00	15-12-2016	SISCO INGEGNERIA	F.P.	
REV.	DATA	ESECUTORE	CONTROLLO O/E COLLABORAZIONE	EMISSIONE

enel

DIVISIONE G&M-GEN

PRODUZIONE

THERMO CENTRAL MAINTENANCE

Cliente: CENTRALE TERMOELETTRICA TORREVALDALIGA NORD

Progetto: OPERE COMPENSATIVE

Titolo: PALAZZO D'ACCIAIO

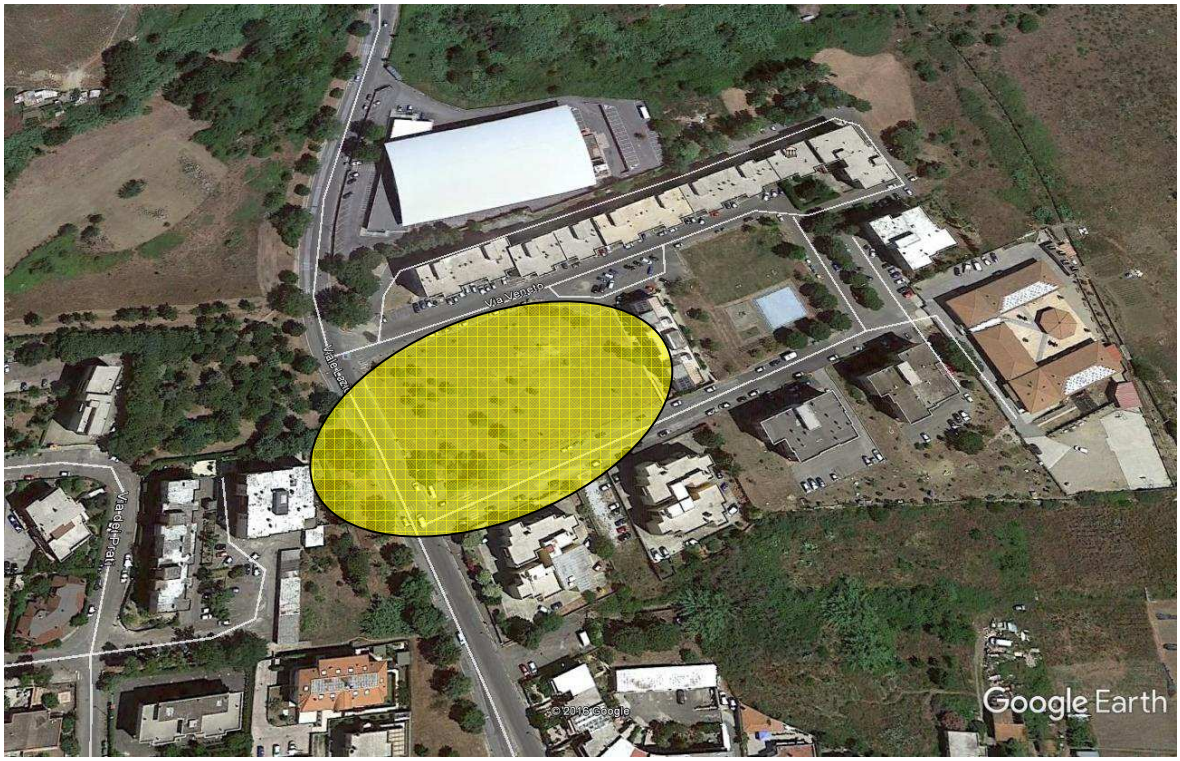
RELAZIONE GEOLOGICA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E MODELLAZIONE SISMICA DEI LUOGHI

Documento n.		P12TN97254					
Sistema/System			***Sede tecnica***				
scala:	Formato: ***A4***	File:	P12TN97254	Foglio	1	di	1

Questo documento è proprietà di Enel GEM TCM. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta

Regione Lazio

Comune di CIVITAVECCHIA



OPERE COMPENSATIVE COMUNE DI CIVITAVECCHIA

PARCO PALAZZO DI ACCIAIO

Relazione geologica, caratterizzazione geotecnica e modellazione sismica dei luoghi

Ai sensi D. M. II. TT. 14.01.08 Nuove N. T. C. & del Regolamento Regionale sismico n. 375/2016

Località : San Gordiano Viale Lazio

Civitavecchia RM 10/12/2016

Coll.ri Geom. Paolo Tufoni
Dott. Andrea Ricci

Geologo Valerio Tufoni
Iscr. Albo n°1859/10

Geologo Dario Tufoni
Iscr. Albo n°955/93

Indice

Premessa e scopo dei rilievi 2
Riferimenti Normativi 3
Geomorfologia 4
Geologia 8
Idrogeologia 11
Geo-Climatica 13
Rilievi e Saggi 15
Falda 15
Stratimetria e caratteri geotecnici 17
Prospezione geofisica 19
Cenni teorici 19
Strumentazione utilizzata 19
Metodologia d'indagine 20
Elaborazione dati delle prospezioni sismiche 21
Profilo sismico di sito 24
Risultati finali 26
Modellazione sismica 27
Conclusioni 32

FASCICOLO DELLE INDAGINI E PROVE ESEGUITE 33
Rilievi e Saggi 34
Indagine Sismica 36

Premessa e scopo dei rilievi

Su autorizzazione del Comune di Civitavecchia, sono state svolte indagini geologico tecniche al fine di valutare la fattibilità della realizzazione delle opere compensative al Comune di Civitavecchia del parco urbano pubblico del Palazzo di Acciaio ubicato in viale Lazio San Gordiano Civitavecchia Rm.

Vista la modesta entità dell'intervento, le conoscenze geologiche dirette, sono state acquisite eseguendo indagini in situ mediante indagini sismiche indirette, correlate con precedenti indagini, sui fronti di scavo, trincee, affioramenti naturali, letteratura tecnico scientifica edita per i luoghi d'indagine. Ciò ha permesso di ricostruire il modello geofisico.

In fase esecutiva qualora si intenda realizzare interventi più importanti (edificazione di strutture fuori terra), dovranno essere svolte comparazioni ed aggiornamenti tecnici, al fine di valutare la situazione geologica naturale, con l'ausilio del tecnico, ai sensi delle vigenti normative.

La quota **"0"** è 33 m (s.l.m.), dedotta dalla cartografia di riferimento C.T.R. Lazio Sez. 363101, alla scala 1:10.000.

Riferimenti Normativi

Il comune è annoverato alla Zona sismica 3B, come da delibera della G.R.L n°387 del 27/06/09 che ratifica l'O.P.C.M. n°3519/06; l'opera si inserisce in una classe di pericolosità geologica di Tipo A Bassa (allegato C del Regolamento regionale n.2 del 07/02/2012), e le strutture sono riferibili alla Classe d'uso II, (secondo Punto 2.4.2 DM 14.01.2008) con Rischio Basso. Per una completa caratterizzazione geologico-tecnica dell'area di studio ed una modellazione sismica, ci si è attenuti alle disposizioni dell'Allegato C Regolamento regionale n°2 /12 Snellimento delle procedure sismiche.

Tabella 1 - Classi d'uso § 2.4.2 N.T.C.-08

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:	
Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in *Classe d'uso III* o in *Classe d'uso IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in *Classe d'uso IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 2 - Classi di rischio geologico (da DGR n.2 07/02/2012 Allegato C)

	zona sismica 1	zona sismica 2a	zona sismica 2b	zona sismica 3a	zona sismica 3b
ASSEVERAZIONI	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A SORTEGGIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso II; classe d'uso III, escluse le strutture per l'istruzione - DGRL n. 489/2012)	ALTO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso III - strutture per l'istruzione; classe d'uso IV e opere pubbliche)	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Geomorfologia

Il sito di studio ricade nel territorio comunale di Civitavecchia, in area decentrata posta a Sud del tessuto urbano in loc. San Gordiano lungo Viale Lazio tratto direttrice urbano che si sviluppa con andamento parallelo alla viabilità principale SS1 Aurelia. L'area, sub-pianeggiante con debole vergenza verso la linea di costa, posta nel quadrante di Sud/Ovest dalla quale dista circa 600 / 700 m, è ubicata in sinistra idrografica del Fosso di Scarpatosta, in dominio morfologico a quote prossime i 33 m s.m.l. La pendenza dei luoghi è compresa tra il 2 / 4 %.

Le fasi di antropizzazione che hanno interessato i limiti del parco non hanno interferito con i luoghi, i quali hanno mantenuto un proprio grado morfologico naturale.

Il parco si rileva come un residuo naturale del contesto sub-urbano sin-sviluppo urbanistico degli anni 80/90.

Il luogo di intervento si inserisce nel parco; le strutture che si aggettano nell'immediato intorno, si rilevano generalmente prive di locali interrati.

Nell'area di studio si rilevano lineamenti naturali che possono condurre ad una ricostruzione morfologica dei luoghi ante-operam.

Le strutture che si aggettano nell'immediato intorno, non rilevano fenomeni di instabilità o dissesti in atto.

Le acque meteoriche, vengono captate dalla rete idrologica urbana e confluite verso le aree di deflusso naturale: compluvio condizionato del Fosso del Capriolo.

Non sono state rilevate aree depresse e potenzialmente soggette a fenomeni di impaludamento od allagamento.

Non si rilevano riemergenze del livello freatico pellicolare al piano di campagna e di cantiere.

Non si rilevano ne si hanno memorie storiche di cavità o strutture celate o sepolte.

I luoghi non rilevano perimetrazioni riferibili a fasce o rischi annoverati nelle tavole P.A.I. Lazio Nord, come evidenziato in Fig.2.

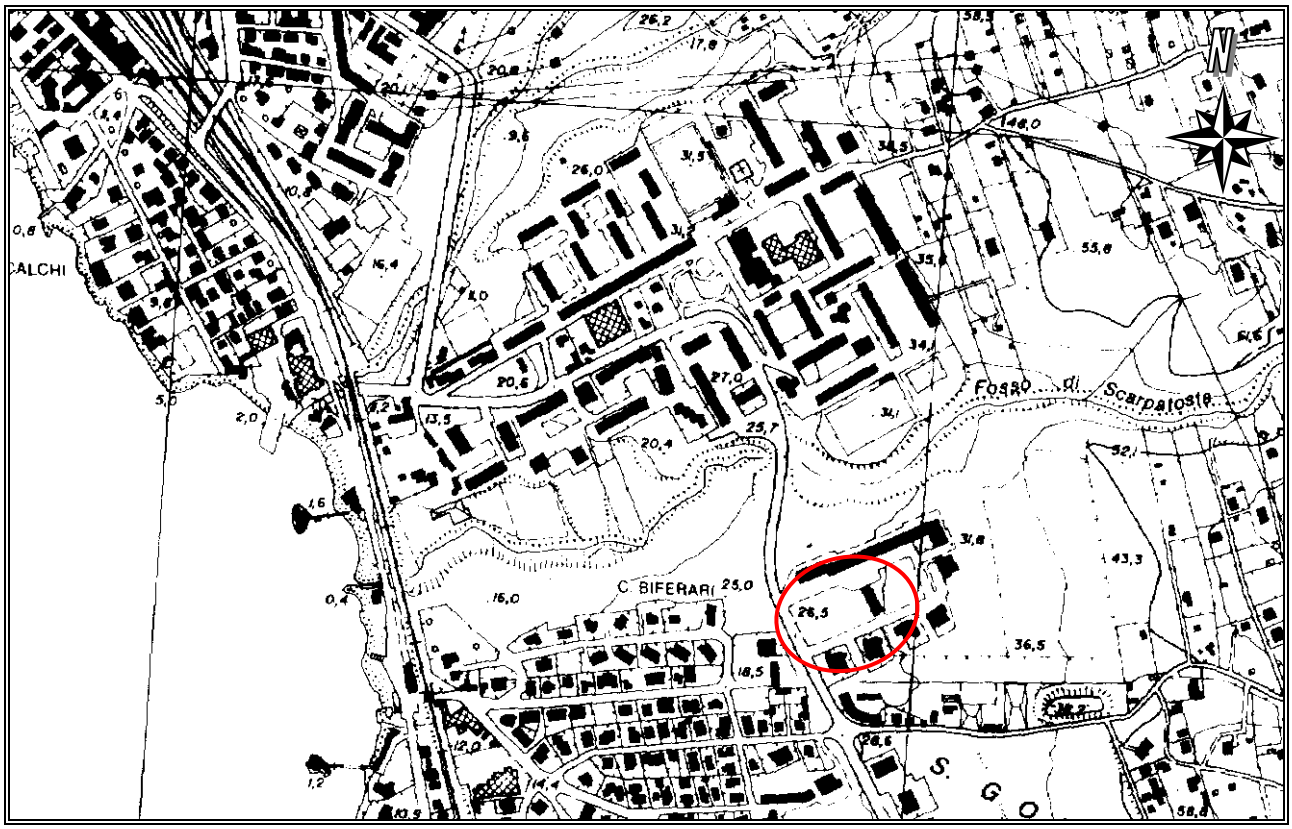


Fig. 2) Aerofotogrammetria (da CTR Lazio sez 363100 Civitavecchia) scala 1:10.000

Sito di studio quota 30 m s.l.m.

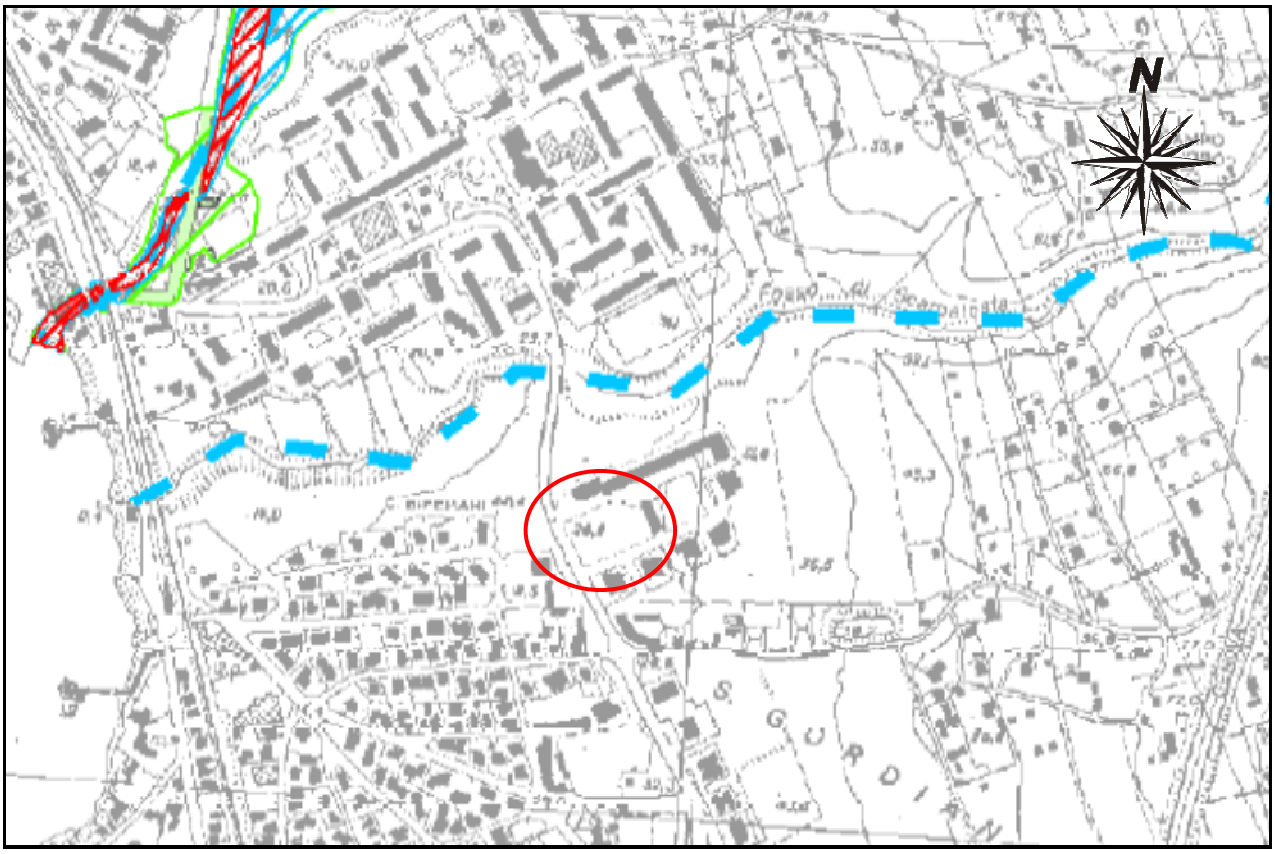
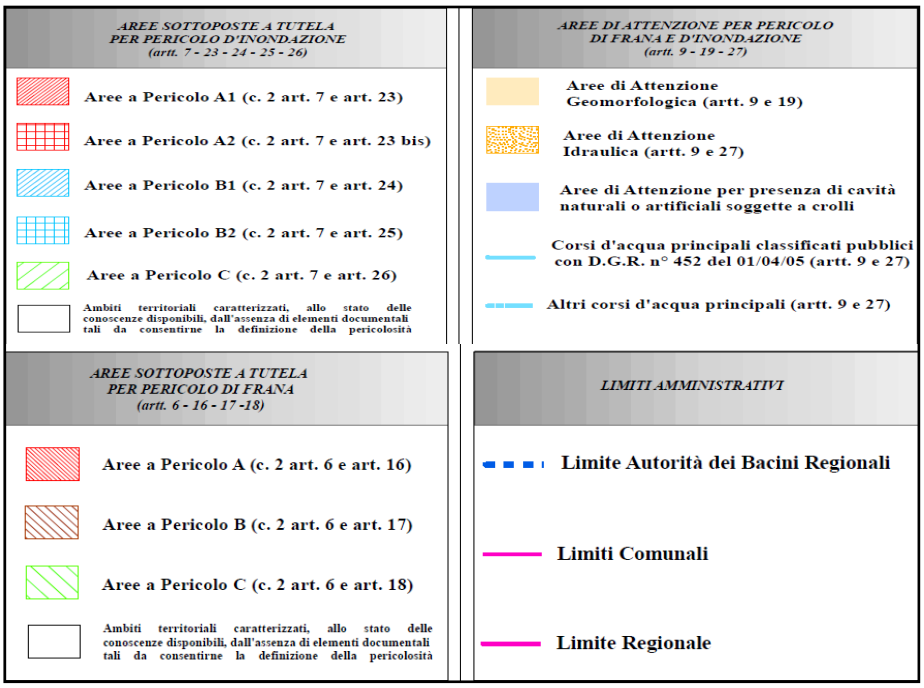


Figura 2) Piano d'Assetto Idrogeologico P.A.I. (Lazio Nord Tavola 2.08) *Scala 1:10.000*

Sito di studio quota 33 m s.l.m.



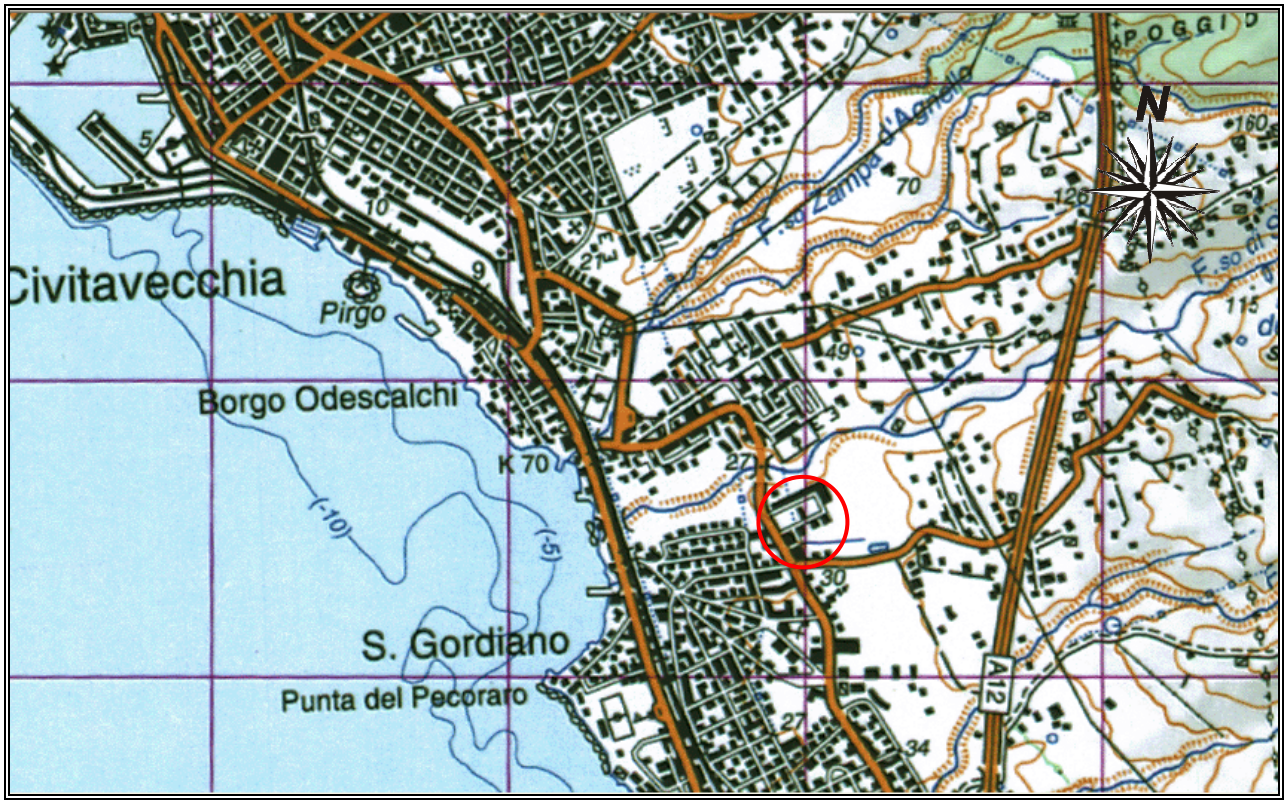


Figura 3) - Corografia (da I.G.M. Foglio 363 Civitavecchia) *scala 1:25.000*

Legenda

Sito di studio quota 33 m s.l.m.

Geologia

L'area di studio è compresa nel F° 142 della Carta Geologica d'Italia, si estende nelle propaggini costiere dei Monti della Tolfa, nel quale il centro abitato di Civitavecchia si estende per la quasi totalità, in Fig.4 è riportato uno stralcio dei luoghi dalla geologia regionale digitalizzata alla scala 1: 20.000.

Le sezioni rilevate rispecchiano la geologia nota dalla bibliografia; al di sotto della copertura vegetale ed organica -non omogeneamente distribuita- si rileva la presenza dalle coltri caotiche del Flysch della Tolfa, (minutamente fratturate e scompaginate, serie compressiva) ad alternanza Calcarea-Marnoso-Argillosa. Verso il litorale dominano i banchi di arenaria della "Pietraforte". Lungo le direttrici di debolezza strutturale, dove sono risaliti a giorno i fluidi termali si rileva la presenza di piastroni di travertino che interessano particolari settori del territorio, mascherando i contatti geologico-strutturali.

La differenziazione dei litotipi, riflette la risposta geomeccanica: a comportamento litoide, le arenarie e le stratificazioni marnoso-calcaree (di modesta potenza); a comportamento coesivo la frazione argillo-marnosa. Lo spessore totale della serie, noto dalla bibliografia, e' 600-700 m, di età attribuita Cretacica-Oligocenica.

.

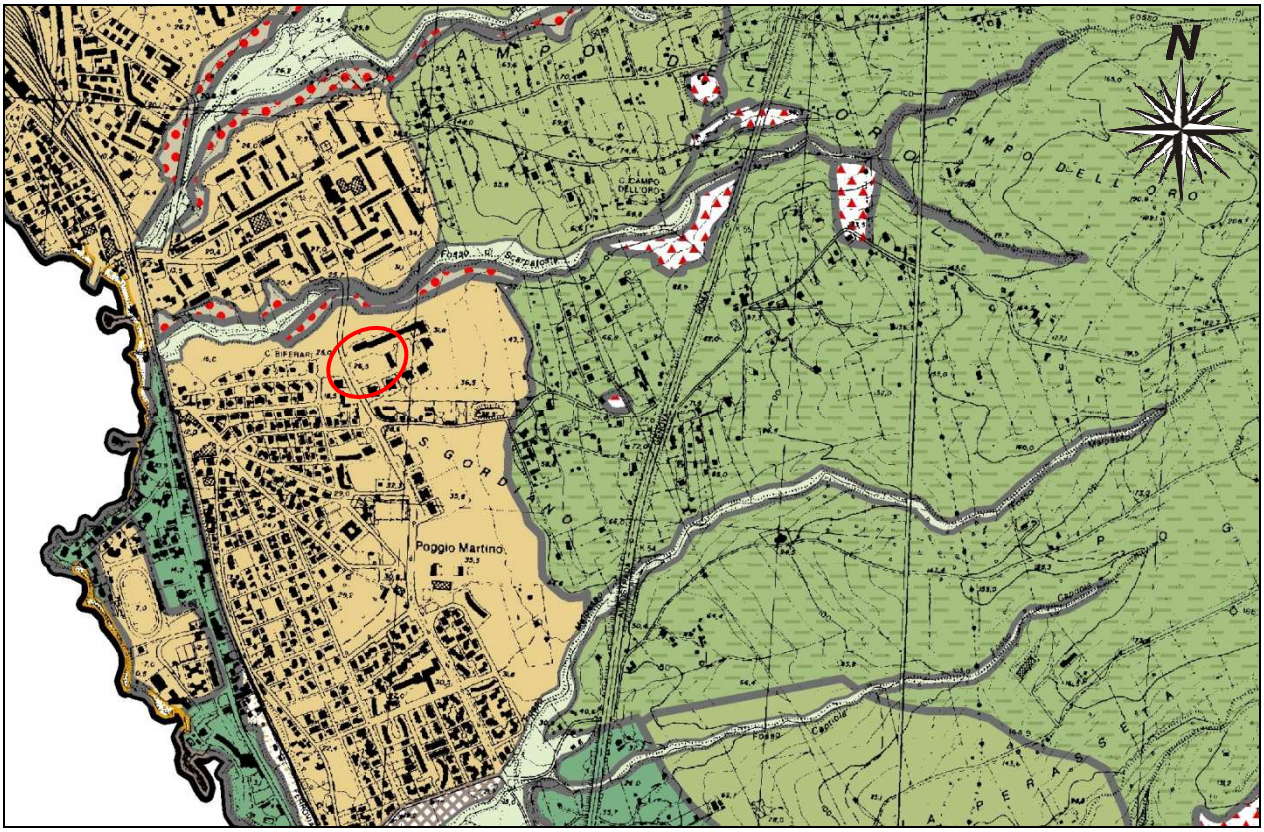


Figura 4) - Inquadramento geologico regionale (*Tufoni D. & V., 2011*). *Scala 1:20.000*

Legenda

Sito di studio quota 33 m s.l.m.

Argille	Depositi di piana deltizia	Flysch calcareo	Lave
Calcare biorganogeno	Depositi di spiaggia	Flysch calcareo marnoso	Pietraforte
Colluvio	Detriti antropici e riporti	Formazione del Mignone	Travertino
Depositi alluvionali	Flysch argilloso calcareo	Gesso	Instabilità di versante

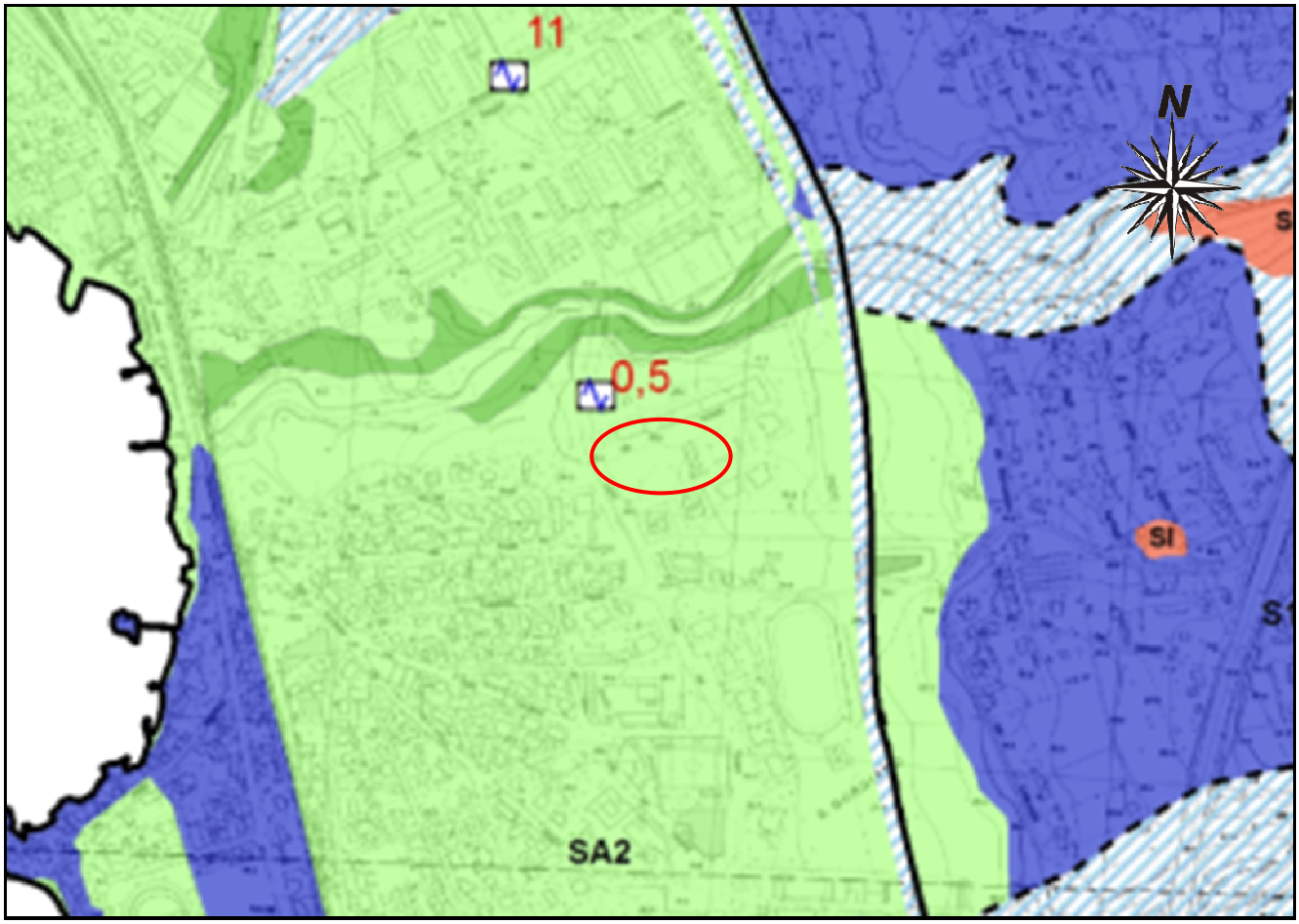
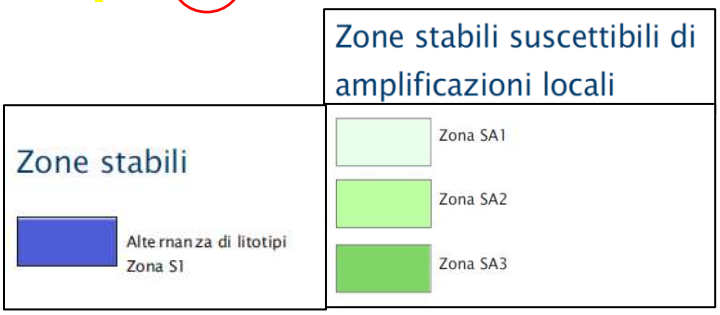


Fig. 6) Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica *Scala 1:10.000*
(Tav. 3A – Tufoni D. & Tufoni V., 2014 Comune di Civitavecchia RM)

Legenda

Sito di studio quota ca. 33 m s.l.m.



Idrogeologia

La litologia dominante nei luoghi è di natura flyscoide con un grado di permeabilità molto basso con una circolazione modesta e superficiale, localizzata nei livelli alterati e nelle stratificazioni marnoso – calcaree laddove si presentano fratturate e scompaginate.

Le acque circolanti nel sottosuolo risentono delle oscillazioni stagionali e in occasione di eventi meteorici importanti, si può determinare la rapida saturazione degli strati permeabili; con conseguente risalita del livello piezometrico.

Tutto ciò risulta mitigato dalla scarsa soluzione di continuità delle rocce permeabili (le quali risultano tamponate da intercalazioni argillose). Ciò fa' prevalere, all'infiltrazione e all'alimentazione della falda locale superficiale, il deflusso delle acque nelle rete naturale. Si tratta quindi di falde sospese, intercalate tra loro da livelli a permeabilità molto ridotta. Le opere di captazione che in genere vengono realizzate, raggiungono quote di 80 / 100 m, per intercettare i diversi livelli permeabili al fine di aumentare la produttività dell'opera. Nell'insieme si ha una bassa trasmissività con tempi di ricarica prolungati ciò limita le portate dei pozzi, contenute nell'ordine del lt/sec.

L'antropizzazione ha alterato le vie di deflusso naturali delle acque circolanti nel sottosuolo e meteoriche; creando delle vie preferenziali legate alle interferenze tra morfologia del substrato impermeabile e le opere di urbanizzazione.

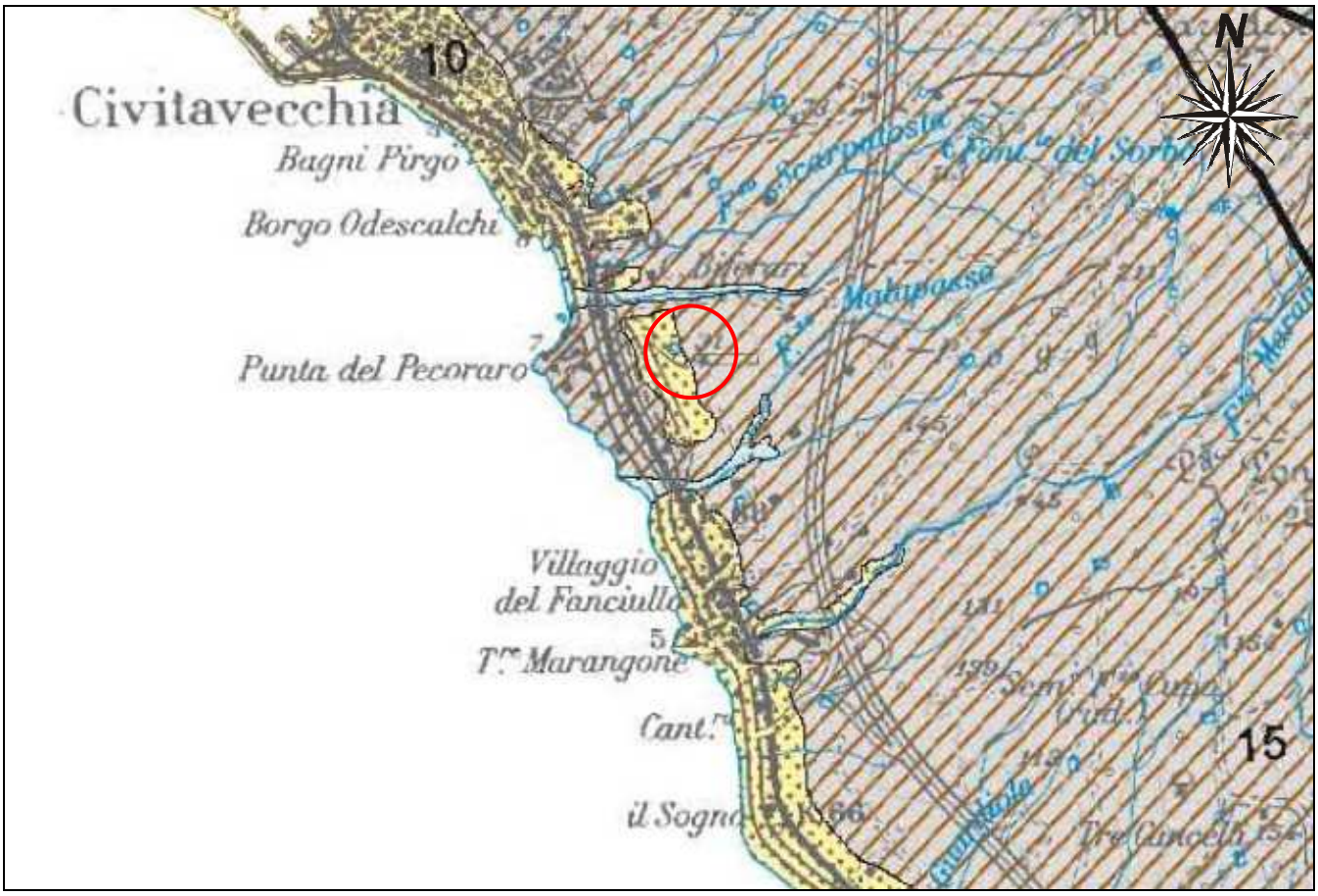


Figura 5) Carta Idrogeologica della Regione Lazio, Foglio 4 *(Capelli et alii. 2012)* *Scala 1: 50.000*

Legenda

Sito di studio quota ca. 33 m s.l.m.

4 — COMPLESSO DEI TRAVERTINI - ***potenzialità acquifera medio alta***
Travertini antichi, recenti ed attuali, concrezioni travertinose intercalate a depositi alluvionali e lacustri (*PLEISTOCENE - OLOCENE*). Spessore variabile fino ad un massimo di un centinaio di metri. Dove affiora in estese placche isolate è sede di una circolazione idrica significativa che da luogo a falde locali di buona produttività; dove si trova in continuità idraulica con gli acquiferi alluvionali e/o carbonatici regionali, la produttività della falda aumenta perché ben alimentata.

10 — COMPLESSO DEI DEPOSITI CLASTICI ETEROGENEI - ***potenzialità acquifera bassa***
Depositi prevalentemente sabbiosi e sabbioso - argillosi a luoghi cementati in facies marina e di transizione, terrazzati lungo costa, sabbie e conglomerati fluviali di ambiente deltizio (*PLIOCENE - OLOCENE*). Spessore variabile fino a un centinaio di metri. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa. Ove sono prevalenti facies conglomeratiche di elevata estensione e potenza si ha la presenza di falde di interesse locale.

15 — COMPLESSO DEI FLYSCH MARNOSO-ARGILLOSI - ***potenzialità acquifera bassissima***
Successioni generalmente caotiche di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi (*CRETACICO SUP. – OLIGOCENE*) affioranti prevalentemente nei Monti della Tolfa e nella Valle Latina. Spessori variabili fino ad oltre 1000 m. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa.

Geo-Climatica

I luoghi occupano una superficie rettangolare con il lato maggiore rivolto in direzione Est-Ovest. L'esposizione dominante risulta Est-Ovest, l'insolazione non risulta condizionata dal contesto topografico, limitatamente ostacolata dagli aggetti urbani ed è circa l'90% del giorno. La percentuale di luminosità (ombreggiamento) è funzione dell'insolazione, ed è circa il 10%.

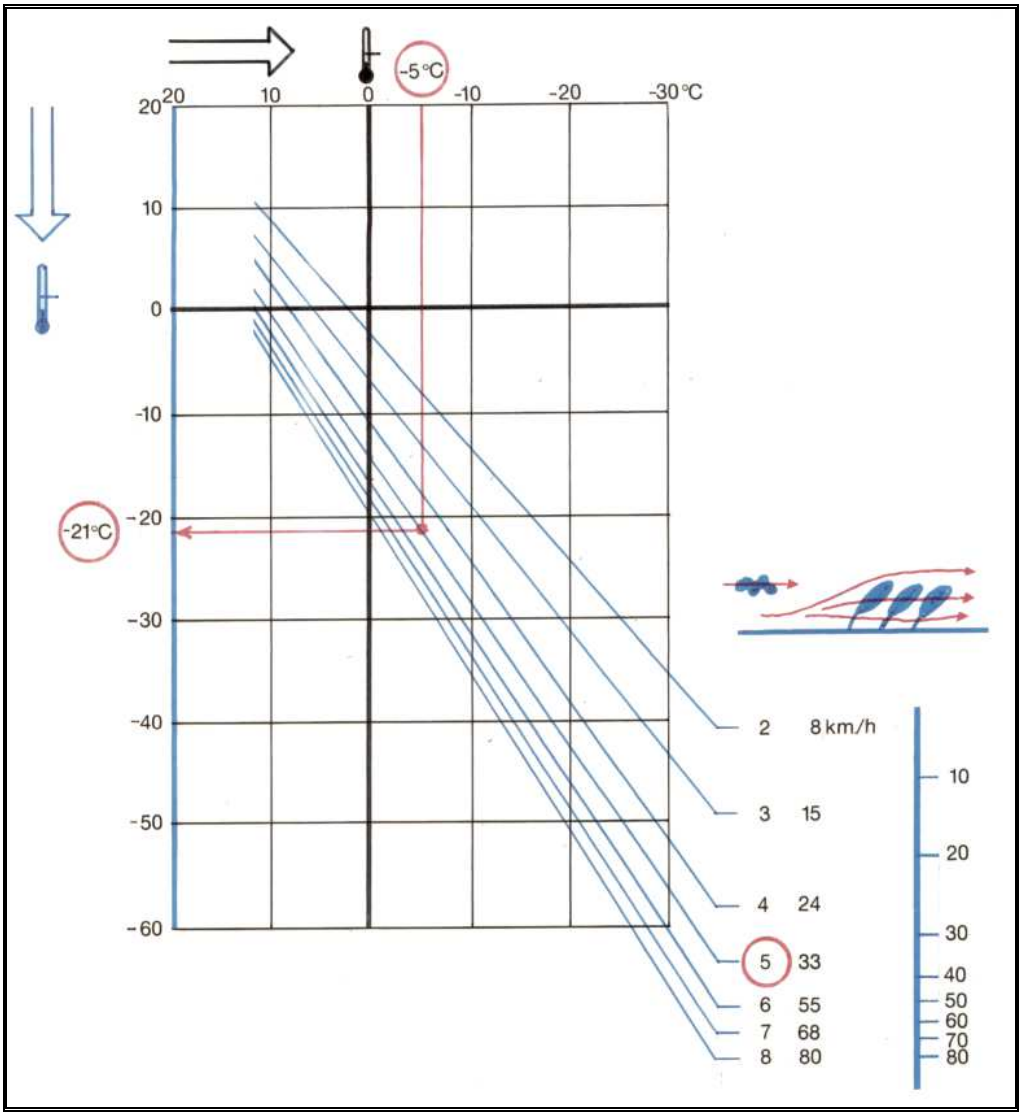
La temperatura media invernale si mantiene sopra i 5°C raramente scende sotto lo 0°C, la media estiva e di 19,3°C la media annua è di 16,2°C; la massima estiva 34,6°C (07/64).

La piovosità media annua è di 746 mm 1921/65 i dati sono tratti da U. Ventriglia - Idrogeologia della Prov. di Roma- Statisticamente il periodo maggiormente piovoso è compreso nel trimestre tra Ottobre e Dicembre con un numero medio di giorni piovosi di 61,8.

I venti con maggior frequenza, regnanti appartengono al quadrante Est-Sud (Levante, Scirocco, Ostro). I venti con maggior velocità, dominanti, appartengono ai quadranti di Nord-Nord/Ovest, Tramontana. Il regime dominante dei venti prevede, per tutte le direzioni, intensità (relativa alla scala Beaufort), compresa tra le Brezze ed i venti Moderati; venti Forti, Fortunale e Burrasca si rilevano occasionali.

La prevalente insolazione, in particolare per i piani in elevazione che risultano in situazione di dominio rispetto al contesto, permette variazioni termiche elevate che possono raggiungere (nei mesi più caldi Luglio - Agosto, associati a cali repentini di temperatura, cagionati da temporali estivi serali) sulle facciate esposte, escursioni dell'ordine dei 30 / 40°C. Nei periodi invernali, il salto termico può essere accentuato nelle facciate esposte ai venti dall'intensità o velocità di propagazione.

Per edifici alti, non protetti da quinte (urbane, morfologiche, naturali), la velocità di propagazione, crea abbassamenti termici, messi in relazione dal grafico di raffreddamento da azione eolica Windchill.



Rapporto tra la <u>*temperatura ambiente*</u> t_{est}, e la *velocità del vento* determina quindi la <u>*temperatura apparente locale*</u> t_{al}. Per un vento dichiarato **Forte** proveniente dai quadranti di Nord e Nord est, ca. 55 km/h e con una <u>*temperatura esterna*</u> di ca. 0° C si ha una *temperatura apparente locale* t_{al} = -18° C (*Numero di Windchill.) i dati sono tratti da* ***ga*** *n° 02-1999.*

Rilievi e Saggi

Per una completa valutazione geologica - tecnica delle aree sono stati correlati i dati di campagna con saggi, scavi e trincee, eseguiti in cantieri limitrofi, ed è stato eseguito un rilievo geologico dell'area supportato dalla bibliografia scientifico-tecnica; il tutto ha permesso di ricostruire la stratimetria dei luoghi.

In particolare sono state eseguite in sito le seguenti indagini:

- N°2 Prospezione geofisiche del tipo sismico:
  - N°1 metodologia MASW a 12 canali (Multichannel Analysis of Surface Waves) eseguita al fine di determinare la sismostratigrafia di sito.
  - N°1 metodologia Re.Mi. a 12 canali (Refraction Microtremor) eseguita al fine di affinare e determinare, interpretare e migliorare i dati acquisiti in metodologia MASW, per la definizione delle Vs30.

A corredo per il quadro conoscitivo dei luoghi sono stati eseguiti sopralluoghi degli edifici limitrofi e delle murature presenti al fine di verificare eventuali fenomeni di dissesto in atto o potenziali.

- Documentazione fotografica.

Falda

Le investigazioni condotte in ampia scala hanno rilevato la presenza di un circolazione pellicolare superficiale di acqua, a quote prossime i -2,80 m dal p.c. Perforazioni condotte in profondità non hanno documentato la presenza di una circolazione idrica produttiva.

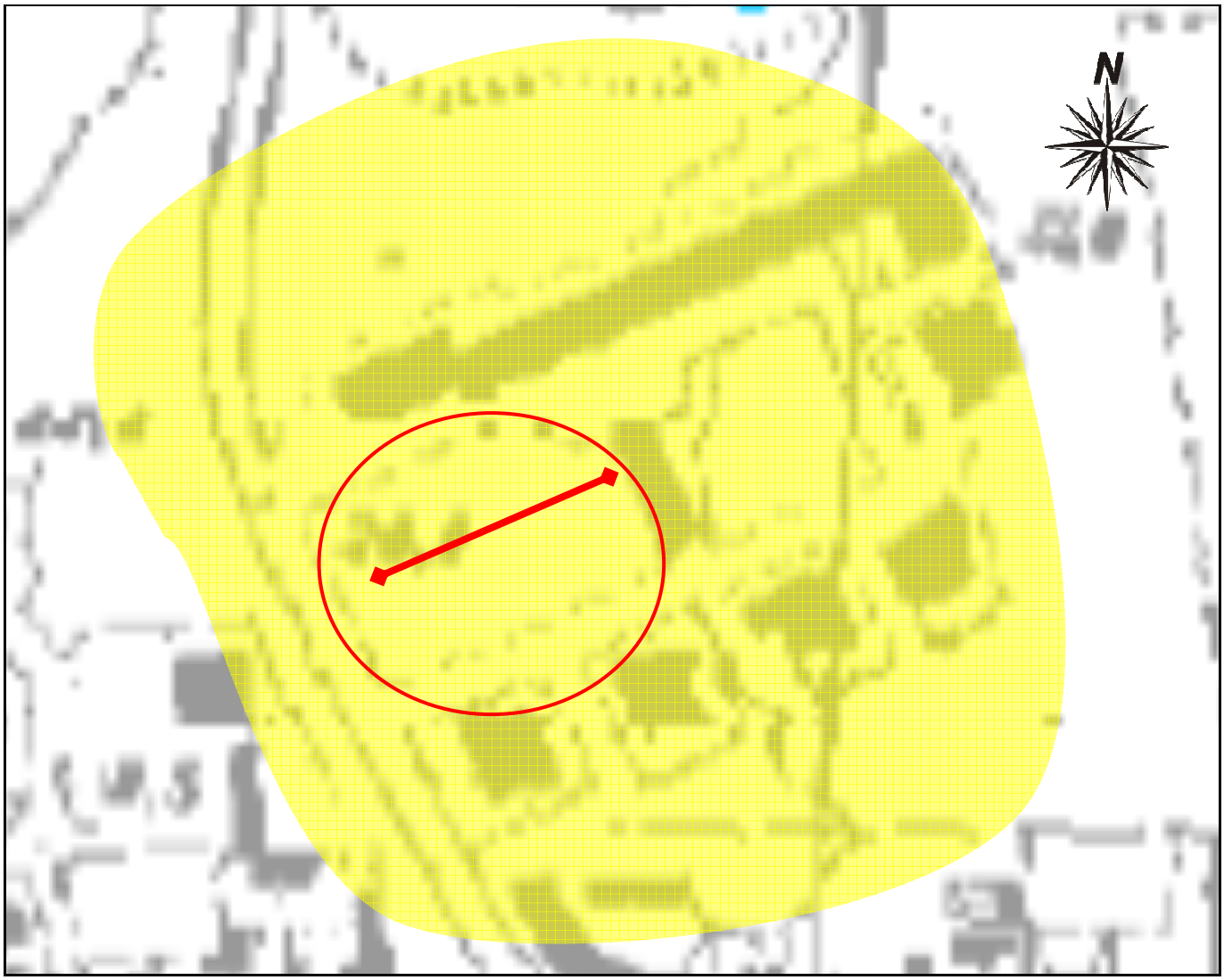


Figura 8- Geologia di dettaglio ed ubicazioni indagini *Scala 1.2.000*

Calcare bio-organogeno e conglomerati organogeni , calcareniti conchigliari, con sacche sabbiose e limose, a luoghi inglobanti livelli litoidi del sub strato in alto strutturale. Spessore a luoghi senza soluzione di continuità compreso tra i 1,5 / 2,5 m .“*Panchina Tirreniana*” Quaternario.

Array lineare prospezioni geofisiche del tipo sismico con metodologia MASW e Re.Mi.
Direzione del profilo geologico
.

Stratimetria e caratteri geotecnici

Livello 1) Da p.c. a - 2,40 m. Suolo vegetale in posto, eluvio, misto a materiale eterogeneo di risulta con lapidei di costruzioni e demolizioni edili. In matrice limo sabbiosa localmente limo argillosa in relazione alla prevalenza degli elementi di scarto. Poco costipato, non classato, aerato. Colore dominante marrone bruno. Il litotipo dal punto di vista geotecnico è stato caratterizzato con i valori minimi.

Tabella 3 – Caratterizzazione dedotta per media $\mathbf{N_{SPT} = 5}$

Litotipo *Sciolto*			
Densità	γ	1,5	g/cmc
Densità relativa	Dr	18	%
Angolo attrito interno	φ	20	°
Coesione non drenata	c_u	0	kg/cmq
Modulo di elasticità	E’	230	kg/cmq
Modulo di Poisson	μ	0,25	
Modulo di reazione	Kw	1,2	kg/cmq

Livello 3) Da -2,40 m dal p.c. Bedrock locale. “Flysch della Tolfa”, serie compressiva ad alternanza ritmica di livelli argillo-marnosi, calcareo-marnosi e calcarenitici, il tutto intercalato da argilliti fogliettate.

Tabella 4– Caratterizzazione per comportamento pseudo-litoide a Rifiuto

Litotipo *Molto Consistente/Duro*			
Densità	γ	2,10	g/cmc
Angolo attrito interno	φ	35	°
Coesione non drenata	c_u	1,5	kg/cmq
modulo di deformazione drenato	E’	1.439	kg/cmq
Coeff. di *Poisson*	μ	0,4	-
Modulo di reazione	Kw	10	kg/cmc

La struttura del litotipo è prettamente scagliosa, con livelli e plaghe di ossidi di manganese tra gli inclusi litoidi e pseudo litoidi calcareo marnosi. L'immersione è >30° verso Ovest. Il colore dominante per i livelli superficiali è giallo ocra con venature e sacche carbonatiche, con l'aumentare della profondità il colore è grigio verde con luoghi grigio scuro-neri. Intercalati si rilevano i livelli tipici litoidi calcareo marnosi a luoghi paesinizzati. Questi litotipi in presenza di acqua sono soggetti alla perdita delle caratteristiche geotecniche per Rammollimento (Softering fenomeno tipico di queste terre causato dalla percolazione di acqua superficiale o dalla circolazione interstiziale lungo la struttura scagliosa) fenomeno che va ad aumentare nel tempo in relazione ai mutamenti fisico meccanici (de-tensionamento), sbancamenti, scavi e trincee.

In relazione a quanto esposto, secondo Terzaghi & Peck si interpretano i valori con un rapporto pari a 2/3 dei rilevati.

Tabella5

Litotipo alterato *Softering*.			
Densità	γ	2,10	g/cmc
Angolo attrito interno	φ	23	°
Coesione non drenata	c_u	0,66	kg/cmq
modulo di deformazione drenato	E'	400	kg/cmq
Coeff. di Poisson	μ	0,2	-
Modulo di reazione	Kw	1	kg/cmc

Prospezione geofisica

Cenni teorici

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine indiretta, atta ad individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali -sull'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh- eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni, posti sulla superficie del suolo d'indagine. La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità in funzione della frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v / f$) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, può essere convertito nel profilo di velocità delle onde S, per inversione o per modellazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie. In questo metodo le onde superficiali, generate sulla superficie del suolo in un punto tramite energizzazione artificiale, sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni sensibili ad un range di frequenze definito, che permettono di restituire in fase di elaborazione, tramite curva di dispersione, informazioni sui primi 30 m di profondità, in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del suolo investigato - impetenza acustica ($I= \iota \quad v$) , della lunghezza dello stendimento e dalla potenza di energizzazione.

Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la prospezione sismica MASW, eseguita nel sito di indagine è composta: da un sismografo multicanale (12), DoReMi, con trasmissione digitale del segnale, prodotto dalla SARA Electronic Instruments S.r.l., concepito per garantire una drastica riduzione del rumore di fondo ed una velocità di acquisizione dei parametri sismici.

Lo strumento è costituito da unità miniaturizzate e indipendenti che distribuiscono l'elettronica lungo tutto lo stendimento. Per ottenere le massime prestazioni in fase di acquisizione sono stati utilizzati 12 geofoni a componente verticale Geospace GS11D 4.5Hz 4kΩ. L'energizzazione è stata fornita tramite massa battente del peso di 8 Kg, dotata di uno starter di trigger per il sismografo digitale.

Metodologia d'indagine

Le prove sono state eseguite realizzando uno stendimento geofonico lineare (array), con una distanza intergeofonica prefissata pari a 2,0 m, con direzione NNE/SSW, per una lunghezza di 24 m. Si è passati poi all'energizzazione dinamica verticale del terreno d'indagine generata in posizione esterna ed in linea con l'array, tramite massa battente da 8kg.

A seguito delle energizzazioni e quindi della propagazione delle onde superficiali, si sono registrate le vibrazioni indotte ai geofoni in superficie per un tempo di campionamento pari a 1 ms (sample time), un tempo di registrazione pari a 2 sec (recording time), ed una frequenza di 1000 Hz.

Per ogni prova sono state effettuate n° 3 energizzazioni (6energizzazioni totali) all'inizio dello stendimento (Start Shots), con un offset (distanza dal geofono di start) di 2,0 m.

Inoltre al fine di interpretare al meglio le caratteristiche sismostratigrafiche del terreno investigato si è scelto di eseguire, con una geometria analoga alla prova MASW, una prospezione sismica passiva di tipo ReMi (Refractor Microtremor), che consiste nel registrare la dispersione delle onde superficiali, generate dalla presenza di rumori di fondo, caratterizzati per definizione da basse frequenze, in modo tale da avere informazioni per una profondità di investigazione maggiore e correlarle in fase di elaborazione con i dati registrati in metodologia MASW.

Questa acquisizione viene processata dal programma al fine di affinare il dato acquisito permettendo di approfondire le conoscenze in situ.

L'analisi MASW è stata svolta utilizzando i seguenti parametri:

Numero di ricevitori..... 12
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1998ms

L'analisi ReMi è stata svolta utilizzando i seguenti parametri:

Numero di ricevitori..... 12
Passo temporale di acquisizione 2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 59998ms

Il tutto è stato acquisito per mezzo di software specifico DOREMI prodotto dalla SARA Electronic Instruments S.r.l..

Elaborazione dati delle prospezioni sismiche

L'elaborazione dei dati è stata realizzata con un software specifico "MASW 4.0.0.3" prodotto dall'Ing. Vitantonio Roma, che consente di gestire il sismogramma digitale acquisito in campagna, di eseguire una analisi spettrale e di individuare le curve di dispersione delle onde di superficie ed effettuare le procedure di inversione per l'interpretazione del modello sismostratigrafico delle Vs. Di seguito vengono riportati i grafici relativi alla elaborazione dati, ed il calcolo delle Vs30.

Figura 9: sismogramma principale (tracce sperimentali); ascisse *Spazio*; ordinate *Tempo*.

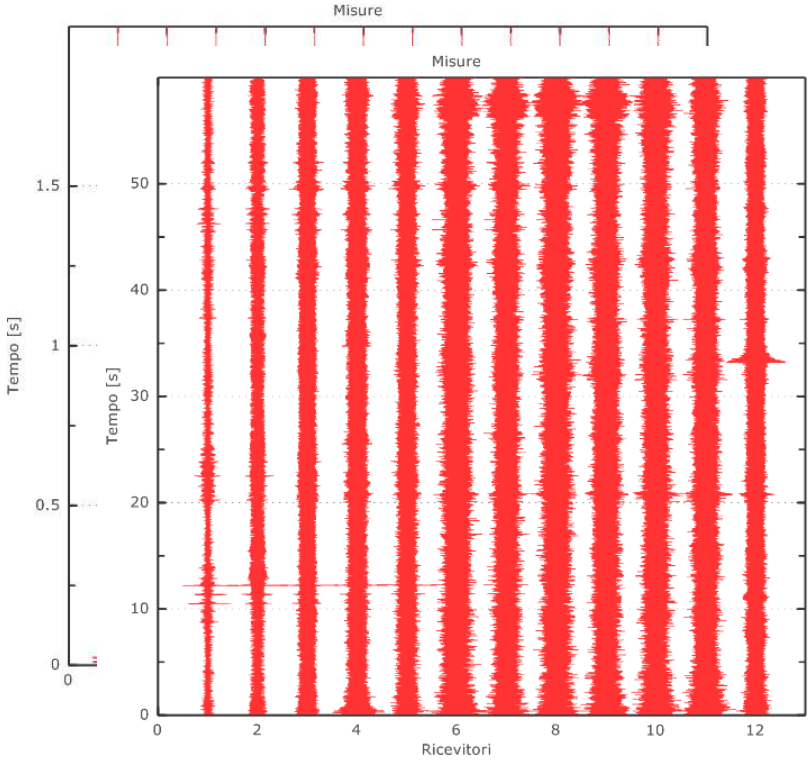


Figura 10: tracce sperimentali tecnica prospezione sismica passiva ReMi.

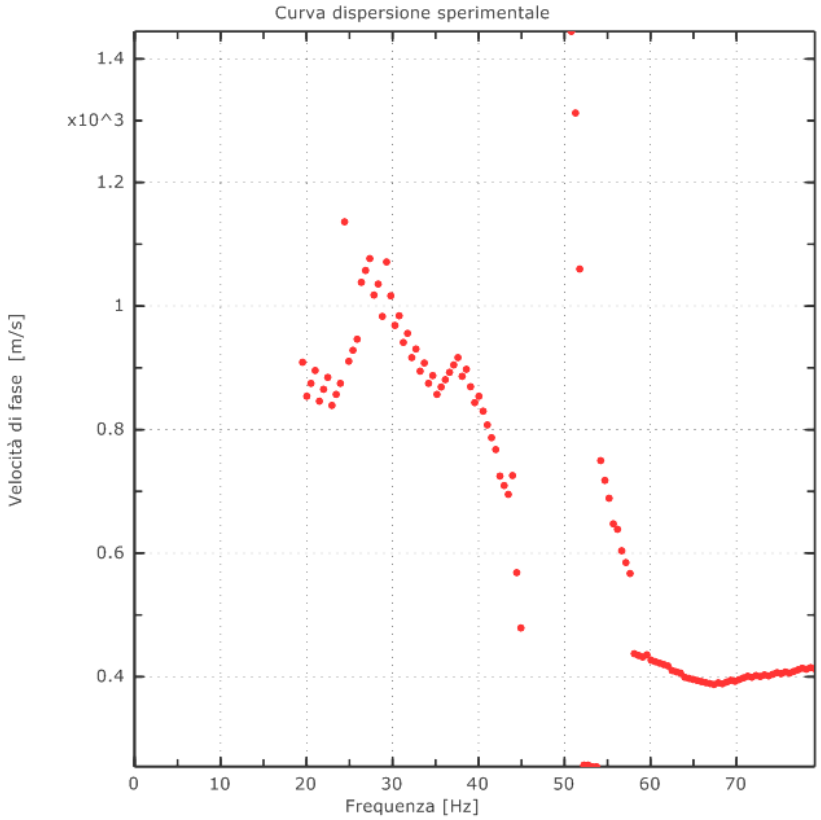


Figura 11: curva di dispersione, frequenza iniziale 10 Hz frequenza finale 85 Hz, utilizzate per l'analisi

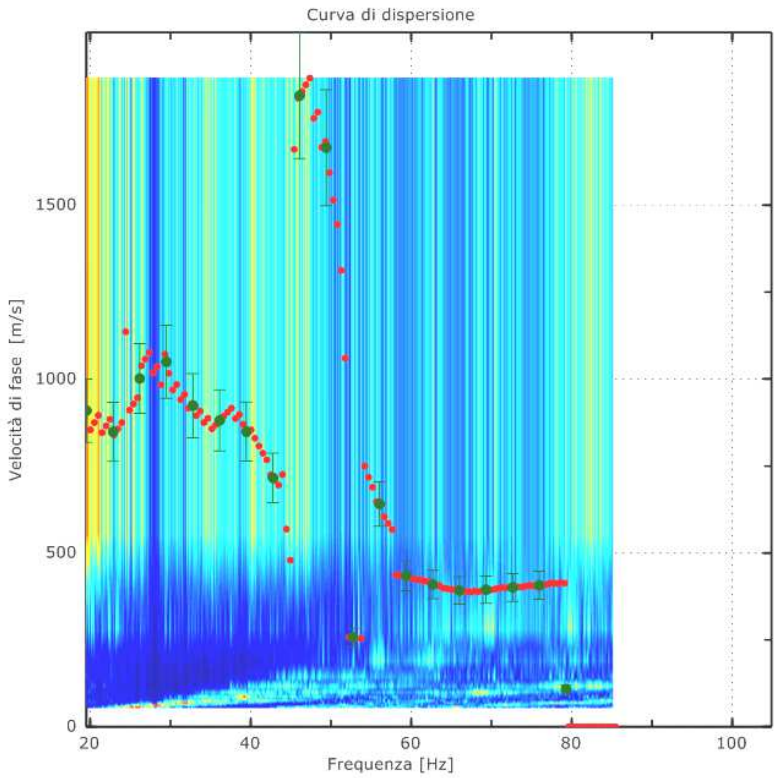


Figura 12: Punti d'analisi su curva di dispersione sperimentale.

Tabella 6 - Punti della curva di dispersione.

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
19.5313	909.091	818.182	1000
22.8516	848.352	763.516	933.187
26.1719	1001.65	901.484	1101.81
29.4922	1049.52	944.571	1154.48
32.8125	923.392	831.053	1015.73
36.1328	880.952	792.857	969.048
39.4531	848.913	764.022	933.804
42.7734	715.806	644.226	787.387
46.0938	1815.38	1633.85	1996.92
49.4141	1665.42	1498.87	1831.96
52.7344	257.143	231.429	282.857
56.0547	640.657	576.591	704.722
59.375	434.286	390.857	477.714
62.6953	409.445	368.5	450.389
66.0156	392.114	352.903	431.326
69.3359	394.444	355	433.889
72.6562	400.865	360.778	440.951
75.9766	406.908	366.217	447.599
79.2969	108.643	97.7786	119.507

Profilo sismico di sito

Numero di strati (escluso semispazio) 5
Spaziatura ricevitori ..... 2 m
Numero ricevitori 12
Numero modi 13
Numero iterazioni 2
Massimo errore % 35
Consentiti forti contrasti di rigidezza durante l'analisi 2

Strato 1

h [m] 1,6
z [m] ..... -1,6
Vs fin.[m/s] 130

Strato 2

h [m] 3,4
z [m] ..... -5
Vs fin.[m/s] 478

Strato 3

h [m] 2,5
z [m] ..... -7,5
Vs fin.[m/s] 798

Strato 4

h [m] 5,5
z [m] ..... -13
Vs fin.[m/s] 980

Strato 5

h [m] 17
z [m] ..... -30
Vs fin.[m/s] 1010

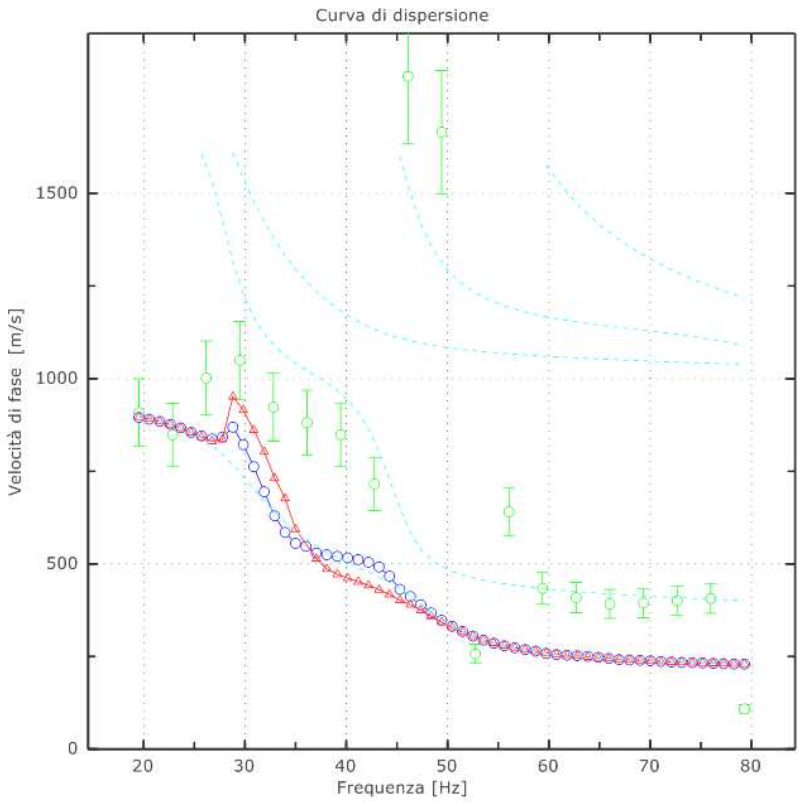


Figura 13: curva di dispersione; velocità numeriche, punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

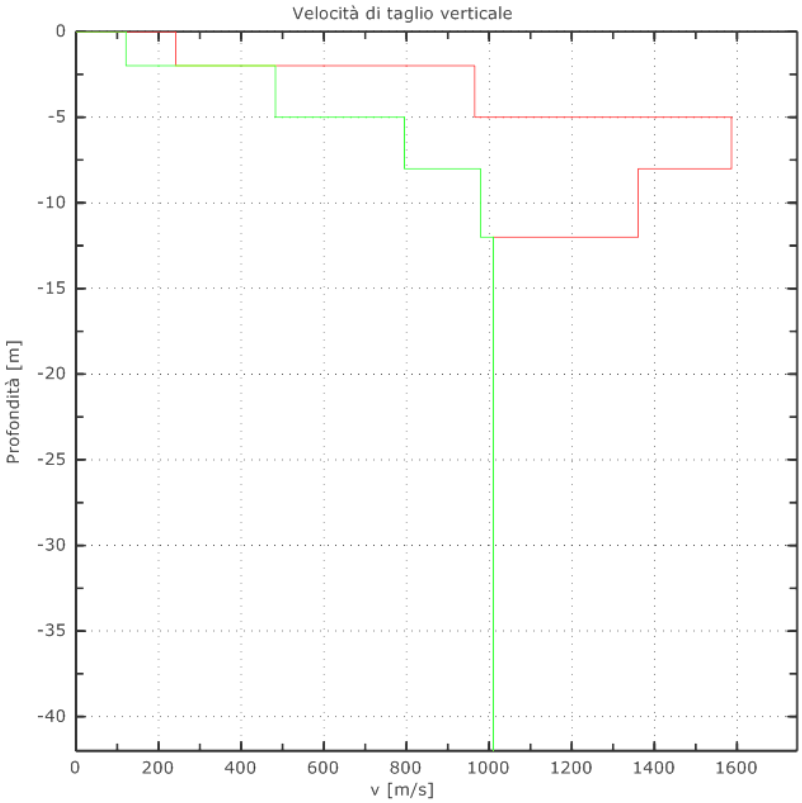


Figura 4 - Profilo sismostratigrafico, velocità delle onde di taglio Vs (traccia verde) per i primi 30 m.

Risultati finali

In relazione a quanto emerso dalle analisi eseguite secondo la vigente normativa, D.M. 14 Gennaio 2008, si afferma che: I litotipi presenti in sito appartengono alle classi A, B, C, D, E, S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia), **non** sono suscettibili a liquefazione e **non** ricadono nella categoria delle argille sensitive, non esiste uno strato di alterazione > di 3 m e le caratteristiche meccaniche degli strati aumentano gradualmente con la profondità.

Per il calcolo della Vs30 è stata utilizzata la seguente equazione:

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

Dove hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio in m/s dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori, sostituendo si ha una velocità **Vs30 pari a 681 m/s**. Di conseguenza la Vs30 risulta compresa nel range delle velocità dei litotipi classificati come Suoli di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

3.6

Modellazione sismica

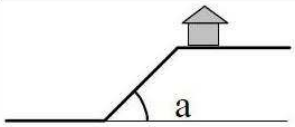
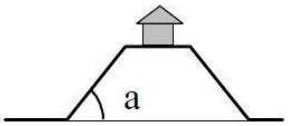
Il sito oggetto di studio si inserisce nella Zona Sismica 3B, lo schema per l'analisi dei terreni di fondazione in zone sismiche sviluppa i seguenti parametri di calcolo al fine della definizione della azione sismica in fase progettuale.

Tabella 7- Accelerazione orizzontale massima a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)

Zona Sismica	SOTTOZONA SISMICA	Valore di a_g
1		$0.25 \leq a_g < 0{,}278g$ *(val. Max per il Lazio*
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	*val. min.*) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio.

Tabella 8 - Fattore di amplificazione topografico **St=1**

Fattore di amplificazione topografica (S_T)			
Morfologia		Pendenza media a	S_T
Pendii scoscesi isolati		>15°	<1.2
Larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza di base		15° ÷ 30°	<1.4
		>30°	<1.2

La classificazione dei litotipi incontrati nel quale si intende impostare la struttura viene eseguita per mezzo dei parametri dedotti dalle velocità delle onde sismiche e da correlazioni con N_{SPT}.

Tabella 9- Categorie di sottosuolo (da Norme Tecniche per le Costruzioni 2008)

LITOTIPO DI SEDIME	DESCRIZIONE LITO-FISICA
A	**Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi** caratterizzati da valori di **Vs30 superiori a 800 m/s**, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	**Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s**. (ovvero $NSPT_{30}$ > 50 nei terreni a grana grossa e cu_{30} >250 kPa nei terreni a grana fina).
C	**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s**. (ovvero 15<$NSPT_{30}$ < 50 nei terreni a grana grossa e 70<cu_{30} <250 kPa nei terreni a grana fina).
D	**Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **Vs30 inferiori a 180 m/s**. (ovvero $NSPT_{30}$ < 15 nei terreni a grana grossa e cu_{30} <70 kPa nei terreni a grana fina).
E	**Terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 m**, posti sul substrato di riferimento **(con Vs > 800 m/s).**
S1	**Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s** (ovvero 10 < c_{u30} < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	**Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.**

Di seguito vengono riportati i parametri sismici della U.A.S. (Unità Amministrativa Sismica) come richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14.01.2008).

Fig. 15) Riferimenti geografici,vertici maglia di appartenenza, coordinate ED 50 lat. long. estratte da
http://www.geostru.com/geoapp/Parametri-Sismici.aspx

Fig. 16) Individuazione della pericolosità di sito, punto d'indagine.

Foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per la stima dell'azione sismica di progetto.

Fig. 17) Scelta della strategia di progettazione

Foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per la stima dell'azione sismica di progetto.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.025	2.596	0.194
SLD	50	0.030	2.663	0.220
SLV	475	0.056	2.817	0.322
SLC	975	0.066	2.906	0.338

Fig. 18) Elaborazioni: Tabella parametri azione.

Foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per la stima dell'azione sismica di progetto.

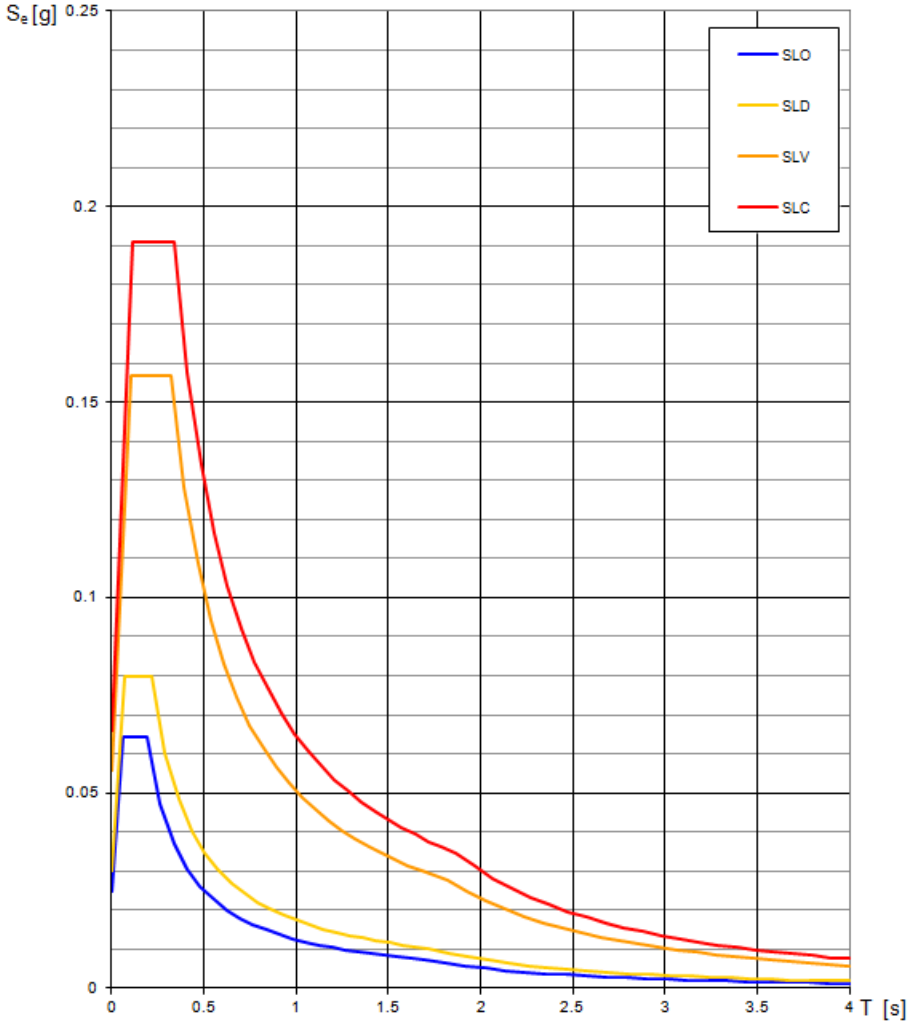


Fig. 19) Grafici Spettri di risposta

Foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per la stima dell'azione sismica di progetto.

Conclusioni

Sono state svolte indagini geologico tecniche al fine di valutare la fattibilità delle Opere compensative al Comune di Civitavecchia per il **parco del Palazzo di Acciaio** Viale Lazio S. Gordiano nel Comune di Civitavecchia (Rm).

Da quanto rilevato ed esposto:

1) le aree si presentano **morfologicamente stabili** con pendenze topografiche ≤ 2%;

2) le aree **non sono suscettibili** a liquefazione;

3) le aree **non sono in subsidenza** o soggette a cedimenti differenziali;

4) le aree **non rilevano perimetrazioni** riferibili a fasce o rischi annoverati nelle tavole P.A.I.

In relazione alla stratigrafia rilevata e alla naturale eteropia litologica, **non** si rilevano processi geomorfologici in atto o potenziali. **Non** sono state rilevate e **non** si hanno memoria di cavità sepolte o celate.

- **Non** si rileva la risalita della piezometrica al piano campagna, ne aree depresse o atte all'impaludamento.

-La modellazione sismica di sito prevede un suolo appartenente alla **categoria B,** con velocità delle onde di taglio per i primi 30 metri (Vs30) pari a: **681 m/s**.

Il relatore

dott. Dario Tufoni

FASCICOLO DELLE INDAGINI E PROVE ESEGUITE

Ai sensi del Regolamento Regionale Sismico n. 375/2016

Risanamento ed ammodernamento del parco pubblico del Palazzo di Acciaio S. Gordiano Viale Lazio

Relazione geologica e tecnica,
Ai sensi D. M. II. TT. 14.01.08 Nuove N. T. C.

Parco urbano del "Palazzo di Acciaio"
Viale Lazio
Civitavecchia Rm

Loc. S. Gordiano Civitavecchia (Rm) lì: 07/12/2016

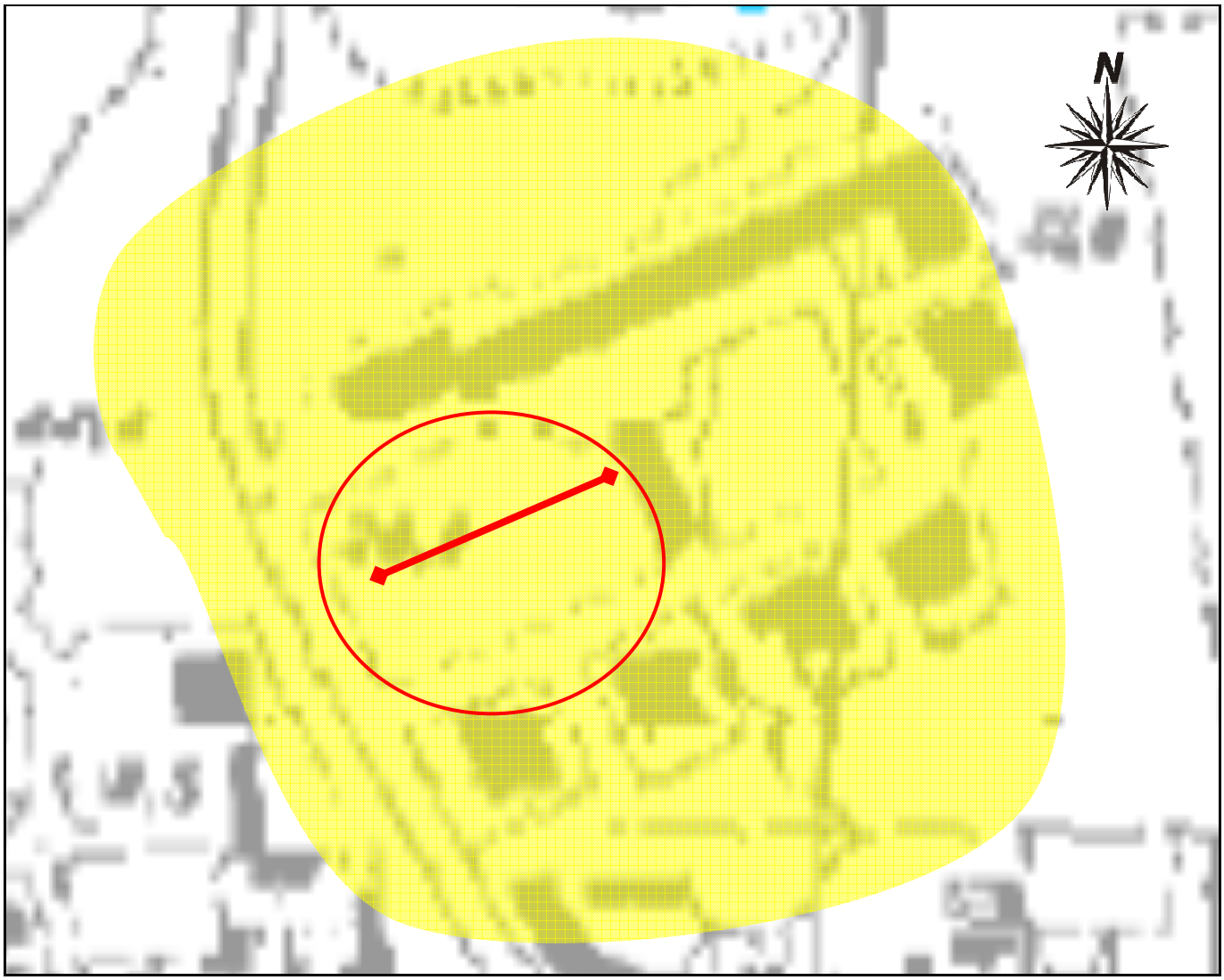
Rilievi e Saggi

Per una completa valutazione geologica - tecnica delle aree sono stati correlati i dati di campagna con saggi, scavi e trincee, eseguiti in cantieri limitrofi, ed è stato eseguito un rilievo geologico dell'area supportato dalla bibliografia scientifico-tecnica; il tutto ha permesso di ricostruire la stratimetria dei luoghi.
In particolare sono state eseguite in sito le seguenti indagini:

- N°2 Prospezione geofisiche del tipo sismico:
  - N°1 metodologia MASW a 12 canali (Multichannel Analysis of Surface Waves) eseguita al fine di determinare la sismostratigrafia di sito.
  - N°1 metodologia Re.Mi. a 12 canali (Refraction Microtremor) eseguita al fine di affinare e determinare, interpretare e migliorare i dati acquisiti in metodologia MASW, per la definizione delle Vs30.

A corredo per il quadro conoscitivo dei luoghi sono stati eseguiti sopralluoghi degli edifici limitrofi e delle murature presenti al fine di verificare eventuali fenomeni di dissesto in atto o potenziali.

- Documentazione fotografica.



Geologia di dettaglio ed ubicazioni indagini *Scala 1.2.000*

Calcare bio-organogeno e conglomerati organogeni , calcareniti conchigliari, con sacche sabbiose e limose, a luoghi inglobanti livelli litoidi del sub strato in alto strutturale. Spessore a luoghi senza soluzione di continuità compreso tra i 1,5 / 2,5 m .“*Panchina Tirreniana*” Quaternario.

Array lineare prospezioni geofisiche del tipo sismico
con metodologia MASW e Re.Mi.
Direzione del profilo geologico

Indagine Sismica

Cenni teorici MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine indiretta, atta ad individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sull'analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh- eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni, posti sulla superficie del suolo d'indagine. La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità in funzione della frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v / f$) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, può essere convertito nel profilo di velocità delle onde S, per inversione o per modellazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie. In questo metodo le onde superficiali, generate sulla superficie del suolo in un punto tramite energizzazione artificiale, sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni sensibili ad un range di frequenze definito, che permettono di restituire in fase di elaborazione, tramite curva di dispersione, informazioni sui primi 30 - 50 m di profondità, in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del suolo investigato - impetenza acustica ($I = \iota v$) , della lunghezza dello stendimento e dalla potenza di energizzazione.

Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la prospezione sismica MASW, eseguita nel sito di indagine è composta: da un sismografo multicanale (12), DoReMi, con trasmissione digitale del segnale, prodotto dalla SARA Electronic Instruments S.r.l., concepito per garantire una drastica riduzione del rumore di fondo ed una velocità di acquisizione dei parametri sismici.
Lo strumento è costituito da unità miniaturizzate e indipendenti che distribuiscono l'elettronica lungo tutto lo stendimento. Per ottenere le massime prestazioni in fase di acquisizione sono stati utilizzati 12 geofoni a componente verticale Geospace GS11D 4.5Hz 4kΩ. L'energizzazione è stata fornita tramite massa battente del peso di 8 Kg, dotata di uno starter di trigger per il sismografo digitale.

Metodologia d'indagine

Le prove sono state eseguite realizzando uno stendimento geofonico lineare (array), con una distanza intergeofonica prefissata pari a 2,0 m, con direzione NE/SW, per una lunghezza di 24 m. Si è

passati poi alla energizzazione dinamica verticale del terreno d'indagine generata in posizione esterna ed in linea con l'array, tramite massa battente.

A seguito delle energizzazioni e quindi della propagazione delle onde superficiali, si sono registrate le vibrazioni indotte ai geofoni in superficie per un tempo di campionamento pari a 1 ms (sample time), un tempo di registrazione pari a 2 sec (recording time), ed una frequenza di 1000 Hz.

Per ogni prova sono state effettuate n° 7 energizzazioni all'inizio dello stendimento (Start Shots), con un offset (distanza dal geofono di start) di 2,0 m.

Inoltre al fine di interpretare al meglio le caratteristiche sismostratigrafiche del terreno investigato si è scelto di eseguire, con una geometria analoga alla prova MASW, una prospezione sismica passiva di tipo ReMi (Refractor Microtremor), che consiste nel registrare la dispersione delle onde superficiali, generate dalla presenza di rumori di fondo quali vento, mare, attività antropiche etc., caratterizzati per definizione da basse frequenze, in modo tale da avere informazioni per una profondità di investigazione maggiore e correlarle in fase di elaborazione con i dati registrati in metodologia MASW. Il tutto è stato acquisito per mezzo di software specifico DO.RE.MI. prodotto dalla SARA Electronic Instruments S.r.l..

Foto 1 Prospezione sismica MASW