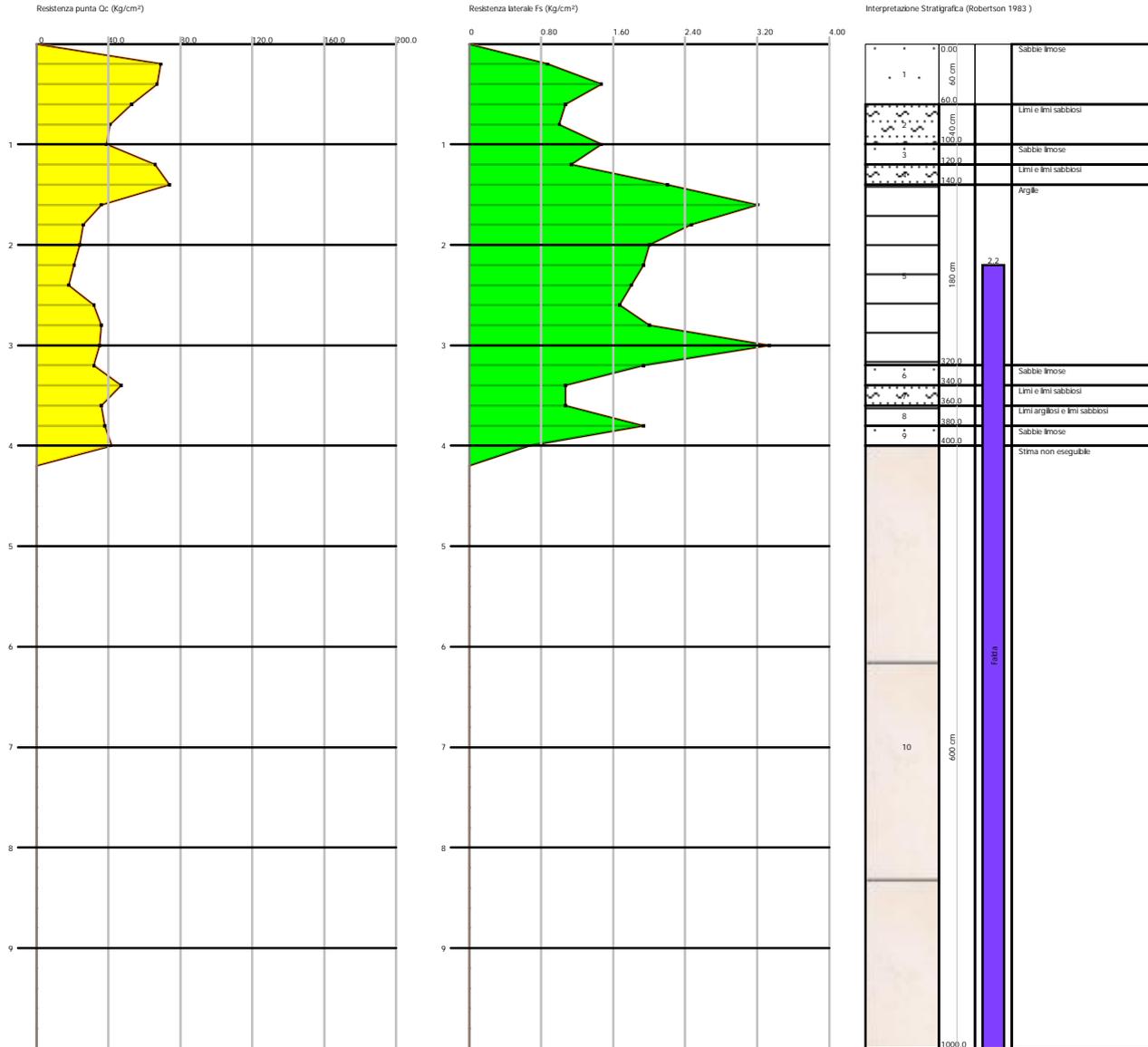




STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

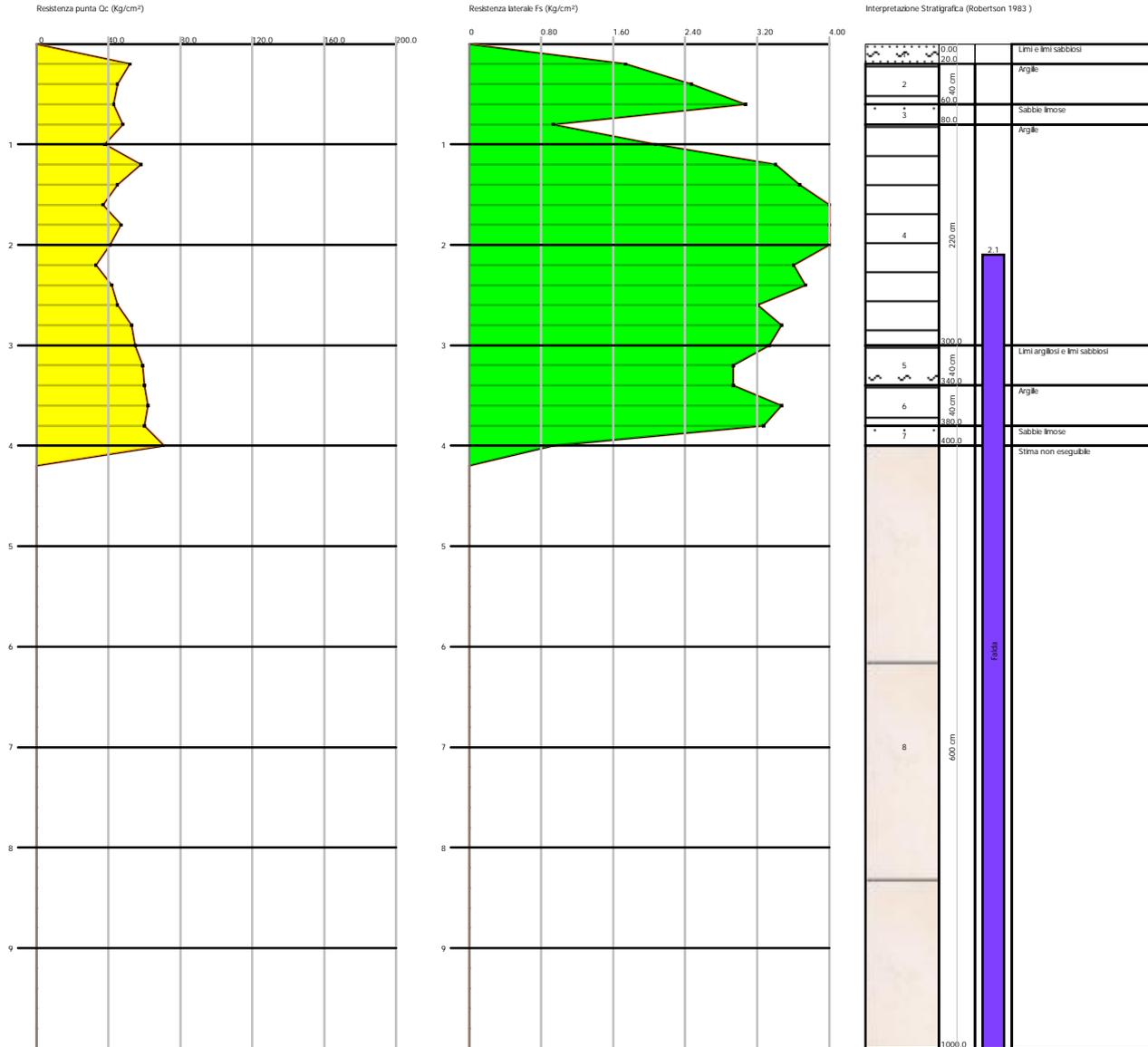
	Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
Vs	1	0.20	I	--	--	81.2	355.4	>9	1.9	2.2	<5	42.0	128.0
216.13	2	0.40	CI	1.8	1310.1	70.0	245.8	>9	2.1	2.1	<5	42.0	70.0
212.57	3	0.60	I	--	--	81.7	298.1	>9	1.8	2.1	<5	42.0	96.0
244.84	4	0.80	CI	2.3	1681.9	90.0	286.6	>9	2.1	2.2	<5	41.0	90.0
251.05	5	1.20	C	1.4	1004.6	54.0	209.8	>9	2.0	2.1	--	--	--
203.00	6	1.40	I	--	--	63.0	274.8	>9	1.8	2.1	<5	38.4	84.0
265.82	7	2.40	CI	2.3	1702.6	91.6	289.7	>9	2.1	2.2	<5	37.4	91.6
284.88	8	2.60	CI	2.9	2156.1	116.0	334.7	>9	2.2	2.2	<5	37.7	116.0
311.40	9	2.80	I	--	--	70.0	394.8	>9	1.9	2.2	<5	38.9	152.0
335.19	10	3.00	CI	3.6	2679.3	144.0	381.9	>9	2.2	2.3	<5	38.5	144.0
332.51	11	3.40	I	--	--	68.8	397.9	>9	1.8	2.1	<5	38.6	154.0
340.83	12	3.60	I	--	--	68.4	401.1	>9	1.9	2.2	<5	38.4	156.0
344.47	13	4.00	I	--	--	68.6	408.9	>9	1.8	2.1	<5	38.4	161.0
349.65	14	10.00	I	--	--	68.6	408.9	>9	1.8	2.1	<5	38.4	161.0
349.65													



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

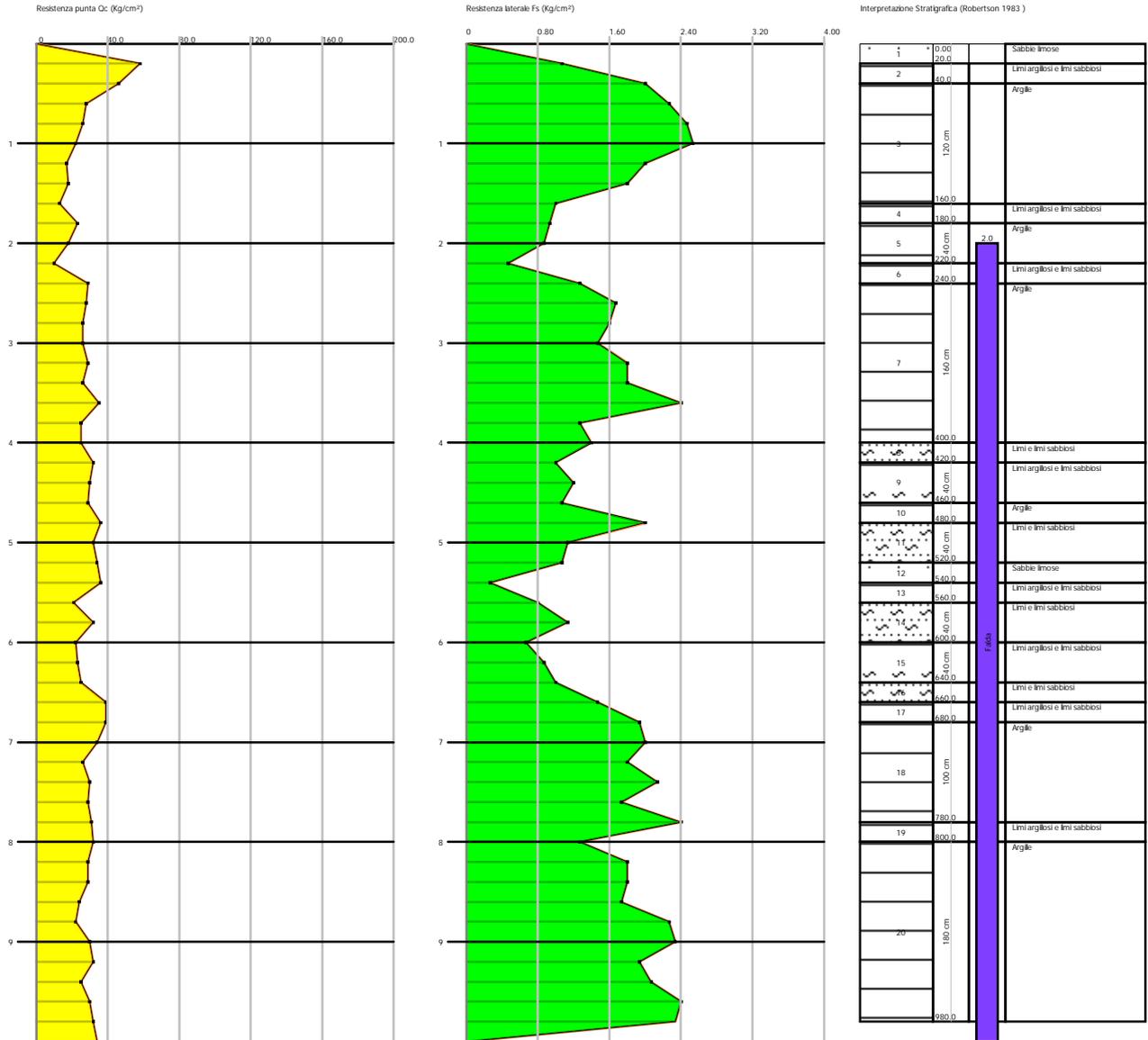
	Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
Vs	1	0.60	I	--	--	81.7	352.0	>9	1.8	2.1	<5	42.0	126.0
246.84	2	1.00	CI	2.0	1493.5	80.0	266.7	>9	2.1	2.2	<5	39.8	80.0
248.49	3	1.20	I	--	--	79.2	362.2	>9	1.8	2.1	<5	41.2	132.0
292.97	4	1.40	CI	3.7	2764.4	148.0	388.4	>9	2.2	2.3	<5	41.1	148.0
307.95	5	3.20	C	1.4	1065.6	57.8	218.6	>9	2.0	2.1	--	--	--
234.00	6	3.40	I	--	--	54.0	294.3	>9	1.8	2.1	<5	36.1	94.0
300.27	7	3.60	CI	1.8	1327.6	72.0	250.1	>9	2.1	2.1	<5	34.6	72.0
282.15	8	3.80	CI	1.9	1401.8	76.0	258.5	>9	2.1	2.2	<5	34.8	76.0
287.30	9	4.00	I	--	--	49.0	274.8	>9	1.9	2.2	<5	35.1	84.0
295.89	10	10.00	I	--	--	49.0	274.8	>9	1.9	2.2	<5	35.1	84.0
295.89													



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

	Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
Vs	1	0.20	CI	2.6	1949.2	104.0	313.1	>9	2.1	2.2	<5	42.0	104.0
203.97	2	0.60	C	2.2	1646.9	88.0	282.7	>9	2.1	2.2	--	--	--
191.61	3	0.80	I	--	--	78.6	298.1	>9	1.8	2.1	<5	41.4	96.0
254.72	4	3.00	C	2.3	1669.1	89.8	286.2	>9	2.1	2.2	--	--	--
246.58	5	3.40	CI	3.0	2210.1	119.0	339.9	>9	2.2	2.2	<5	37.4	119.0
317.82	6	3.80	C	3.1	2264.6	122.0	345.1	>9	2.2	2.2	--	--	--
279.04	7	4.00	I	--	--	64.9	378.7	>9	1.9	2.2	<5	37.8	142.0
338.02	8	10.00	I	--	--	64.9	378.7	>9	1.9	2.2	<5	37.8	142.0
338.02													



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

	Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
Vs	1	0.20	I	--	--	81.0	334.7	>9	1.8	2.1	<5	42.0	116.0
210.86	2	0.40	CI	2.3	1722.6	92.0	290.5	>9	2.1	2.2	<5	42.0	92.0
227.67	3	1.60	C	1.0	767.3	41.3	178.2	>9	2.0	2.1	--	--	--
192.82	4	1.80	CI	1.2	849.5	46.0	190.2	>9	2.0	2.1	<5	34.4	46.0
235.59	5	2.20	C	0.7	509.8	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--
200.08	6	2.40	CI	1.5	1071.3	58.0	219.1	>9	2.0	2.1	<5	34.7	58.0
256.70	7	4.00	C	1.4	1011.7	55.0	212.1	>9	2.0	2.1	--	--	--
235.52	8	4.20	CI	1.6	1177.1	64.0	232.7	>9	2.0	2.1	<5	33.9	64.0
274.78	9	4.60	CI	1.5	1082.2	59.0	221.4	>9	2.0	2.1	<5	33.3	59.0
270.83	10	4.80	C	1.8	1324.8	72.0	250.1	>9	2.1	2.1	--	--	--
257.51	11	5.20	CI	1.7	1211.0	66.0	237.1	>9	2.1	2.1	<5	33.5	66.0
281.88	12	5.40	I	--	--	42.5	250.1	7.1	1.9	2.2	<5	33.8	72.0
289.75	13	5.60	CI	1.1	759.0	42.0	179.9	8.9	2.0	2.1	<5	30.9	42.0
253.97	14	6.00	CI	1.4	982.9	54.0	209.8	>9	2.0	2.1	<5	32.1	54.0
271.81	15	6.40	CI	1.2	868.9	48.0	195.2	>9	2.0	2.1	<5	31.3	48.0
265.52	16	6.60	CI	2.0	1430.2	78.0	262.6	>9	2.1	2.2	<5	33.6	78.0
301.30	17	6.80	CI	2.0	1429.4	78.0	262.6	>9	2.1	2.2	<5	33.6	78.0
302.25	18	7.80	C	1.5	1089.6	60.0	223.7	>9	2.0	2.1	--	--	--
262.97	19	8.00	CI	1.6	1162.4	64.0	232.7	>9	2.0	2.1	<5	32.1	64.0
292.25	20	9.80	C	1.4	1012.8	56.2	215.0	>9	2.0	2.1	--	--	--
266.46													

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: AIEM GREEN srl Cantiere: Orbetello Località: Via Strada di Bonifica 3	Codice commessa: 2262/22 Numero certificati allegati:
--	--

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(CONE PENETRATION TEST)
CPT

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / s} \pm 0,5 \text{ cm / s}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

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

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica	\varnothing	= 35,7 mm
- area di punta	A_p	= 10 cm ²
- angolo di apertura del cono	α	= 60 °
- superficie laterale del manicotto	A_m	= 150 cm ²

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

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm²) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "**STATIC PROBING**" della GeoStru

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$$\begin{aligned} A_p &= \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann")} = 10 \text{ cm}^2 \\ A_m &= \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2 \\ C_t &= \text{costante di trasformazione} = 10 \end{aligned}$$

Il programma Static Probing permette inoltre l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2.$$

Resistenza alla punta

$$Ql (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2. \quad \text{Resistenza laterale}$$

$Qc (RP) = \text{Lettura alla punta LP} \times \text{Costante di Trasformazione Ct} / \text{Superficie Punta } A_p$

$Ql (RL) (fs) = \text{Lettura laterale LT} - \text{Lettura alla punta LP} \times \text{Costante di Trasformazione Ct} / A_m$ area del manicotto di frizione

N.B.

- $A_p = 10 \text{ cm}^2$ e $A_m = 150 \text{ cm}^2$

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

VALUTAZIONI STATISTICHE

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Medio

Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media (+) s

Media (+) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media (-) s

Media (-) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

- Searle 1979
- Douglas Olsen 1981 (consigliato per CPTE)
- A.G.I. 1977 (consigliato per CPT)
- Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- Robertson 1983-1986 (consigliato per CPTE)
- Begemann 1965 (consigliato per CPT)

Suddivisione delle metodologie di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTe (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.).

Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere $U1 - U2 - U3$ cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

Area punta del cono (area esterna punta)

Area interna punta del cono (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

Il Passo del penetrometro (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale f_s con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del I_c (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la f_s media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito

Angolo di Attrito (Durgunouglu-Mitchell 1973-1975) – per sabbie N.C. e S.C. non cementate

Angolo di Attrito (Meyerhof 1951) – per sabbie N.C. e S.C.

Angolo di Attrito Herminier

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Koppejan) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (De Beer 1965-1967) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementate quarzose

Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Densità relativa (%)

Densità Relativa (Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976) - per sabbie NC non cementate

Densità Relativa (Schmertmann)

Densità Relativa (Harman 1976)

Densità Relativa (Lancellotta 1983)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Densità Relativa (Larsson 1995) - per sabbie omogenee non gradate

Modulo di Young

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978) Ey (25) – Ey(50) - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983) Ey (25) – Ey(50)- per sabbie NC Quarzose.

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) Ey (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997) - valido per sabbie NC

Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990)

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose

Peso di Volume

Peso di Volume (Meyerhof) -

Peso di Volume saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Potenziale di Liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti (Metodo di Robertson e Wride 1997 – C.N.R. – GNDT) – coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat. – N.B. la liquefazione è assente per $F_s \geq 1,25$, possibile per $F_s=1,0-1,25$ e molto probabile per $F_s < 1$

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio Crm (autori vari)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977)

Modulo Di Reazione Ko

(Kulhawy Maine, 1990).

Correlazione NSPT

Meardi – Meigh 1972
Meyerhof

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata

Coesione non drenata (Lunne & Eide)
Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) - suoli fini granulari
Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di N_k (generalmente variabile da 11 a 25)
Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979)
Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale)
Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981)
Coesione non drenata (Kjekstad. 1978)
Coesione non drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)
Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)
Coesione non drenata (Begemann)
Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione.

Indice Di Compressione C

Indice di Compressione Vergine C_c (Schmertmann)
Indice di Compressione Vergine C_c (Schmertmann 1978)
Fattore di compressibilità ramo di carico C (Piacentini-Righi Inacos 1978)
Fattore di compressibilità medio ramo di carico C_{rm} (Piacentini-Righi Inacos 1978).

Modulo Edometrico-Confinato

Mitchell - Gardnerr (1975) M_o (Eed) (Kg/cmq) per limi e argille.
Metodo generale del modulo edometrico.
Buisman correlazione valida per limi e argille di media plasticità – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici (W 90-130)
Buisman e Sanglerat valida per litotipi argille copatte

Valore medio degli autori su suoli coesivi

Modulo di deformazione non drenato

Modulo di deformazione non drenato E_u (Cancelli ed altri 1980)
Modulo di deformazione non drenato E_u (Ladd ed altri 1977) – (Inserire valore n $30 < n < 1500$ sulla base di esperienze acquisite e del tipo litologico)

Peso di Volume

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)
Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982)

OCR

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)
Grado di Sovraconsolidazione OCR (P.W. Mayne 1991) - per argille ed argille sovraconsolidate
Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)
Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)
Grado di Sovraconsolidazione Jamiolkowski et altri 1979 – valida per argilla di Taranto
Grado di Sovraconsolidazione Schmertmann 1978

Coefficiente Di Consolidazione Verticale

Coefficiente di Consolidazione C_v (Piacentini-Righi, 1988)

Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988)
PROVA ...CPT

Committente: AIEM GREEN srl
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
Prova eseguita in data: 14/09/2022
Profondità prova: 10.00 mt
Località: Via Strada di Bonifica 3

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	64.00	78.0	64.0	0.467	137.045	0.7
0.40	35.00	42.0	35.0	1.667	20.996	4.8
0.60	48.00	73.0	48.0	0.8	60.0	1.7
0.80	45.00	57.0	45.0	1.8	25.0	4.0
1.00	29.00	56.0	29.0	2.267	12.792	7.8
1.20	25.00	59.0	25.0	1.533	16.308	6.1
1.40	42.00	65.0	42.0	0.867	48.443	2.1
1.60	57.00	70.0	57.0	1.6	35.625	2.8
1.80	50.00	74.0	50.0	1.867	26.781	3.7
2.00	57.00	85.0	57.0	1.533	37.182	2.7
2.20	45.00	68.0	45.0	1.667	26.995	3.7
2.40	20.00	45.0	20.0	0.467	42.827	2.3
2.60	58.00	65.0	58.0	2.867	20.23	4.9
2.80	76.00	119.0	76.0	1.133	67.079	1.5
3.00	72.00	89.0	72.0	3.067	23.476	4.3
3.20	78.00	124.0	78.0	1.2	65.0	1.5
3.40	76.00	94.0	76.0	1.6	47.5	2.1
3.60	78.00	102.0	78.0	0.867	89.965	1.1
3.80	74.00	87.0	74.0	1.533	48.271	2.1
4.00	87.00	110.0	87.0	1.667	52.19	1.9
4.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
10.00	0.00	0.0	0.0	0.0		

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	64.0	0.467	2.2	Incoerente	Sabbie

0.40	35.0	1.667	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
0.60	48.0	0.8		2.1 Incoerente	Sabbie limose
0.80	45.0	1.8	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1.20	27.0	1.9	2.0	Coesivo	Argille
1.40	42.0	0.867		2.1 Incoerente	Sabbie limose
2.40	45.8	1.427		2.1 Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
2.60	58.0	2.867	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.80	76.0	1.133		2.2 Incoerente	Sabbie limose
3.00	72.0	3.067	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3.40	77.0	1.4		2.2 Incoerente	Sabbie limose
3.60	78.0	0.867	2.2	Incoerente	Sabbie
4.00	80.5	1.6		2.2 Incoerente	Sabbie limose
10.00	0.0	0.0	2.2		Stima non eseguibile

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 2	0.40	35.0	1.667	2.00	2.03	2.33	2.06	1.84	1.75
Strato 4	0.80	45.0	1.8	2.57	2.39	2.99	2.64	2.36	2.25
Strato 5	1.20	27.0	1.9	1.53	1.67	1.79	1.58	1.41	1.35
Strato 7	2.40	45.8	1.427	2.60	2.41	3.03	2.67	2.39	2.29
Strato 8	2.60	58.0	2.867	3.29	2.78	3.83	3.38	3.03	2.90
Strato 10	3.00	72.0	3.067	4.09	3.13	4.76	4.20	3.76	3.60

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 2	0.40	35.0	1.667	87.50	70.00	105.00	105.00
Strato 4	0.80	45.0	1.8	112.50	90.00	135.00	135.00
Strato 5	1.20	27.0	1.9	67.50	54.00	81.00	81.00
Strato 7	2.40	45.8	1.427	114.50	91.60	137.40	68.70
Strato 8	2.60	58.0	2.867	145.00	116.00	174.00	87.00
Strato 10	3.00	72.0	3.067	180.00	144.00	216.00	108.00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 2	0.40	35.0	1.667	1310.06	52.50
Strato 4	0.80	45.0	1.8	1681.91	67.50
Strato 5	1.20	27.0	1.9	1004.63	40.50
Strato 7	2.40	45.8	1.427	1702.61	68.70
Strato 8	2.60	58.0	2.867	2156.10	87.00
Strato 10	3.00	72.0	3.067	2679.30	108.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Imai & Tomauchi	245.80
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Imai & Tomauchi	286.60

Strato 5	1.20	27.0	1.9	Imai & Tomauchi	209.76
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Imai & Tomauchi	289.70
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Imai & Tomauchi	334.67
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Imai & Tomauchi	381.93

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History	
Strato 2	0.40	35.0	1.667		>9
Strato 4	0.80	45.0	1.8		7.02
Strato 5	1.20	27.0	1.9		2.99
Strato 7	2.40	45.8	1.427		2.68
Strato 8	2.60	58.0	2.867		2.68
Strato 10	3.00	72.0	3.067		3.03

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Meyerhof	2.07
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Meyerhof	2.11
Strato 5	1.20	27.0	1.9	Meyerhof	2.02
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Meyerhof	2.11
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Meyerhof	2.15
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Meyerhof	2.19

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Meyerhof	2.15
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Meyerhof	2.19
Strato 5	1.20	27.0	1.9	Meyerhof	2.10
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Meyerhof	2.19
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Meyerhof	2.23
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Meyerhof	2.27

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	Schmertman n	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowsk i 1985
Strato 1	0.20	64.0	0.467	100	100	100	100	100
Strato 2	0.40	35.0	1.667	74.9	100	100	75.8	100
Strato 3	0.60	48.0	0.8	76.79	100	100	77.71	100
Strato 4	0.80	45.0	1.8	70.25	92.74	90.36	71.12	98.96
Strato 6	1.40	42.0	0.867	59.79	74.12	73.6	60.57	79.84
Strato 7	2.40	45.8	1.427	56.82	67.02	67.39	57.58	71.38
Strato 8	2.60	58.0	2.867	60.15	69.24	69.77	60.93	70.19
Strato 9	2.80	76.0	1.133	67.17	77.88	77.94	68.01	75.63
Strato 10	3.00	72.0	3.067	65	74.71	75.01	65.82	71.94
Strato 11	3.40	77.0	1.4	66.01	75.47	75.8	66.84	70.93
Strato 12	3.60	78.0	0.867	65.53	74.34	74.81	66.36	68.63
Strato 13	4.00	80.5	1.6	65.63	73.99	74.54	66.46	67.1

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durgunou glu-Mitch ell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmert mann	Robertso n & Campane lla 1983	Herminie r	Meyerhof 1951
Strato 1	0.20	64.0	0.467	45	45	45	43.86	42	45	15	45
Strato 2	0.40	35.0	1.667	43.77	40.99	38.56	35.83	42	45	42.49	32.72
Strato 3	0.60	48.0	0.8	43.04	40.09	37.61	34.97	42	45	41.5	38.55
Strato 4	0.80	45.0	1.8	41.24	38.12	35.55	33.08	40.98	45	37.62	37.2
Strato 6	1.40	42.0	0.867	38.22	34.81	32.08	29.91	38.38	42.94	30.99	35.86
Strato 7	2.40	45.8	1.427	36.91	33.35	30.54	28.5	37.38	41.46	28.75	37.56
Strato 8	2.60	58.0	2.867	36.97	33.34	30.52	28.49	37.69	41.44	28.77	43.04
Strato 9	2.80	76.0	1.133	38.06	34.45	31.69	29.55	38.9	42.58	30.46	45

Strato 10	3.00	72.0	3.067	37.6	33.96	31.18	29.09	38.46	42.08	29.68	45
Strato 11	3.40	77.0	1.4	37.64	33.98	31.2	29.1	38.57	42.1	29.72	45
Strato 12	3.60	78.0	0.867	37.43	33.75	30.96	28.88	38.41	41.87	29.37	45
Strato 13	4.00	80.5	1.6	37.33	33.63	30.83	28.77	38.36	41.74	29.19	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	160.00	128.00	256.00
Strato 2	0.40	35.0	1.667	87.50	70.00	140.00
Strato 3	0.60	48.0	0.8	120.00	96.00	192.00
Strato 4	0.80	45.0	1.8	112.50	90.00	219.20
Strato 6	1.40	42.0	0.867	105.00	84.00	298.44
Strato 7	2.40	45.8	1.427	114.50	91.60	364.46
Strato 8	2.60	58.0	2.867	145.00	116.00	446.09
Strato 9	2.80	76.0	1.133	190.00	152.00	505.73
Strato 10	3.00	72.0	3.067	180.00	144.00	506.51
Strato 11	3.40	77.0	1.4	192.50	154.00	534.66
Strato 12	3.60	78.0	0.867	195.00	156.00	552.18
Strato 13	4.00	80.5	1.6	201.25	161.00	573.26

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertman n	Lunne-Christ offersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Ma yne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0.20	64.0	0.467	81.18	251.05	519.57	108.80	96.00
Strato 2	0.40	35.0	1.667	80.81	137.29	279.96	70.00	105.00
Strato 3	0.60	48.0	0.8	81.69	188.29	386.87	96.00	72.00
Strato 4	0.80	45.0	1.8	76.36	176.52	361.77	90.00	135.00
Strato 6	1.40	42.0	0.867	62.99	164.75	336.01	84.00	126.00
Strato 7	2.40	45.8	1.427	58.96	179.66	366.32	91.60	68.70
Strato 8	2.60	58.0	2.867	62.34	227.51	465.60	98.60	87.00
Strato 9	2.80	76.0	1.133	69.98	298.12	613.44	129.20	114.00
Strato 10	3.00	72.0	3.067	67.64	282.43	579.80	122.40	108.00
Strato 11	3.40	77.0	1.4	68.81	302.04	620.14	130.90	115.50
Strato 12	3.60	78.0	0.867	68.37	305.97	627.53	132.60	117.00
Strato 13	4.00	80.5	1.6	68.59	315.77	647.32	136.85	120.75

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Imai & Tomauchi	355.41
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Imai & Tomauchi	245.80
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Imai & Tomauchi	298.12
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Imai & Tomauchi	286.60
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Imai & Tomauchi	274.77
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Imai & Tomauchi	289.70
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Imai & Tomauchi	334.67
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Imai & Tomauchi	394.76
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Imai & Tomauchi	381.93
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Imai & Tomauchi	397.93
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Imai & Tomauchi	401.08
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Imai & Tomauchi	408.88

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 1	0.20	64.0	0.467	>9	>9	<0.5	>9
Strato 2	0.40	35.0	1.667	>9	>9	<0.5	>9
Strato 3	0.60	48.0	0.8	>9	>9	<0.5	>9
Strato 4	0.80	45.0	1.8	7.02	>9	0.6	>9
Strato 6	1.40	42.0	0.867	3.6	>9	0.99	>9
Strato 7	2.40	45.8	1.427	2.68	>9	1.19	>9
Strato 8	2.60	58.0	2.867	2.68	>9	1.19	>9

Strato 9	2.80	76.0	1.133	3.35	>9	1.03	>9
Strato 10	3.00	72.0	3.067	3.03	>9	1.1	>9
Strato 11	3.40	77.0	1.4	3.05	>9	1.09	>9
Strato 12	3.60	78.0	0.867	2.91	>9	1.13	>9
Strato 13	4.00	80.5	1.6	2.84	>9	1.14	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Kulhawy & Mayne (1990)	1.24
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Kulhawy & Mayne (1990)	0.80
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Kulhawy & Mayne (1990)	0.66
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Kulhawy & Mayne (1990)	0.66
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Kulhawy & Mayne (1990)	0.77
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Kulhawy & Mayne (1990)	0.72
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Kulhawy & Mayne (1990)	0.72
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Kulhawy & Mayne (1990)	0.70
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Kulhawy & Mayne (1990)	0.69

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	0.20	64.0	0.467	0.10032	0.01304
Strato 2	0.40	35.0	1.667	0.11615	0.0151
Strato 3	0.60	48.0	0.8	0.10672	0.01387
Strato 4	0.80	45.0	1.8	0.10843	0.0141
Strato 6	1.40	42.0	0.867	0.11039	0.01435
Strato 7	2.40	45.8	1.427	0.10795	0.01403
Strato 8	2.60	58.0	2.867	0.10228	0.0133
Strato 9	2.80	76.0	1.133	0.09746	0.01267
Strato 10	3.00	72.0	3.067	0.09829	0.01278
Strato 11	3.40	77.0	1.4	0.09728	0.01265
Strato 12	3.60	78.0	0.867	0.0971	0.01262
Strato 13	4.00	80.5	1.6	0.09667	0.01257

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Meyerhof	1.90
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Meyerhof	1.80
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Meyerhof	1.80
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Meyerhof	1.80
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Meyerhof	1.80
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Meyerhof	1.80
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Meyerhof	1.80
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Meyerhof	1.90
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Meyerhof	1.80
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Meyerhof	1.80
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Meyerhof	1.90
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Meyerhof	1.80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Meyerhof	2.20
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Meyerhof	2.10
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Meyerhof	2.10
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Meyerhof	2.10
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Meyerhof	2.10
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Meyerhof	2.10
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Meyerhof	2.10
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Meyerhof	2.20
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Meyerhof	2.10
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Meyerhof	2.10
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Meyerhof	2.20
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Meyerhof	2.10

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0.05

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Robertson & Wride 1997	15.325
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Robertson & Wride 1997	70.076
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Robertson & Wride 1997	21.791
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Robertson & Wride 1997	72.044
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Robertson & Wride 1997	24.973
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Robertson & Wride 1997	50.411
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Robertson & Wride 1997	141.054
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Robertson & Wride 1997	34.098
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Robertson & Wride 1997	137.55
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Robertson & Wride 1997	40.799
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Robertson & Wride 1997	24.785
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Robertson & Wride 1997	46.128

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Piacentini-Righi 1988	0.001
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Piacentini-Righi 1988	6.619537E-10
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Piacentini-Righi 1988	1.599919E-03
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Piacentini-Righi 1988	3.008846E-08
Strato 5	1.20	27.0	1.9	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Piacentini-Righi 1988	3.228482E-04
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Piacentini-Righi 1988	2.936456E-06
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Piacentini-Righi 1988	2.248462E-11
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Piacentini-Righi 1988	3.097461E-03
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Piacentini-Righi 1988	1.360525E-09
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Piacentini-Righi	7.946055E-04

Strato 12	3.60	78.0	0.867	Piacentini-Righi 1988	0.001
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Piacentini-Righi 1988	3.783726E-04
Strato 14	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0.20	64.0	0.467	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 2	0.40	35.0	1.667	Piacentini-Righi 1988	6.950513E-05
Strato 3	0.60	48.0	0.8	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 4	0.80	45.0	1.8	Piacentini-Righi 1988	4.061942E-03
Strato 5	1.20	27.0	1.9	Piacentini-Righi 1988	8.1E-07
Strato 6	1.40	42.0	0.867	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 7	2.40	45.8	1.427	Piacentini-Righi 1988	0.403469
Strato 8	2.60	58.0	2.867	Piacentini-Righi 1988	3.912323E-06
Strato 9	2.80	76.0	1.133	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 10	3.00	72.0	3.067	Piacentini-Righi 1988	2.938734E-04
Strato 11	3.40	77.0	1.4	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 12	3.60	78.0	0.867	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 13	4.00	80.5	1.6	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 14	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

PROVA ...CPT

Committente: AIEM GREEN srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 14/09/2022
 Profondità prova: 10.00 mt
 Località: Via Strada di Bonifica 3

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	69.00	81.0	69.0	0.867	79.585	1.3
0.40	67.00	80.0	67.0	1.467	45.671	2.2
0.60	53.00	75.0	53.0	1.067	49.672	2.0
0.80	41.00	57.0	41.0	1.0	41.0	2.4
1.00	39.00	54.0	39.0	1.467	26.585	3.8
1.20	66.00	88.0	66.0	1.133	58.252	1.7
1.40	74.00	91.0	74.0	2.2	33.636	3.0
1.60	36.00	69.0	36.0	3.2	11.25	8.9
1.80	26.00	74.0	26.0	2.467	10.539	9.5
2.00	24.00	61.0	24.0	2.0	12.0	8.3
2.20	21.00	51.0	21.0	1.933	10.864	9.2
2.40	18.00	47.0	18.0	1.8	10.0	10.0
2.60	32.00	59.0	32.0	1.667	19.196	5.2
2.80	36.00	61.0	36.0	2.0	18.0	5.6
3.00	35.00	65.0	35.0	3.333	10.501	9.5
3.20	32.00	82.0	32.0	1.933	16.555	6.0
3.40	47.00	76.0	47.0	1.067	44.049	2.3
3.60	36.00	52.0	36.0	1.067	33.739	3.0
3.80	38.00	54.0	38.0	1.933	19.659	5.1
4.00	42.00	71.0	42.0	0.667	62.969	1.6
4.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
10.00	0.00	0.0	0.0	0.0		

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	63.0	1.134	2.2	Incoerente	Sabbie limose
1.00	40.0	1.234	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
1.20	66.0	1.133	2.2	Incoerente	Sabbie limose

1.40	74.0	2.2	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.20	28.889	2.259	2.0	Coesivo	Argille
3.40	47.0	1.067		2.1 Incoerente	Sabbie limose
3.60	36.0	1.067		2.1 Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.80	38.0	1.933	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
4.00	42.0	0.667		2.1 Incoerente	Sabbie limose
10.00	0.0	0.0	2.1		Stima non eseguibile

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 2	1.00	40.0	1.234	2.28	2.21	2.66	2.34	2.10	2.00
Strato 4	1.40	74.0	2.2	4.22	3.19	4.91	4.34	3.88	3.70
Strato 5	3.20	28.889	2.259	1.63	1.74	1.89	1.67	1.50	1.44
Strato 7	3.60	36.0	1.067	2.03	2.03	2.35	2.07	1.86	1.80
Strato 8	3.80	38.0	1.933	2.14	2.10	2.48	2.19	1.96	1.90

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 2	1.00	40.0	1.234	100.00	80.00	120.00	120.00
Strato 4	1.40	74.0	2.2	185.00	148.00	222.00	111.00
Strato 5	3.20	28.889	2.259	72.22	57.78	86.67	86.67
Strato 7	3.60	36.0	1.067	90.00	72.00	108.00	108.00
Strato 8	3.80	38.0	1.933	95.00	76.00	114.00	114.00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 2	1.00	40.0	1.234	1493.47	60.00
Strato 4	1.40	74.0	2.2	2764.43	111.00
Strato 5	3.20	28.889	2.259	1065.56	43.20
Strato 7	3.60	36.0	1.067	1327.61	54.00
Strato 8	3.80	38.0	1.933	1401.79	57.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Imai & Tomauchi	266.70
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Imai & Tomauchi	388.38
Strato 5	3.20	28.889	2.259	Imai & Tomauchi	218.61
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Imai & Tomauchi	250.07
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Imai & Tomauchi	258.47

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History
Strato 2	1.00	40.0	1.234	5.35
Strato 4	1.40	74.0	2.2	6.1
Strato 5	3.20	28.889	2.259	1.42
Strato 7	3.60	36.0	1.067	1.4
Strato 8	3.80	38.0	1.933	1.43

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Meyerhof	2.09
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Meyerhof	2.19
Strato 5	3.20	28.889	2.259	Meyerhof	2.03
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Meyerhof	2.07
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Meyerhof	2.08

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Meyerhof	2.17
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Meyerhof	2.27
Strato 5	3.20	28.889	2.259	Meyerhof	2.11
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Meyerhof	2.15
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Meyerhof	2.16

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	Schmertman n	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowsk i 1985
Strato 1	0.60	63.0	1.134	91.39	100	100	92.43	100
Strato 2	1.00	40.0	1.234	64.7	84.25	82.58	65.52	91.14
Strato 3	1.20	66.0	1.133	74.48	94.16	92.25	75.38	96.52
Strato 4	1.40	74.0	2.2	75.32	93.78	92.1	76.23	94.93
Strato 6	3.40	47.0	1.067	52.3	58	59.37	53.01	56.48
Strato 7	3.60	36.0	1.067	44.18	47.23	49.31	44.83	47.13
Strato 8	3.80	38.0	1.933	45.21	48.24	50.29	45.86	47.07
Strato 9	4.00	42.0	0.667	47.55	50.96	52.89	48.23	48.42

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durgunou glu-Mitch ell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmert mann	Robertso n & Campane lla 1983	Herminie r	Meyerhof 1951
Strato 1	0.60	63.0	1.134	45	43.83	41.55	38.56	42	45	33.62	45
Strato 2	1.00	40.0	1.234	39.98	36.77	34.13	31.78	39.79	44.83	34.69	34.96
Strato 3	1.20	66.0	1.133	40.97	37.7	35.11	32.68	41.18	45	36.78	45
Strato 4	1.40	74.0	2.2	40.76	37.43	34.82	32.41	41.13	45	36.2	45
Strato 6	3.40	47.0	1.067	35.37	31.64	28.74	26.86	36.12	39.63	26.67	38.1
Strato 7	3.60	36.0	1.067	33.92	30.13	27.16	25.41	34.61	37.93	25.25	33.16
Strato 8	3.80	38.0	1.933	34.02	30.22	27.25	25.5	34.75	38.03	25.32	34.06
Strato 9	4.00	42.0	0.667	34.34	30.54	27.59	25.81	35.13	38.4	25.6	35.86

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	157.50	126.00	252.00
Strato 2	1.00	40.0	1.234	100.00	80.00	235.60
Strato 3	1.20	66.0	1.133	165.00	132.00	310.25
Strato 4	1.40	74.0	2.2	185.00	148.00	351.23
Strato 6	3.40	47.0	1.067	117.50	94.00	424.88
Strato 7	3.60	36.0	1.067	90.00	72.00	371.97
Strato 8	3.80	38.0	1.933	95.00	76.00	388.03
Strato 9	4.00	42.0	0.667	105.00	84.00	415.16

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertman n	Lunne-Christ offersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Ma yne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
--	---------------------	-----------------------------	-----------------------------	--	---	------------------------	-------------------------------	------------------------

Strato 1	0.60	63.0	1.134	81.66	247.13	510.96	107.10	94.50
Strato 2	1.00	40.0	1.234	69.79	156.91	320.31	80.00	120.00
Strato 3	1.20	66.0	1.133	79.15	258.90	534.29	112.20	99.00
Strato 4	1.40	74.0	2.2	79.61	290.28	599.92	125.80	111.00
Strato 6	3.40	47.0	1.067	53.96	184.37	372.27	94.00	70.50
Strato 7	3.60	36.0	1.067	45.38	141.22	280.96	72.00	108.00
Strato 8	3.80	38.0	1.933	46.49	149.06	296.91	76.00	114.00
Strato 9	4.00	42.0	0.667	49.02	164.75	329.37	84.00	126.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Imai & Tomauchi	352.01
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Imai & Tomauchi	266.70
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Imai & Tomauchi	362.16
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Imai & Tomauchi	388.38
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Imai & Tomauchi	294.31
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Imai & Tomauchi	250.07
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Imai & Tomauchi	258.47
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Imai & Tomauchi	274.77

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 1	0.60	63.0	1.134	>9	>9	<0.5	>9
Strato 2	1.00	40.0	1.234	5.35	>9	0.75	>9
Strato 3	1.20	66.0	1.133	6.45	>9	0.64	>9
Strato 4	1.40	74.0	2.2	6.1	>9	0.67	>9
Strato 6	3.40	47.0	1.067	1.9	>9	1.51	>9
Strato 7	3.60	36.0	1.067	1.4	>9	2.05	>9
Strato 8	3.80	38.0	1.933	1.43	>9	2	>9
Strato 9	4.00	42.0	0.667	1.52	>9	1.84	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Kulhawy & Mayne (1990)	1.04
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Kulhawy & Mayne (1990)	1.18
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Kulhawy & Mayne (1990)	1.13
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Kulhawy & Mayne (1990)	0.53
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Kulhawy & Mayne (1990)	0.44
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Kulhawy & Mayne (1990)	0.44
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Kulhawy & Mayne (1990)	0.46

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C	Crn
Strato 1	0.60	63.0	1.134	0.10062	0.01308
Strato 2	1.00	40.0	1.234	0.11184	0.01454
Strato 3	1.20	66.0	1.133	0.09976	0.01297
Strato 4	1.40	74.0	2.2	0.09786	0.01272
Strato 6	3.40	47.0	1.067	0.10726	0.01394
Strato 7	3.60	36.0	1.067	0.1152	0.01498
Strato 8	3.80	38.0	1.933	0.11344	0.01475
Strato 9	4.00	42.0	0.667	0.11039	0.01435

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume
--	---------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------	-------------------------

						(t/m ³)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Meyerhof		1.80
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Meyerhof		1.80
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Meyerhof		1.80
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Meyerhof		1.80
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Meyerhof		1.80
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Meyerhof		1.80
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Meyerhof		1.80
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Meyerhof		1.90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Meyerhof	2.10
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Meyerhof	2.10
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Meyerhof	2.10
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Meyerhof	2.10
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Meyerhof	2.10
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Meyerhof	2.10
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Meyerhof	2.10
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Meyerhof	2.20

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0.05

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Robertson & Wride 1997	33.558
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Robertson & Wride 1997	41.801
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Robertson & Wride 1997	34.076
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Robertson & Wride 1997	85.349
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Robertson & Wride 1997	27.922
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Robertson & Wride 1997	23.981
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Robertson & Wride 1997	61.598
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Robertson & Wride 1997	14.895

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Piacentini-Righi 1988	8.935722E-04
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Piacentini-Righi 1988	3.799317E-06
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Piacentini-Righi 1988	1.251715E-03
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Piacentini-Righi 1988	3.615397E-06
Strato 5	3.20	28.889	2.259	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	1.323052E-04
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	7.102209E-06
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Piacentini-Righi 1988	6.334759E-11
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Piacentini-Righi 1988	2.216789E-03
Strato 10	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0.60	63.0	1.134	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 2	1.00	40.0	1.234	Piacentini-Righi 1988	0.455918
Strato 3	1.20	66.0	1.133	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 4	1.40	74.0	2.2	Piacentini-Righi 1988	0.8026182
Strato 5	3.20	28.889	2.259	Piacentini-Righi 1988	8.6667E-07
Strato 6	3.40	47.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 7	3.60	36.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	0.7670385
Strato 8	3.80	38.0	1.933	Piacentini-Righi 1988	7.221625E-06
Strato 9	4.00	42.0	0.667	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 10	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

PROVA ...CPT

Committente: AIEM GREEN srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 14/09/2022
 Profondità prova: 10.00 mt
 Località: Via Strada di Bonifica 3

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	52.00	66.0	52.0	1.733	30.006	3.3
0.40	45.00	71.0	45.0	2.467	18.241	5.5
0.60	43.00	80.0	43.0	3.067	14.02	7.1
0.80	48.00	94.0	48.0	0.933	51.447	1.9
1.00	38.00	52.0	38.0	2.067	18.384	5.4
1.20	58.00	89.0	58.0	3.4	17.059	5.9
1.40	45.00	96.0	45.0	3.667	12.272	8.1
1.60	37.00	92.0	37.0	4.133	8.952	11.2
1.80	47.00	109.0	47.0	4.733	9.93	10.1
2.00	41.00	112.0	41.0	4.533	9.045	11.1
2.20	33.00	101.0	33.0	3.6	9.167	10.9
2.40	42.00	96.0	42.0	3.733	11.251	8.9
2.60	45.00	101.0	45.0	3.2	14.063	7.1
2.80	53.00	101.0	53.0	3.467	15.287	6.5
3.00	55.00	107.0	55.0	3.333	16.502	6.1
3.20	59.00	109.0	59.0	2.933	20.116	5.0
3.40	60.00	104.0	60.0	2.933	20.457	4.9
3.60	62.00	106.0	62.0	3.467	17.883	5.6
3.80	60.00	112.0	60.0	3.267	18.365	5.4
4.00	71.00	120.0	71.0	0.933	76.099	1.3
4.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
4.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
5.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
6.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
7.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
8.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.00	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
9.80	0.00	0.0	0.0	0.0		
10.00	0.00	0.0	0.0	0.0		

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	52.0	1.733		2.1 Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
0.60	44.0	2.767	2.1	Coesivo	Argille
0.80	48.0	0.933		2.1 Incoerente	Sabbie limose

3.00	44.909	3.624	2.1						
3.40	59.5	2.933	2.2						
3.80	61.0	3.367	2.2						
4.00	71.0	0.933							
10.00	0.0	0.0	2.2						

Coesivo Argille
Incoerente-Coesivo Limi argillosi e limi
sabbiosi
Coesivo Argille
2.2 Incoerente Sabbie limose
Stima non
eseguibile

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	0.20	52.0	1.733	2.98	2.63	3.47	3.06	2.74	2.60
Strato 2	0.60	44.0	2.767	2.52	2.36	2.93	2.58	2.31	2.20
Strato 4	3.00	44.909	3.624	2.55	2.38	2.97	2.62	2.34	2.25
Strato 5	3.40	59.5	2.933	3.38	2.81	3.92	3.46	3.10	2.98
Strato 6	3.80	61.0	3.367	3.46	2.85	4.02	3.54	3.17	3.05

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	0.20	52.0	1.733	130.00	104.00	156.00	78.00
Strato 2	0.60	44.0	2.767	110.00	88.00	132.00	132.00
Strato 4	3.00	44.909	3.624	112.27	89.82	134.73	134.73
Strato 5	3.40	59.5	2.933	148.75	119.00	178.50	89.25
Strato 6	3.80	61.0	3.367	152.50	122.00	183.00	91.50

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	1949.21	78.00
Strato 2	0.60	44.0	2.767	1646.85	66.00
Strato 4	3.00	44.909	3.624	1669.13	67.50
Strato 5	3.40	59.5	2.933	2210.10	89.40
Strato 6	3.80	61.0	3.367	2264.55	91.50

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Imai & Tomauchi	313.07
Strato 2	0.60	44.0	2.767	Imai & Tomauchi	282.69
Strato 4	3.00	44.909	3.624	Imai & Tomauchi	286.24
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Imai & Tomauchi	339.93
Strato 6	3.80	61.0	3.367	Imai & Tomauchi	345.14

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History
Strato 1	0.20	52.0	1.733	>9
Strato 2	0.60	44.0	2.767	>9
Strato 4	3.00	44.909	3.624	2.62
Strato 5	3.40	59.5	2.933	2.45
Strato 6	3.80	61.0	3.367	2.32

Peso unità di volume

	Prof. Strato	qc	fs	Correlazione	Peso unità di
--	--------------	----	----	--------------	---------------

	(m)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)		volume (t/m ³)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Meyerhof	2.13
Strato 2	0.60	44.0	2.767	Meyerhof	2.11
Strato 4	3.00	44.909	3.624	Meyerhof	2.11
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Meyerhof	2.15
Strato 6	3.80	61.0	3.367	Meyerhof	2.16

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Meyerhof	2.21
Strato 2	0.60	44.0	2.767	Meyerhof	2.19
Strato 4	3.00	44.909	3.624	Meyerhof	2.19
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Meyerhof	2.23
Strato 6	3.80	61.0	3.367	Meyerhof	2.24

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertman n 1976	Schmertman n	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 1	0.20	52.0	1.733	100	100	100	100	100
Strato 3	0.80	48.0	0.933	72.28	95.46	92.9	73.16	100
Strato 5	3.40	59.5	2.933	59.27	67.15	67.94	60.05	63.71
Strato 7	4.00	71.0	0.933	62.32	69.89	70.67	63.12	62.87

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durgunou glu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 1	0.20	52.0	1.733	45	45	45	43.1	42	45	15	40.35
Strato 3	0.80	48.0	0.933	41.61	38.51	35.96	33.45	41.36	45	38.47	38.55
Strato 5	3.40	59.5	2.933	36.59	32.91	30.07	28.08	37.4	40.99	28.17	43.72
Strato 7	4.00	71.0	0.933	36.81	33.09	30.27	28.26	37.78	41.19	28.43	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	130.00	104.00	208.00
Strato 3	0.80	48.0	0.933	120.00	96.00	218.15
Strato 5	3.40	59.5	2.933	148.75	119.00	472.55
Strato 7	4.00	71.0	0.933	177.50	142.00	540.54

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertman n	Lunne-Christ offersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Ma yne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0.20	52.0	1.733	80.81	203.98	420.58	88.40	78.00
Strato 3	0.80	48.0	0.933	78.57	188.29	386.54	96.00	72.00
Strato 5	3.40	59.5	2.933	61.43	233.40	475.46	101.15	89.25
Strato 7	4.00	71.0	0.933	64.92	278.51	568.38	120.70	106.50

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Imai & Tomauchi	313.07
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Imai & Tomauchi	298.12
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Imai & Tomauchi	339.93
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Imai & Tomauchi	378.68

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 1	0.20	52.0	1.733	>9	>9	<0.5	>9
Strato 3	0.80	48.0	0.933	7.59	>9	0.56	>9
Strato 5	3.40	59.5	2.933	2.45	>9	1.26	>9
Strato 7	4.00	71.0	0.933	2.55	>9	1.23	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Kulhawy & Mayne (1990)	1.31
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Kulhawy & Mayne (1990)	0.63
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Kulhawy & Mayne (1990)	0.64

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	0.20	52.0	1.733	0.10473	0.01362
Strato 3	0.80	48.0	0.933	0.10672	0.01387
Strato 5	3.40	59.5	2.933	0.10175	0.01323
Strato 7	4.00	71.0	0.933	0.09851	0.01281

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Meyerhof	1.80
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Meyerhof	1.80
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Meyerhof	1.80
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Meyerhof	1.90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Meyerhof	2.10
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Meyerhof	2.10
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Meyerhof	2.10
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Meyerhof	2.20

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0.05

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Robertson & Wride 1997	63.359
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Robertson & Wride 1997	26.471
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Robertson & Wride 1997	128.259
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Robertson & Wride 1997	23.123

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Piacentini-Righi 1988	8.686346E-07
Strato 2	0.60	44.0	2.767	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	5.178213E-04
Strato 4	3.00	44.909	3.624	Piacentini-Righi 1988	1E-11

Strato 5	3.40	59.5	2.933	Piacentini-Righi 1988	2.161357E-11
Strato 6	3.80	61.0	3.367	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	6.341767E-03
Strato 8	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0.20	52.0	1.733	Piacentini-Righi 1988	0.135507
Strato 2	0.60	44.0	2.767	Piacentini-Righi 1988	1.32E-06
Strato 3	0.80	48.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 4	3.00	44.909	3.624	Piacentini-Righi 1988	1.34727E-06
Strato 5	3.40	59.5	2.933	Piacentini-Righi 1988	3.858022E-06
Strato 6	3.80	61.0	3.367	Piacentini-Righi 1988	1.83E-06
Strato 7	4.00	71.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 8	10.00	0.0	0.0	Piacentini-Righi 1988	0

PROVA ... CPT

Committente: AIEM GREEN srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 14/09/2022
 Profondità prova: 10.00 mt
 Località: Via Strada di Bonifica 3

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	58.00	72.0	58.0	1.067	54.358	1.8
0.40	46.00	62.0	46.0	2.0	23.0	4.3
0.60	28.00	58.0	28.0	2.267	12.351	8.1
0.80	26.00	60.0	26.0	2.467	10.539	9.5
1.00	22.00	59.0	22.0	2.533	8.685	11.5
1.20	17.00	55.0	17.0	2.0	8.5	11.8
1.40	18.00	48.0	18.0	1.8	10.0	10.0
1.60	13.00	40.0	13.0	1.0	13.0	7.7
1.80	23.00	38.0	23.0	0.933	24.652	4.1
2.00	18.00	32.0	18.0	0.867	20.761	4.8
2.20	10.00	23.0	10.0	0.467	21.413	4.7
2.40	29.00	36.0	29.0	1.267	22.889	4.4
2.60	28.00	47.0	28.0	1.667	16.797	6.0
2.80	26.00	51.0	26.0	1.6	16.25	6.2
3.00	26.00	50.0	26.0	1.467	17.723	5.6
3.20	29.00	51.0	29.0	1.8	16.111	6.2
3.40	26.00	53.0	26.0	1.8	14.444	6.9
3.60	35.00	62.0	35.0	2.4	14.583	6.9
3.80	25.00	61.0	25.0	1.267	19.732	5.1
4.00	25.00	44.0	25.0	1.4	17.857	5.6
4.20	32.00	53.0	32.0	1.0	32.0	3.1
4.40	30.00	45.0	30.0	1.2	25.0	4.0
4.60	29.00	47.0	29.0	1.067	27.179	3.7
4.80	36.00	52.0	36.0	2.0	18.0	5.6
5.00	32.00	62.0	32.0	1.133	28.244	3.5
5.20	34.00	51.0	34.0	1.067	31.865	3.1
5.40	36.00	52.0	36.0	0.267	134.831	0.7
5.60	21.00	25.0	21.0	0.8	26.25	3.8
5.80	32.00	44.0	32.0	1.133	28.244	3.5
6.00	22.00	39.0	22.0	0.667	32.984	3.0
6.20	23.00	33.0	23.0	0.867	26.528	3.8
6.40	25.00	38.0	25.0	1.0	25.0	4.0
6.60	39.00	54.0	39.0	1.467	26.585	3.8
6.80	39.00	61.0	39.0	1.933	20.176	5.0
7.00	34.00	63.0	34.0	2.0	17.0	5.9
7.20	26.00	56.0	26.0	1.8	14.444	6.9
7.40	30.00	57.0	30.0	2.133	14.065	7.1
7.60	29.00	61.0	29.0	1.733	16.734	6.0
7.80	31.00	57.0	31.0	2.4	12.917	7.7
8.00	32.00	68.0	32.0	1.267	25.257	4.0
8.20	29.00	48.0	29.0	1.8	16.111	6.2
8.40	29.00	56.0	29.0	1.8	16.111	6.2
8.60	24.00	51.0	24.0	1.733	13.849	7.2
8.80	22.00	48.0	22.0	2.267	9.704	10.3
9.00	30.00	64.0	30.0	2.333	12.859	7.8
9.20	32.00	67.0	32.0	1.933	16.555	6.0
9.40	25.00	54.0	25.0	2.067	12.095	8.3
9.60	30.00	61.0	30.0	2.4	12.5	8.0
9.80	32.00	68.0	32.0	2.333	13.716	7.3
10.00	34.00	69.0	34.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	58.0	1.067	2.2	Incoerente	Sabbie limose
0.40	46.0	2.0 2.1		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi

1.60	20.667	2.011	2.0		Coesivo	Argille
1.80	23.0	0.933	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.20	14.0	0.667	1.9		Coesivo	Argille
2.40	29.0	1.267	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
4.00	27.5	1.675	2.0		Coesivo	Argille
4.20	32.0	1.0		2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.60	29.5	1.134	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
4.80	36.0	2.0	2.1		Coesivo	Argille
5.20	33.0	1.1		2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
5.40	36.0	0.267		2.1	Incoerente	Sabbie limose
5.60	21.0	0.8	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
6.00	27.0	0.9		2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
6.40	24.0	0.934	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
6.60	39.0	1.467		2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
6.80	39.0	1.933	2.1		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
7.80	30.0	2.013	2.0		Coesivo	Argille
8.00	32.0	1.267	2.0		Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
9.80	28.111	2.074	2.0		Coesivo	Argille

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimental e	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 2	0.40	46.0	2.0	2.63	2.43	3.06	2.70	2.42	2.30
Strato 3	1.60	20.667	2.011	1.17	1.36	1.36	1.20	1.08	1.03
Strato 4	1.80	23.0	0.933	1.30	1.47	1.51	1.33	1.19	1.15
Strato 5	2.20	14.0	0.667	0.78	0.96	0.91	0.80	0.72	0.70
Strato 6	2.40	29.0	1.267	1.64	1.75	1.90	1.68	1.50	1.45
Strato 7	4.00	27.5	1.675	1.55	1.67	1.79	1.58	1.41	1.38
Strato 8	4.20	32.0	1.0	1.80	1.86	2.08	1.83	1.64	1.60
Strato 9	4.60	29.5	1.134	1.65	1.74	1.91	1.68	1.51	1.48
Strato 10	4.80	36.0	2.0	2.02	2.01	2.34	2.06	1.85	1.80
Strato 11	5.20	33.0	1.1	1.85	1.89	2.13	1.88	1.68	1.65
Strato 13	5.60	21.0	0.8	1.16	1.31	1.33	1.17	1.05	1.05
Strato 14	6.00	27.0	0.9	1.50	1.61	1.72	1.52	1.36	1.35
Strato 15	6.40	24.0	0.934	1.33	1.46	1.52	1.34	1.20	1.20
Strato 16	6.60	39.0	1.467	2.18	2.11	2.51	2.22	1.98	1.95
Strato 17	6.80	39.0	1.933	2.18	2.11	2.51	2.21	1.98	1.95
Strato 18	7.80	30.0	2.013	1.66	1.73	1.90	1.68	1.50	1.50
Strato 19	8.00	32.0	1.267	1.78	1.81	2.03	1.79	1.60	1.60
Strato 20	9.80	28.111	2.074	1.55	1.62	1.75	1.55	1.39	1.41

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 2	0.40	46.0	2.0	115.00	92.00	138.00	69.00
Strato 3	1.60	20.667	2.011	51.67	41.33	62.00	62.00
Strato 4	1.80	23.0	0.933	57.50	46.00	69.00	69.00
Strato 5	2.20	14.0	0.667	70.00	48.33	84.00	42.00
Strato 6	2.40	29.0	1.267	72.50	58.00	87.00	87.00
Strato 7	4.00	27.5	1.675	68.75	55.00	82.50	82.50

Strato 8	4.20	32.0	1.0	80.00	64.00	96.00	96.00
Strato 9	4.60	29.5	1.134	73.75	59.00	88.50	88.50
Strato 10	4.80	36.0	2.0	90.00	72.00	108.00	108.00
Strato 11	5.20	33.0	1.1	82.50	66.00	99.00	99.00
Strato 13	5.60	21.0	0.8	52.50	42.00	63.00	63.00
Strato 14	6.00	27.0	0.9	67.50	54.00	81.00	81.00
Strato 15	6.40	24.0	0.934	60.00	48.00	72.00	72.00
Strato 16	6.60	39.0	1.467	97.50	78.00	117.00	117.00
Strato 17	6.80	39.0	1.933	97.50	78.00	117.00	117.00
Strato 18	7.80	30.0	2.013	75.00	60.00	90.00	90.00
Strato 19	8.00	32.0	1.267	80.00	64.00	96.00	96.00
Strato 20	9.80	28.111	2.074	70.28	56.22	84.33	84.33

Modulo di deformazione non drenato E_u (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 2	0.40	46.0	2.0	1722.56	69.00
Strato 3	1.60	20.667	2.011	767.29	30.90
Strato 4	1.80	23.0	0.933	849.52	34.50
Strato 5	2.20	14.0	0.667	509.85	21.00
Strato 6	2.40	29.0	1.267	1071.30	43.50
Strato 7	4.00	27.5	1.675	1011.68	41.40
Strato 8	4.20	32.0	1.0	1177.05	48.00
Strato 9	4.60	29.5	1.134	1082.17	44.40
Strato 10	4.80	36.0	2.0	1324.76	54.00
Strato 11	5.20	33.0	1.1	1211.02	49.50
Strato 13	5.60	21.0	0.8	759.00	31.50
Strato 14	6.00	27.0	0.9	982.87	40.50
Strato 15	6.40	24.0	0.934	868.87	36.00
Strato 16	6.60	39.0	1.467	1430.21	58.50
Strato 17	6.80	39.0	1.933	1429.39	58.50
Strato 18	7.80	30.0	2.013	1089.60	45.00
Strato 19	8.00	32.0	1.267	1162.35	48.00
Strato 20	9.80	28.111	2.074	1012.76	42.30

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Imai & Tomauchi	290.47
Strato 3	1.60	20.667	2.011	Imai & Tomauchi	178.15
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Imai & Tomauchi	190.18
Strato 5	2.20	14.0	0.667	Imai & Tomauchi	140.42
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Imai & Tomauchi	219.12
Strato 7	4.00	27.5	1.675	Imai & Tomauchi	212.12
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Imai & Tomauchi	232.70
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Imai & Tomauchi	221.42
Strato 10	4.80	36.0	2.0	Imai & Tomauchi	250.07
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Imai & Tomauchi	237.12
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Imai & Tomauchi	179.90
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Imai & Tomauchi	209.76
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Imai & Tomauchi	195.19
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Imai & Tomauchi	262.60
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Imai & Tomauchi	262.60
Strato 18	7.80	30.0	2.013	Imai & Tomauchi	223.71
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Imai & Tomauchi	232.70
Strato 20	9.80	28.111	2.074	Imai & Tomauchi	214.99

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-History
Strato 2	0.40	46.0	2.0	>9
Strato 3	1.60	20.667	2.011	2.33
Strato 4	1.80	23.0	0.933	1.55
Strato 5	2.20	14.0	0.667	0.81
Strato 6	2.40	29.0	1.267	1.56
Strato 7	4.00	27.5	1.675	1.23

Strato 8	4.20	32.0	1.0	1.22
Strato 9	4.60	29.5	1.134	1.07
Strato 10	4.80	36.0	2.0	1.24
Strato 11	5.20	33.0	1.1	1.09
Strato 13	5.60	21.0	0.8	0.64
Strato 14	6.00	27.0	0.9	0.79
Strato 15	6.40	24.0	0.934	0.67
Strato 16	6.60	39.0	1.467	1.05
Strato 17	6.80	39.0	1.933	1.03
Strato 18	7.80	30.0	2.013	0.74
Strato 19	8.00	32.0	1.267	0.74
Strato 20	9.80	28.111	2.074	0.59

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Meyerhof	2.11
Strato 3	1.60	20.667	2.011	Meyerhof	1.98
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Meyerhof	1.99
Strato 5	2.20	14.0	0.667	Meyerhof	1.91
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Meyerhof	2.03
Strato 7	4.00	27.5	1.675	Meyerhof	2.02
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Meyerhof	2.05
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Meyerhof	2.03
Strato 10	4.80	36.0	2.0	Meyerhof	2.07
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Meyerhof	2.05
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Meyerhof	1.98
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Meyerhof	2.02
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Meyerhof	2.00
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Meyerhof	2.08
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Meyerhof	2.08
Strato 18	7.80	30.0	2.013	Meyerhof	2.04
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Meyerhof	2.05
Strato 20	9.80	28.111	2.074	Meyerhof	2.02

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Meyerhof	2.19
Strato 3	1.60	20.667	2.011	Meyerhof	2.06
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Meyerhof	2.07
Strato 5	2.20	14.0	0.667	Meyerhof	1.99
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Meyerhof	2.11
Strato 7	4.00	27.5	1.675	Meyerhof	2.10
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Meyerhof	2.13
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Meyerhof	2.11
Strato 10	4.80	36.0	2.0	Meyerhof	2.15
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Meyerhof	2.13
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Meyerhof	2.06
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Meyerhof	2.10
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Meyerhof	2.08
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Meyerhof	2.16
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Meyerhof	2.16
Strato 18	7.80	30.0	2.013	Meyerhof	2.12
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Meyerhof	2.13
Strato 20	9.80	28.111	2.074	Meyerhof	2.10

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Baldi 1978 - Schmertma nn 1976	Schmertma nn	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkows ki 1985
Strato 1	0.20	58.0	1.067	100	100	100	100	100
Strato 2	0.40	46.0	2.0	82.66	100	100	83.64	100
Strato 4	1.80	23.0	0.933	39.2	45.51	47.03	39.8	55.57
Strato 6	2.40	29.0	1.267	42.64	48.02	49.66	43.27	53.93

Strato 8	4.20	32.0	1.0	40.48	42.25	44.66	41.1	40.24
Strato 9	4.60	29.5	1.134	37.49	37.99	40.72	38.08	35.89
Strato 11	5.20	33.0	1.1	39.33	39.54	42.28	39.93	35.33
Strato 12	5.40	36.0	0.267	41.15	41.49	44.17	41.77	36.08
Strato 13	5.60	21.0	0.8	25.43	21.01	24.98	25.92	19.55
Strato 14	6.00	27.0	0.9	32.03	29.17	32.68	32.57	25.25
Strato 15	6.40	24.0	0.934	27.98	23.53	27.45	28.48	19.98
Strato 16	6.60	39.0	1.467	41.25	40.31	43.25	41.88	32.53
Strato 17	6.80	39.0	1.933	40.9	39.63	42.64	41.51	31.62
Strato 19	8.00	32.0	1.267	33.45	28.94	32.76	34	21.26

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Durguno uglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 1	0.20	58.0	1.067	45	45	45	43.4	42	45	15	43.04
Strato 2	0.40	46.0	2.0	45	42.35	39.99	37.14	42	45	41.66	37.65
Strato 4	1.80	23.0	0.933	34.23	30.62	27.67	25.88	34.37	38.48	25.61	27.33
Strato 6	2.40	29.0	1.267	34.34	30.66	27.72	25.92	34.72	38.53	25.68	30.02
Strato 8	4.20	32.0	1.0	33.25	29.43	26.41	24.73	33.92	37.1	24.69	31.37
Strato 9	4.60	29.5	1.134	32.64	28.78	25.74	24.12	33.32	36.34	24.25	30.25
Strato 11	5.20	33.0	1.1	32.75	28.87	25.83	24.2	33.54	36.44	24.31	31.82
Strato 12	5.40	36.0	0.267	32.96	29.07	26.05	24.4	33.81	36.68	24.46	33.16
Strato 13	5.60	21.0	0.8	30.25	26.26	23.09	21.7	30.94	33.18	22.97	26.43
Strato 14	6.00	27.0	0.9	31.28	27.32	24.2	22.71	32.08	34.53	23.44	29.12
Strato 15	6.40	24.0	0.934	30.49	26.49	23.33	21.91	31.29	33.47	23.07	27.78
Strato 16	6.60	39.0	1.467	32.66	28.71	25.67	24.05	33.64	36.25	24.23	34.51
Strato 17	6.80	39.0	1.933	32.55	28.59	25.54	23.93	33.55	36.1	24.15	34.51
Strato 19	8.00	32.0	1.267	31.02	26.97	23.84	22.38	32.05	34.09	23.29	31.37

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	145.00	116.00	232.00
Strato 2	0.40	46.0	2.0	115.00	92.00	184.00
Strato 4	1.80	23.0	0.933	57.50	46.00	242.39
Strato 6	2.40	29.0	1.267	72.50	58.00	296.89
Strato 8	4.20	32.0	1.0	80.00	64.00	349.76
Strato 9	4.60	29.5	1.134	73.75	59.00	337.52
Strato 11	5.20	33.0	1.1	82.50	66.00	371.42
Strato 12	5.40	36.0	0.267	90.00	72.00	396.76
Strato 13	5.60	21.0	0.8	52.50	42.00	283.05
Strato 14	6.00	27.0	0.9	67.50	54.00	337.49
Strato 15	6.40	24.0	0.934	60.00	48.00	316.23
Strato 16	6.60	39.0	1.467	97.50	78.00	435.35
Strato 17	6.80	39.0	1.933	97.50	78.00	438.53
Strato 19	8.00	32.0	1.267	80.00	64.00	400.87

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Chris toffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-M ayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0.20	58.0	1.067	81.00	227.51	470.07	98.60	87.00
Strato 2	0.40	46.0	2.0	81.14	180.44	370.71	92.00	69.00

Strato 4	1.80	23.0	0.933	40.69	90.22	178.65	46.00	115.00
Strato 6	2.40	29.0	1.267	43.86	113.76	226.62	58.00	145.00
Strato 8	4.20	32.0	1.0	41.50	125.53	246.14	64.00	96.00
Strato 9	4.60	29.5	1.134	38.41	115.72	224.76	59.00	147.50
Strato 11	5.20	33.0	1.1	40.49	129.45	252.19	66.00	99.00
Strato 12	5.40	36.0	0.267	42.50	141.22	276.25	72.00	108.00
Strato 13	5.60	21.0	0.8	26.12	82.38	152.04	42.00	105.00
Strato 14	6.00	27.0	0.9	33.10	105.91	200.88	54.00	135.00
Strato 15	6.40	24.0	0.934	29.02	94.14	175.26	48.00	120.00
Strato 16	6.60	39.0	1.467	43.09	152.98	298.37	78.00	117.00
Strato 17	6.80	39.0	1.933	42.81	152.98	297.95	78.00	117.00
Strato 19	8.00	32.0	1.267	35.57	125.53	237.75	64.00	96.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Imai & Tomauchi	334.67
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Imai & Tomauchi	290.47
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Imai & Tomauchi	190.18
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Imai & Tomauchi	219.12
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Imai & Tomauchi	232.70
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Imai & Tomauchi	221.42
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Imai & Tomauchi	237.12
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Imai & Tomauchi	250.07
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Imai & Tomauchi	179.90
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Imai & Tomauchi	209.76
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Imai & Tomauchi	195.19
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Imai & Tomauchi	262.60
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Imai & Tomauchi	262.60
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Imai & Tomauchi	232.70

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Stress-Histor y	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 1	0.20	58.0	1.067	>9	>9	<0.5	>9
Strato 2	0.40	46.0	2.0	>9	>9	<0.5	>9
Strato 4	1.80	23.0	0.933	1.55	>9	1.85	>9
Strato 6	2.40	29.0	1.267	1.56	>9	1.81	>9
Strato 8	4.20	32.0	1.0	1.22	>9	3.19	>9
Strato 9	4.60	29.5	1.134	1.07	>9	<0.5	>9
Strato 11	5.20	33.0	1.1	1.09	>9	<0.5	>9
Strato 12	5.40	36.0	0.267	1.13	7.13	<0.5	>9
Strato 13	5.60	21.0	0.8	0.64	8.87	<0.5	4.58
Strato 14	6.00	27.0	0.9	0.79	>9	<0.5	5.92
Strato 15	6.40	24.0	0.934	0.67	>9	<0.5	4.67
Strato 16	6.60	39.0	1.467	1.05	>9	<0.5	8.21
Strato 17	6.80	39.0	1.933	1.03	>9	<0.5	7.88
Strato 19	8.00	32.0	1.267	0.74	>9	<0.5	4.96

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Kulhawy & Mayne (1990)	0.00
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Kulhawy & Mayne (1990)	0.47
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Kulhawy & Mayne (1990)	0.47
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Kulhawy & Mayne (1990)	0.40
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Kulhawy & Mayne (1990)	0.37
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Kulhawy & Mayne (1990)	0.37
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Kulhawy & Mayne (1990)	0.38

Strato 13	5.60	21.0	0.8	Kulhawy & Mayne (1990)	0.26
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Kulhawy & Mayne (1990)	0.30
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Kulhawy & Mayne (1990)	0.27
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Kulhawy & Mayne (1990)	0.36
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Kulhawy & Mayne (1990)	0.36
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Kulhawy & Mayne (1990)	0.29

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	0.20	58.0	1.067	0.10228	0.0133
Strato 2	0.40	46.0	2.0	0.10784	0.01402
Strato 4	1.80	23.0	0.933	0.12483	0.01623
Strato 6	2.40	29.0	1.267	0.11286	0.01467
Strato 8	4.20	32.0	1.0	0.11931	0.01551
Strato 9	4.60	29.5	1.134	0.11208	0.01457
Strato 11	5.20	33.0	1.1	0.1182	0.01537
Strato 12	5.40	36.0	0.267	0.1152	0.01498
Strato 13	5.60	21.0	0.8	0.13033	0.01694
Strato 14	6.00	27.0	0.9	0.11626	0.01511
Strato 15	6.40	24.0	0.934	0.12242	0.01591
Strato 16	6.60	39.0	1.467	0.11262	0.01464
Strato 17	6.80	39.0	1.933	0.11262	0.01464
Strato 19	8.00	32.0	1.267	0.11931	0.01551

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Meyerhof	1.80
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Meyerhof	1.80
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Meyerhof	1.80
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Meyerhof	1.80
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Meyerhof	1.80
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Meyerhof	1.80
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Meyerhof	1.80
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Meyerhof	1.90
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Meyerhof	1.80
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Meyerhof	1.80
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Meyerhof	1.80
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Meyerhof	1.80
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Meyerhof	1.80
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Meyerhof	1.80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Meyerhof	2.10
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Meyerhof	2.10
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Meyerhof	2.10
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Meyerhof	2.10
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Meyerhof	2.10
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Meyerhof	2.10
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Meyerhof	2.10
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Meyerhof	2.20
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Meyerhof	2.10
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Meyerhof	2.10
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Meyerhof	2.10
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Meyerhof	2.10
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Meyerhof	2.10
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Meyerhof	2.10

Liquefazione - **Accelerazione sismica massima (g)=0.05**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Robertson & Wride 1997	30.777
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Robertson & Wride 1997	84.425
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Robertson & Wride 1997	29.496
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Robertson & Wride 1997	45.391
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Robertson & Wride 1997	14.575
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Robertson & Wride 1997	12.78
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Robertson & Wride 1997	12.213
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Robertson & Wride 1997	3.497
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Robertson & Wride 1997	3.412
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Robertson & Wride 1997	5.067
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Robertson & Wride 1997	3.988
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Robertson & Wride 1997	15.77
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Robertson & Wride 1997	22.461
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Robertson & Wride 1997	6.01

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	7.694907E-04
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Piacentini-Righi 1988	3.670727E-09
Strato 3	1.60	20.667	2.011	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	6.486174E-08
Strato 5	2.20	14.0	0.667	Piacentini-Righi 1988	4.075595E-09
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Piacentini-Righi 1988	9.60292E-09
Strato 7	4.00	27.5	1.675	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Piacentini-Righi 1988	3.694336E-06
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Piacentini-Righi 1988	1.354009E-07
Strato 10	4.80	36.0	2.0	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Piacentini-Righi 1988	1.389844E-06
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Piacentini-Righi 1988	0.001
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Piacentini-Righi 1988	2.247605E-07
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Piacentini-Righi 1988	1.613917E-06
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Piacentini-Righi 1988	1.356019E-07
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Piacentini-Righi	1.410412E-07

Strato 17	6.80	39.0	1.933	1988 Piacentini-Righi	1.350301E-10
Strato 18	7.80	30.0	2.013	1988 Piacentini-Righi	1E-11
Strato 19	8.00	32.0	1.267	1988 Piacentini-Righi	6.83397E-08
Strato 20	9.80	28.111	2.074	1988 Piacentini-Righi	1E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0.20	58.0	1.067	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 2	0.40	46.0	2.0	Piacentini-Righi 1988	5.065604E-04
Strato 3	1.60	20.667	2.011	Piacentini-Righi 1988	6.2001E-07
Strato 4	1.80	23.0	0.933	Piacentini-Righi 1988	4.47546E-03
Strato 5	2.20	14.0	0.667	Piacentini-Righi 1988	1.71175E-04
Strato 6	2.40	29.0	1.267	Piacentini-Righi 1988	8.35454E-04
Strato 7	4.00	27.5	1.675	Piacentini-Righi 1988	8.25E-07
Strato 8	4.20	32.0	1.0	Piacentini-Righi 1988	0.3546563
Strato 9	4.60	29.5	1.134	Piacentini-Righi 1988	1.198298E-02
Strato 10	4.80	36.0	2.0	Piacentini-Righi 1988	1.08E-06
Strato 11	5.20	33.0	1.1	Piacentini-Righi 1988	0.1375946
Strato 12	5.40	36.0	0.267	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 13	5.60	21.0	0.8	Piacentini-Righi 1988	1.415991E-02
Strato 14	6.00	27.0	0.9	Piacentini-Righi 1988	0.1307273
Strato 15	6.40	24.0	0.934	Piacentini-Righi 1988	9.763334E-03
Strato 16	6.60	39.0	1.467	Piacentini-Righi 1988	1.650182E-02
Strato 17	6.80	39.0	1.933	Piacentini-Righi 1988	1.579853E-05
Strato 18	7.80	30.0	2.013	Piacentini-Righi 1988	0.0000009
Strato 19	8.00	32.0	1.267	Piacentini-Righi 1988	6.560612E-03
Strato 20	9.80	28.111	2.074	Piacentini-Righi 1988	8.4333E-07