

COMUNE DI FOGGIA E TROIA

Provincia di Foggia

OGGETTO

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO IN AGRO DI FOGGIA E TROIA

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLE INDAGINI



COMMITTENTE

EN.GEO S.r.l. - Bari

PROGETTISTA

Ing. Fabio PACCAPELO

INDAGINI E RILIEVI

APOGEO s.r.l.

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (BA)
Cod. Fisc. e P. IVA 01037210778 REA: 472212 - Cap. Soc. € 94.628,00 i.v.
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it - PEC:
apogeo@pec.joomlahost.it
www.apogeo.biz

Il Geologo incaricato

Dott. Geol. Pietro PEPE



OS20A Class. I
OS20B Class. IIIBis

ALLEGATO

SCALA

DATA

GIUGNO 2021

Rif. commessa

047/2021



Cat.OS20A Class. I
Cat.OS20B Class.III Bis



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

SOMMARIO

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	2
1 PREMESSA	3
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI DEI VINCOLI DELL'AREA IN ESAME	4
2.1 PIANO TUTELA DELLE ACQUE.....	5
2.1.1 <i>Inquadramento dell'area rispetto al Piano di Assetto Idrogeologico</i>	6
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, STRUTTURALE, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	7
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE	7
3.2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	8
3.3 INQUADRAMENTO IDROLOGICO	9
3.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	10
4 INDAGINI SISMICHE	12
4.1 DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE	12
4.2 ACQUISIZIONE DEI DATI	12
4.3 ELABORAZIONE DEI DATI	12
4.4 RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	12
5 PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,EQ	17
5.1 MASW – RE.MI. – DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE	17
5.2 MASW – RE.MI. – ACQUISIZIONE DEI DATI	17
5.3 MASW – RE.MI.– ELABORAZIONE DEI DATI	17
5.4 MASW RE.MI. – RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI	18
5.5 MASW – RE.MI.– INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	18
6 STIMA DEI MODULI ELASTICI DINAMICI	41
7 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	47
7.1 ASPETTI GENERALI	47
7.2 CARATTERISTICHE SISMICHE DI RIFERIMENTO DEL TERRITORIO E ASPETTI SPETTRALI	47
7.2.1 <i>Caratteristiche sismiche del territorio sulla base delle indagini eseguite</i>	47
7.3 INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO	50
7.4 STRATEGIA DI PROGETTAZIONE.....	53
8 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE	55
9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	56

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- *Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede della Puglia – Piano di Bacino Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI);*
- *PPTR (Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Puglia);*
- *Foglio e Note illustrative della Carta Geologica D'Italia, scala 1:100000;*
- *Ciaranfi N et al (1983) - "Carta Neotettonica dell'Italia Meridionale", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 515 del P.F. Geodinamica, Bari;*
- *AA.VV (1999) – "Guide Geologiche Regionali – Puglia e Monte Vulture", Società Geologica Italiana.*
- *Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)" - Art. 89 (L) - Parere sugli strumenti urbanistici (Legge 3 febbraio 1974, n. 64, art. 13);*
- *Decreto Ministero LL.PP.11/03/88 "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";*
- *Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche" (G.U. n.105 del 08/05/2003);*
- *Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006) "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (G.U. n.108 del 11/05/2006).*
- *Gruppo di Lavoro MPS (2004) – "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003". Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.*
- *Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 "Progetto S1 Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista all'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi".*
- *Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 - All. 1b "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale".*
- *Delibera D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 della Giunta Regionale - Regione Puglia: "Progettazione antisismica anche per progettazioni ricadenti in zona 4 ...Omissis...";*
- *Delibera D.G.R. n. 1214 del 31.05.2011 della Giunta Regionale - Regione Puglia: "O.P.C.M. n. 3274/03 – D.P.C.M. n. 3685/03 – D.G.R. n. 153/04 – Allegato 2 – D.M. 14.01.2008, Punto 2.4.2 (Classi III-IV)" – Individuazione degli "Edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile".....*
- *"Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture" del 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n.8);*
- *Circolare esplicativa NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019 – "Istruzioni per l'Applicazione delle Norme Tecniche".*

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è stata redatta a supporto del Progetto di fattibilità per la “**REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO**” in un’area compresa tra l’agro di Foggia e quello di Troia (Fg). Alla luce delle opere da realizzarsi sono stati affrontati gli aspetti geologico-stratigrafici e geotecnici del sito in esame ed è stato condotto uno studio finalizzato a:

- verificare la vincolistica paesaggistica gravante sul territorio relativamente alle perimetrazioni del PPTR;
- verificare la vincolistica gravante sul territorio e le relative prescrizioni fissate dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità Distrettuale dell’Appennino Meridionale sede Puglia;
- verificare la presenza di situazioni stratigrafiche anomale che possano infirmare la sicurezza delle opere in fase di realizzazione;
- evidenziare i livelli interessati dalle fondazioni;
- fornire informazioni utili al fine di determinare la capacità portante ammissibile del terreno di fondazione;
- rilevare l’eventuale presenza della falda idrica e analizzare possibili fenomeni d’interferenza con la struttura in elevazione;
- stimare il valore del $V_{s,eq}$ e determinare la categoria del suolo di fondazione ai sensi delle “Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8).

Pertanto, con il presente elaborato sono state delineate le caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche e litologico-stratigrafiche dell’area in esame, i comportamenti dei terreni coinvolti in termini di risposte elastiche e alcuni tra i principali parametri geotecnici caratterizzanti il terreno.

Nello specifico sono state eseguite:

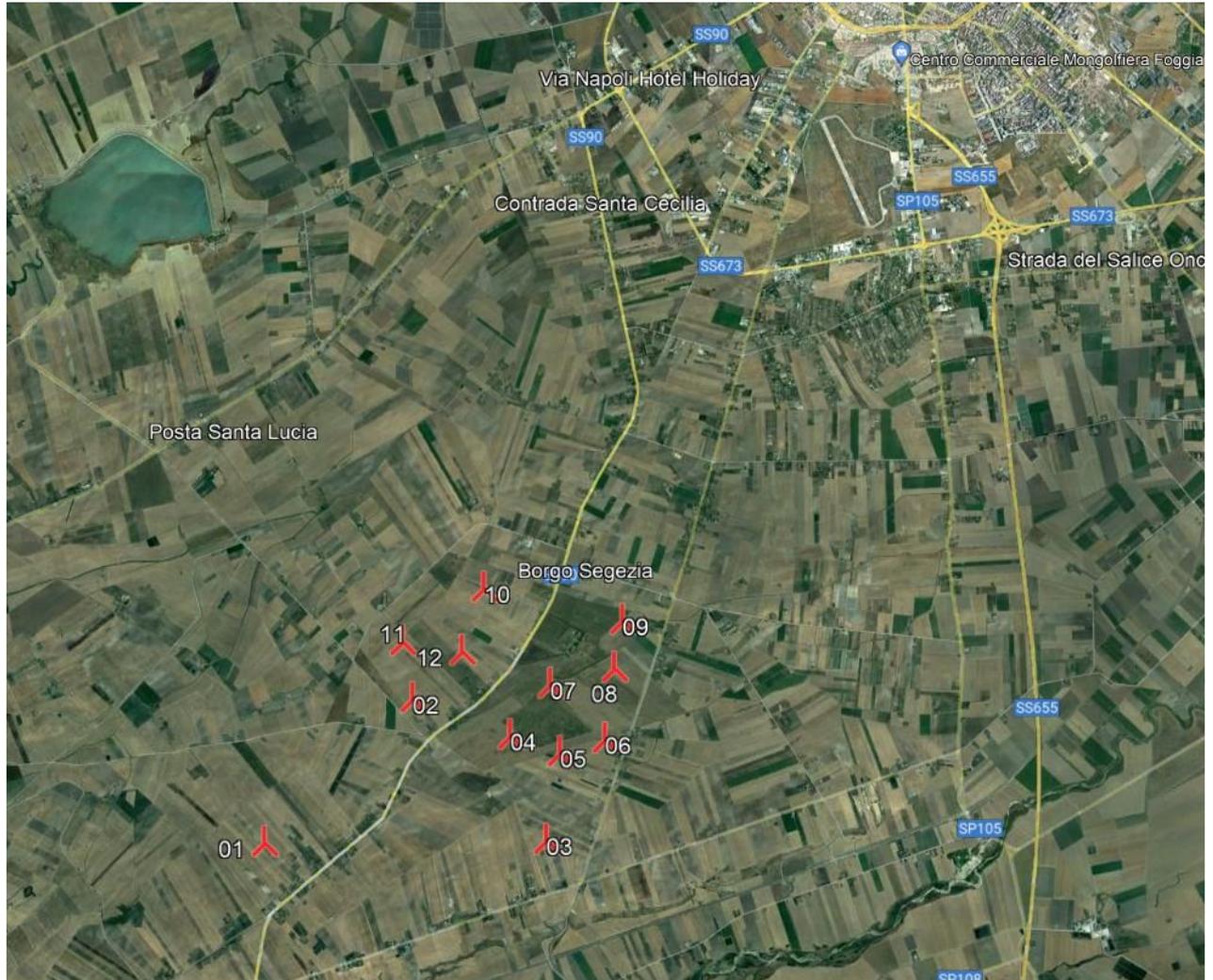
- n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P (**BS01, BS02, BS03 e BS04**), tutte di lunghezza pari a 75.0m per individuare la struttura sismostratigrafica del sottosuolo.
- n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie secondo la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), con acquisizione delle onde di taglio (S), per stimare il valore del $V_{s,eq}$ e classificare il sottosuolo in una delle categorie di suolo di fondazione previste dalle NTC 2018.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI DEI VINCOLI DELL'AREA IN ESAME

L'area in esame è ubicata tra i territori di Foggia e quelli di Troia (Fg): in particolare alcune delle opere in divenire ricadranno nella porzione sud-occidentale dell'agro di Foggia altre nella porzione orientale dell'agro di Troia (Fg).

Di seguito riporta uno stralcio dell'area d'interesse su Ortofoto.

Stralcio su Ortofoto 2018 con ubicazione dell'area in esame



2.1 Piano tutela delle acque

Con D.G.R. 19/06/2007 N. 883 la Regione Puglia ha provveduto ad adottare il Progetto di Piano di Tutela delle Acque (PTA), strumento tecnico e programmatico attraverso cui realizzare gli obiettivi di tutela quali-quantitativa del sistema idrico così come previsto dall'art. 121 del D.Lgs. 152/06. Gli obiettivi attribuiti dalla normativa vigente al Piano di Tutela delle Acque sono quelli di proteggere e preservare lo stato qualitativo e quantitativo dei corpi idrici al fine di:

- prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati;
- conseguire il miglioramento dello stato delle acque e adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi;
- perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili;
- mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

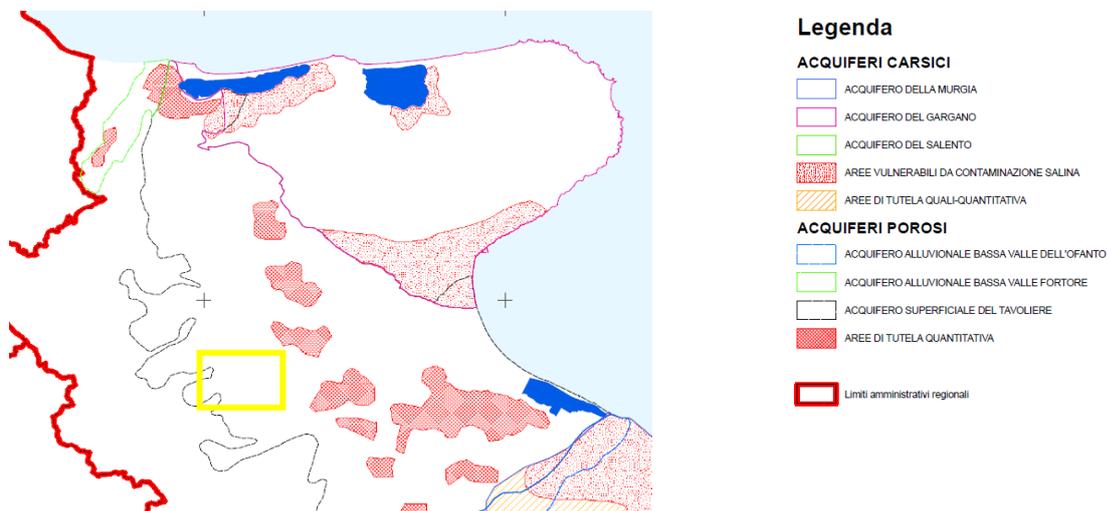
Con lo stesso provvedimento di giunta sono state adottate le "prime misure di salvaguardia" relative ad aspetti per i quali appariva urgente e indispensabile anticipare l'applicazione delle misure di tutela:

- misure di tutela quali-quantitativa dei corpi idrici sotterranei (Tavola B del PTA);
- misure di protezione per le zone di protezione speciale idrogeologica (Tavola A del PTA);

Esse hanno assunto carattere immediatamente vincolante per le amministrazioni, per gli enti pubblici e per i soggetti privati.

Dalla verifica su tali aree è emerso che l'area in esame non è compresa nell' **"Area di tutela quantitativa"**

Stralci delle tavole del PTA della Puglia con ubicazione dell'area in esame



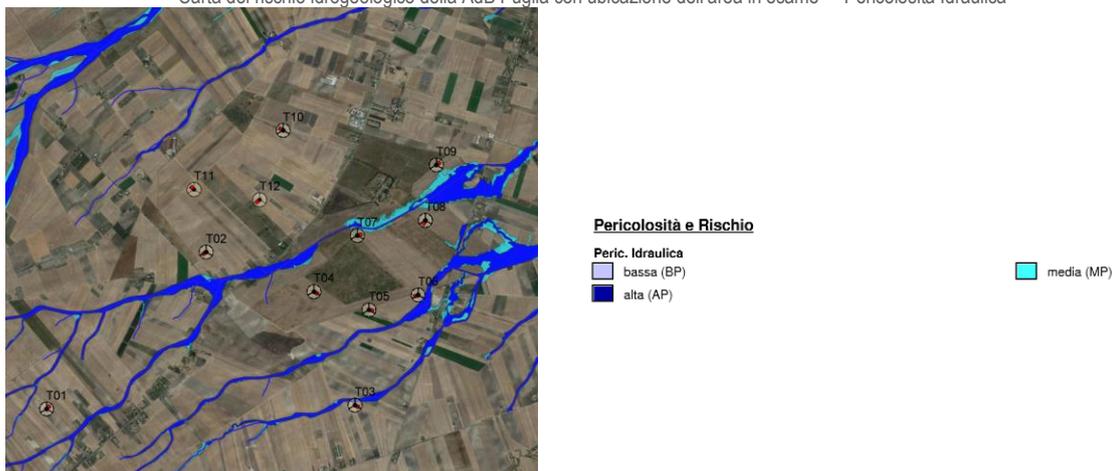
2.1.1 Inquadramento dell'area rispetto al Piano di Assetto Idrogeologico

Dalla Consultazione della “Carta del Rischio” del Piano stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale sede della Puglia, è emerso che nell’area in esame non vi sono perimetrazioni riguardo aree a pericolosità geomorfologica, idraulica e a rischio frane.

Carta del rischio idrogeologico della AdB Puglia con ubicazione dell'area in esame – “Pericolosità Geomorfologica”



Carta del rischio idrogeologico della AdB Puglia con ubicazione dell'area in esame – “Pericolosità Idraulica”



Carta del rischio idrogeologico della AdB Puglia con ubicazione dell'area in esame – “Rischio frane”



3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, STRUTTURALE, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico strutturale

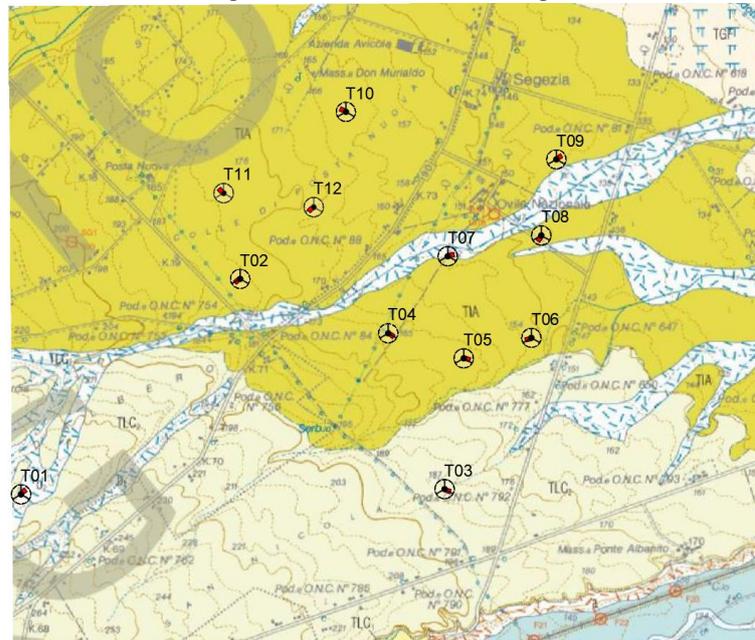
La superficie interessata dallo studio ricade nel F° 421 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Ascoli Satriano) redatta dal Progetto CARG, di cui di seguito si riporta uno stralcio, è ubicata nella pianura del Tavoliere, che da un punto di vista strutturale rappresenta l'Avanfossa appenninica.

Nel foglio sono presenti i sedimenti plio-pleistocenici della Fossa bradanica che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica compreso tra la Daunia e il promontorio garganico. Nel foglio non affiorano i calcari mesozoici che costituiscono la porzione più alta del Gargano. Questi calcari caratterizzano una zona di retro scogliera. Nel complesso le formazioni mesozoiche di retro scogliera formano due gruppi con facies distinta. Nella parte più orientale si trovano formazioni caratterizzate da calcari detritici ed oolitici, che costituiscono il substrato della zona di intervento, che sono verosimilmente legati ad una vicina scogliera; mentre nella parte più occidentale più compatti.

Per quanto riguarda i sedimenti plio-pleistocenici sono largamente rappresentati e son in continuità con gli stessi cartografati nei fogli limitrofi.

I sedimenti pleistocenici non presentano in generale, evidenti deformazioni e costituiscono nel loro insieme una monoclinale immersa in media verso l'Adriatico. Le deboli inclinazioni rilevate riflettono per lo più l'originale inclinazione del fondo marino su cui i sedimenti stessi si sono depositi.

Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 del Foglio N. 421 "Ascoli Satriano"



Legenda



Coltre eluvio-colluviale

Silt-argillosi nerastri con inclusi clasti calcarei ed arenacei con diametro medio di 10 cm; localmente sono presenti suoli più o meno evoluti.

OLOCENE



SINTEMA DI TROIA

Depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie in unità metriche con basso grado di cementazione grossolanamente gradate; la parte inferiore è disorganizzata ed embriicata. Localmente la stratificazione è accennata da unità a diversa granulometria e da lenti di sabbia fine e silt, a luoghi livelli ciottolosi. Spessore varia da pochi a 15 m.

PLEISTOCENE MEDIO

SINTEMA DI LUCERA

Depositi appartenenti a due subsistemi affioranti sui rilievi più elevati del settore occidentale del Foglio. Il limite inferiore è discordante ed erosivo, mentre quello superiore corrisponde alla superficie di inizio del modellamento delle attuali valli alluvionali.

CALABRIANO ? - PLEISTOCENE MEDIO

Subsistema di Masseria Castellaccio

Depositi alluvionali con caratteri sedimentologici variabili lateralmente, da ovest verso est, e verticalmente. Nella parte occidentale del Foglio il subsistema è costituito da conglomerati massivi matrice-sostenuti poco cementati alternati a conglomerati clasto-sostenuti a stratificazione planare obliqua riferibili a barre laterali ghiaiose. Negli affioramenti orientali le ghiaie ben organizzate, clasto-sostenute e con chiara embriocitura, sono alternate a lenti decimetriche di sabbie a laminazione incrociata. Nelle aree orientali verso l'alto sono presenti banchi amalgamati di ghiaie scarsamente selezionate, con matrice sabbiosa. L'intera successione può essere attribuita a un sistema alluvionale caratterizzato da progredazione verso i quadranti orientali. Spessore massimo circa 10-15 m.

CALABRIANO ? - PLEISTOCENE MEDIO



I terreni presenti in zona appartengono al Sintema di Troia e al Sistema di Lucera – subsistema di Masseria Castellaccio, che occupa una vasta area sub-pianeggiante interessata da numerose incisioni fluviali di ordini secondari riconducibili al Fiume Candelaro. I caratteri litologici e l'architettura stratigrafica generale sono stati ricostruiti attraverso diversi logs e sondaggi; lo spessore varia da circa 10-15 m per quanto riguarda i depositi alluvionali del Sistema di Troia e altrettanti per quanto riguarda i depositi del Subsistema di Masseria Castellaccio.

In entrambi i casi si tratta di depositi alluvionali, di natura ghiaioso sabbiosa con vario grado di cementazione.

In corrispondenza della Pala T07 sono presenti depositi siltoso-argillosi consistenti intesa come coltre eluvio-colviale.

3.2 Inquadramento morfologico

Dal punto di vista morfologico l'area ricade nel Tavoliere delle Puglie, un'area pianeggiante e leggermente collinosa.

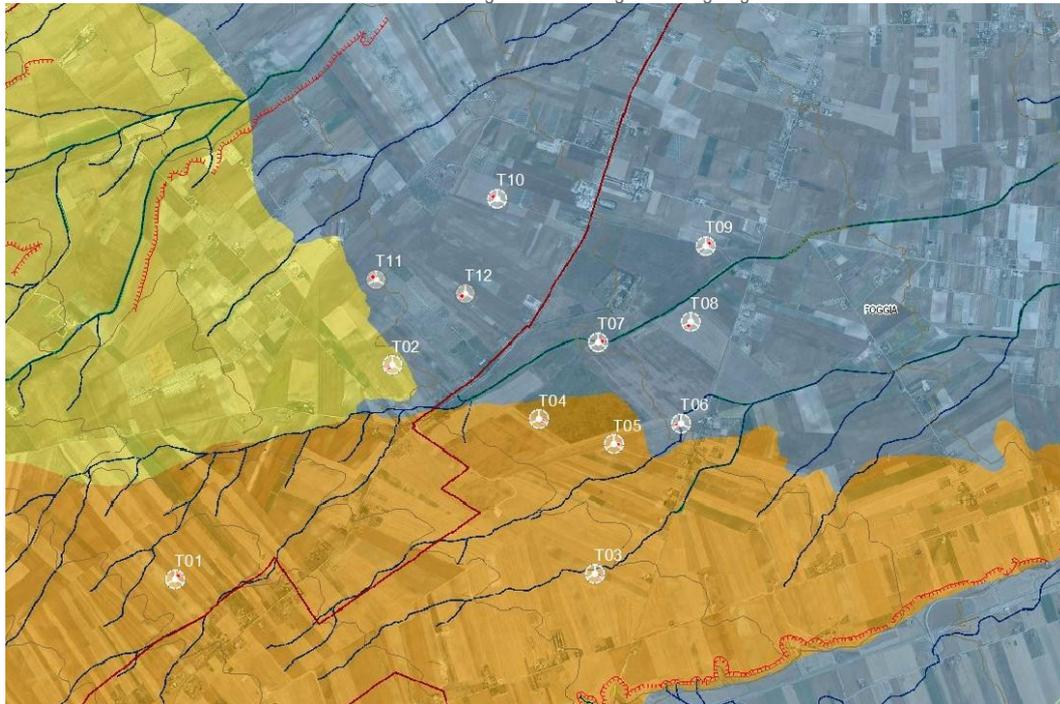
A sud del corso d'acqua Candelaro la morfologia è quella propria di tutta la Capitanata e cioè con vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da valli ampie con fianchi alquanto ripidi. L'area è solcata da tre importanti torrenti: il Candelaro, il Cervaro e il Carapelle e da tutta una rete di tributari che hanno spesso un deflusso esclusivamente stagionale.

La generale pendenza verso oriente della spianata rappresenta, molto probabilmente, l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su essa si sono adagiati.

Morfologicamente l'area strettamente in esame, si trova compreso tra il Torrente Candelaro a Nord e il Torrente Cervaro a Sud, ad una quota compresa tra circa 245m e 140m, dove l'elemento morfologico più evidente è costituito da una terrazza di abrasione marina.

Considerando la carta idro-geomorfologiche dell'Autorità di Bacino della Puglia, di cui di seguito si riporta uno stralcio, si evince che nell'intorno del territorio in esame sono presenti una serie di incisioni di epoca olocenica che soprattutto nei pressi dei centri abitati o della viabilità principale sono stati rettificati e bonificati per garantire il deflusso delle acque superficiali, laddove non si infiltrano nel sottosuolo, in direzione del mare.

Stralcio dell'ADB Puglia – Carta idro-geomorfologica generale



Elementi Geostrutturali

Litologia substr.

- | | |
|---|--|
|  Unità prevalentemente calcarea o dolomitica |  Unità a prevalente componente argillosa |
|  Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica |  Unità a prevalente componente arenitica |
|  Unità a prevalente componente ruditica |  Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile |
|  Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico |  Depositi sciolti a prevalente componente pelitica |
|  Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa | |

FORME DI VERSANTE

Linee

- | | |
|---|---|
|  Orlo di scarpata delimitante forme semispianate |  Cresta affilata |
|  Cresta smussata |  Asse di displuvio |
|  Nicchia di distacco | |

Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

Corsi d'acqua

- | | |
|---|--|
|  Corso d'acqua |  Corso d'acqua episodico |
|  Corso d'acqua obliterato |  Corso d'acqua tombato |
|  Recapito finale di bacino endoreico | |
|  Sorgenti | |

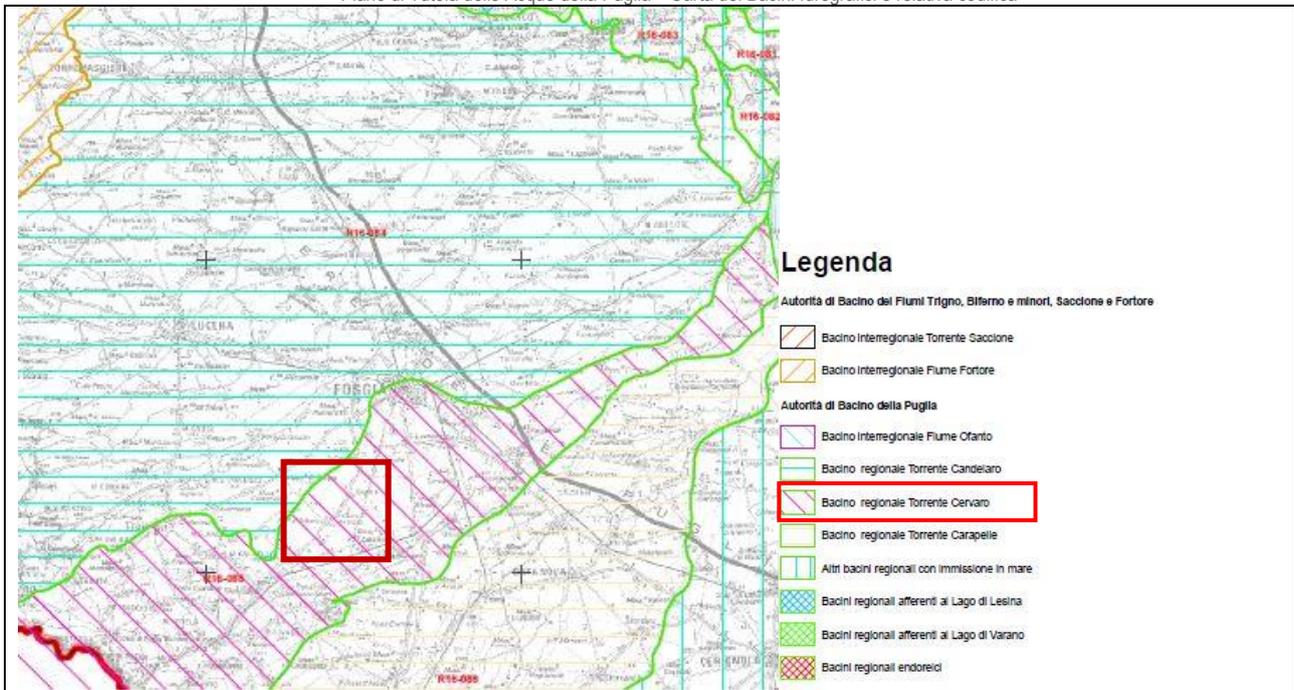
3.3 Inquadramento Idrologico

L'area in esame ricade nel Bacino del Torrente Cervaro denominato R16-085.

L'idrografia della regione è rappresentata da tre principali corsi d'acqua (Candelaro, Cervero e Carapelle) ad andamento torrentizio e stagionale. Essi sono stati regimentati per buona parte del loro corso e

sfruttati per la bonifica costiera. Nell'intorno dell'area strettamente in esame, sono presenti numerose risorgenti oltre al tratto iniziale canalizzato di un affluente del Torrente Cervaro, il quale circonda tutta la porzione a sud della città di Foggia; tali reticoli, come descritto nel paragrafo precedente, non sono più presenti poiché la zona è stata urbanizzata e pertanto le incisioni minori sono state completamente obliterate.

Piano di Tutela delle Acque della Puglia – Carta dei Bacini Idrografici e relativa codifica



3.4 Inquadramento Idrogeologico

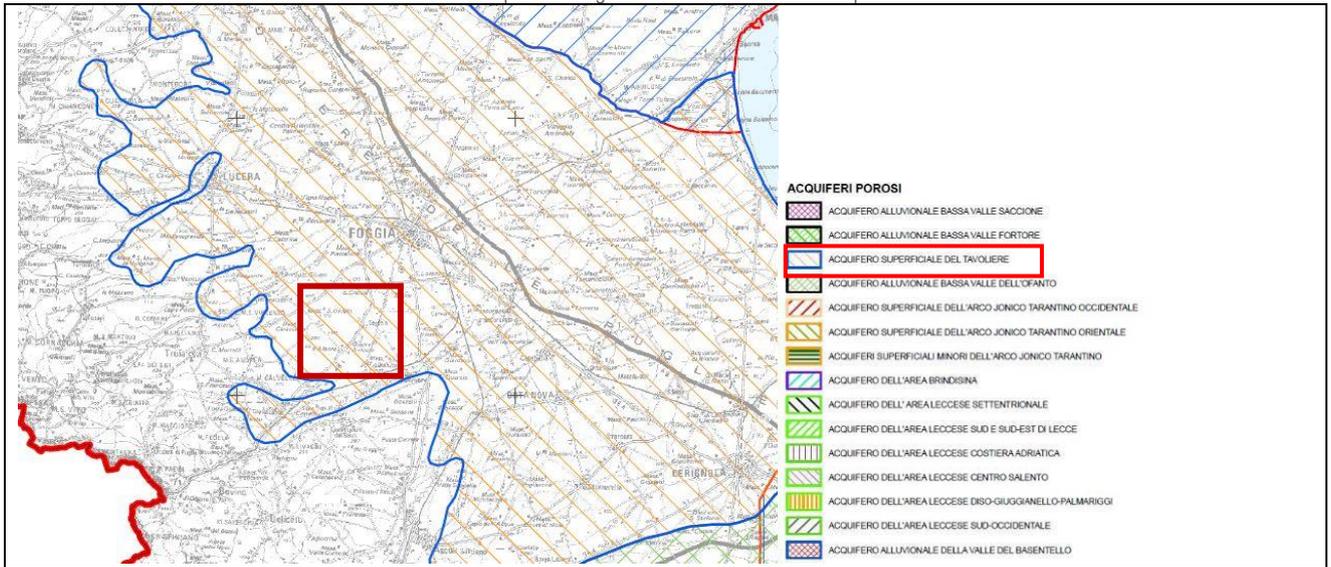
Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea si possono distinguere tre diversi tipi di acque: freatiche, artesiane e carsiche.

Tutta la porzione del Tavoliere racchiusa tra il promontorio del Gargano, il Golfo di Manfredonia e il Fiume Ofanto è interessata da acque freatiche dolci e acque salmastre distribuite in modo saltuario e di difficile delimitazione.

Pozzi perforati nei calcari, nella zona di Manfredonia, hanno rilevato la presenza di acque di origine carsica, dolci e salmastre mentre sempre nella zona di Manfredonia sgorga la sorgente di natura salina e fredda la quale viene alla luce naturalmente.

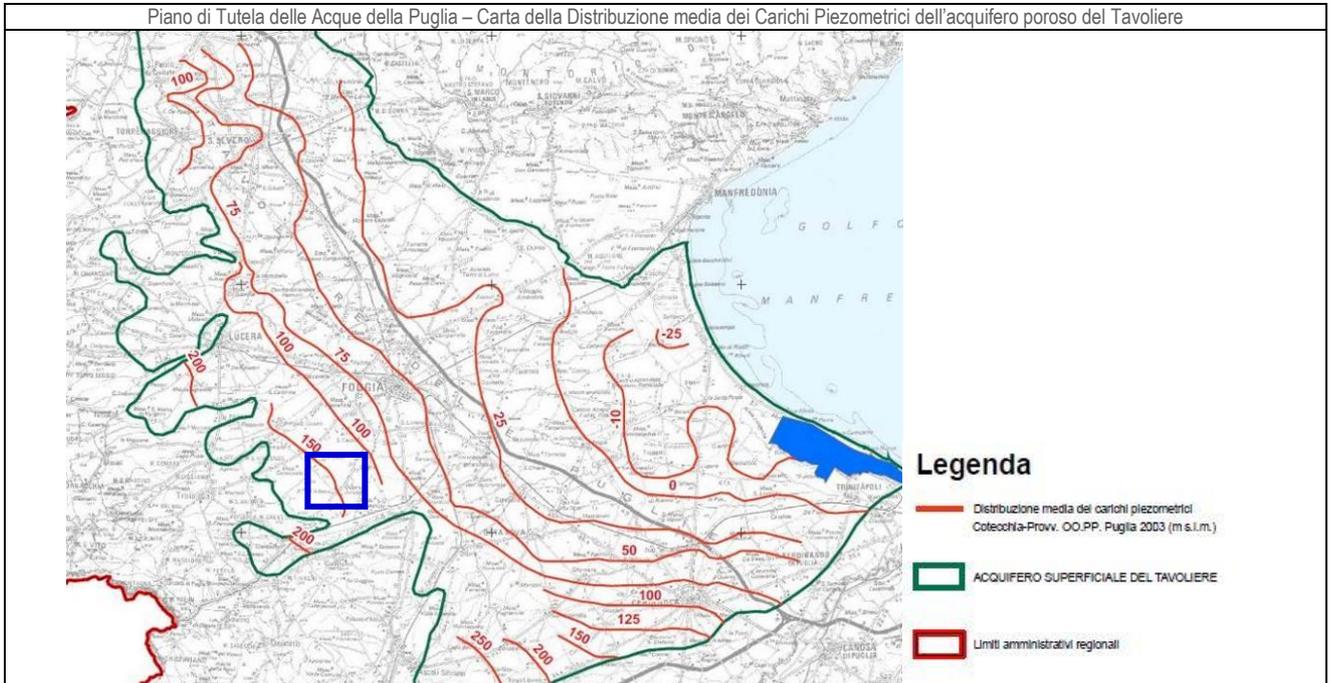
Nella zona specifica oggetto delle indagini, è emersa la presenza della falda superficiale freatica come si evince anche dalla consultazione della "Carta di esistenza dei corpi idrici sotterranei" del Piano di Tutela delle Acque della Puglia.

Piano di Tutela delle Acque della Puglia – Carta dell'esistenza dei corpi idrici sotterranei



Inoltre dalla consultazione della Carta della Distribuzione media dei Carichi Piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere, sempre del PTA, è emerso che la falda freatica nella zona specifica in esame si trova ad una quota compresa tra 150m e 125m sul livello medio del mare e dunque considerata la quota del sito in esame (compresa tra 245m e 140m m.s.l.m) la falda stazionerebbe ad una profondità compresa tra 95.0m e 15.0m dal piano campagna.

Piano di Tutela delle Acque della Puglia – Carta della Distribuzione media dei Carichi Piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere



4 INDAGINI SISMICHE

4.1 Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito.

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità.

I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche.

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati e in una sorgente del tipo ad impatto verticale per la generazione di onde rilevate da 24 geofoni rispettivamente di frequenza pari a 14Hz per le onde P.

4.2 Acquisizione dei dati

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione, in onde P (**BS.01÷BS.04**) tutte di lunghezza pari a 75 m e con spaziatura inter-geofonica pari a 3.0m.

L'ubicazione dei profili sismico è mostrata nella planimetria allegata (**Allegato 01A÷01D**).

4.3 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- ✓ inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- ✓ applicazione dei filtri "low-pass" e "high-pass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- ✓ picking dei primi arrivi;
- ✓ export delle dromocrone;
- ✓ inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;
- ✓ definizione del modello sismostratigrafico.

4.4 Rappresentazione dei risultati

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante precisare che generalmente:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;

- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h < 0.25 * z$.
- c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in tabella, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione tipici di ogni litotipo.

Tabella 1.1 – Valori di velocità per le onde di compressione (da “Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo” di Carrara – Rapolla – Roberti, “Il manuale del geologo” di Cassadio – Elmi).

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcere fratturato	700-4200
Calcere compatto	2800-6400
Calcere cristallino	5700-6400
Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidride	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P della base sismica, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo, esso è stato distinto in due sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione.

Data la lunghezza degli stendimenti eseguiti e la natura del sottosuolo in esame, è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità di circa 14m metri a partire dalla superficie topografica.

Di seguito si riportano le risultanze per le basi sismiche eseguite:

✓ BS01 in onde P ed S (mediante MASW01): si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	790	327	0,0 ÷ 6,0	<i>Deposito argilloso poco consistente</i>
2	1600	708	6,0 ÷ 13,50	<i>Deposito ghiaioso sabbioso mediamente cementato</i>

✓ BS02 in onde P ed S (mediante RE.MI.02): si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	690	295	0,0 ÷ 5,0	<i>Deposito ghiaioso sabbioso poco cementato</i>
2	1529	718	5,0 ÷ 13,50	<i>Deposito ghiaioso sabbioso cementato</i>

✓ BS03 in onde P ed S (mediante MASW03): si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	915	422	0,0 ÷ 4,50	<i>Deposito ghiaioso sabbioso mediamente cementato</i>
2	1625	780	4,50 ÷ 14,00	<i>Deposito ghiaioso sabbioso ben cementato</i>

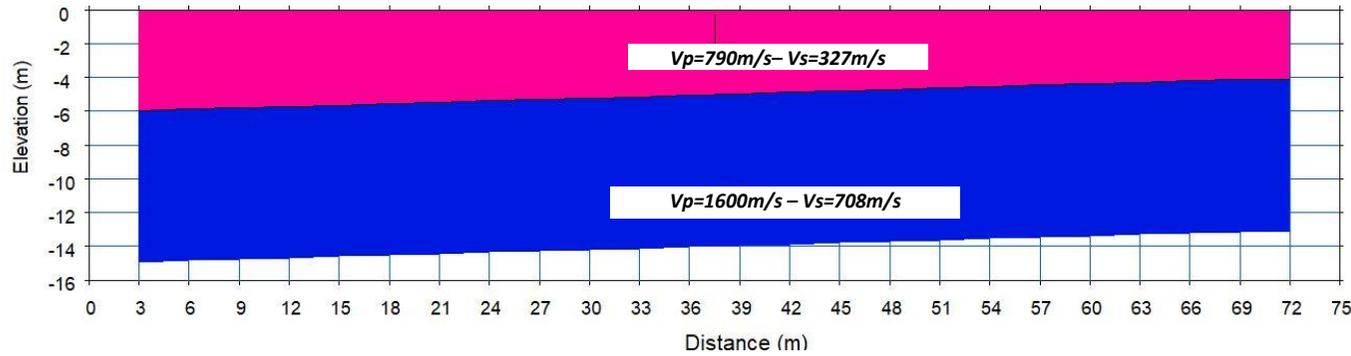
✓ BS04 in onde P ed S (mediante MASW04): si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	720	320	0,0 ÷ 5,80	<i>Deposito ghiaioso sabbioso poco cementato</i>
2	1578	735	5,80 ÷ 14,00	<i>Deposito ghiaioso sabbioso cementato</i>

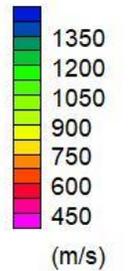
Località "Foggia (Fg)" - BASE SISMICA 01

SEZIONE SISMOSTRAGRAFICA
Onde P ed S

SSW
G1



NNE
G24



LEGENDA



Deposito argilloso poco consistente

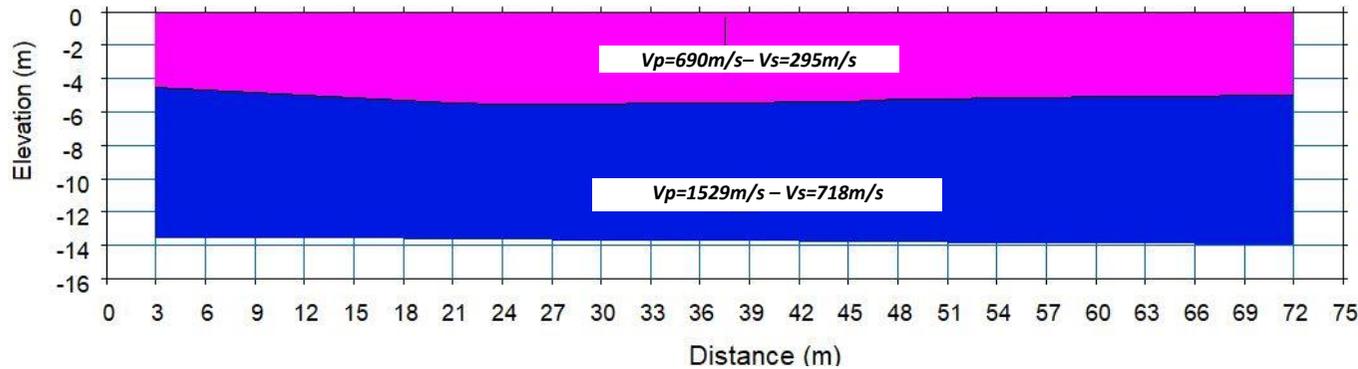


Deposito ghiaioso sabbioso mediamente cementato

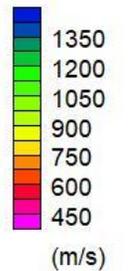
Località "Troia (Fg)" - BASE SISMICA 02

SEZIONE SISMOSTRAGRAFICA
Onde P ed S

NW
G1



SE
G24



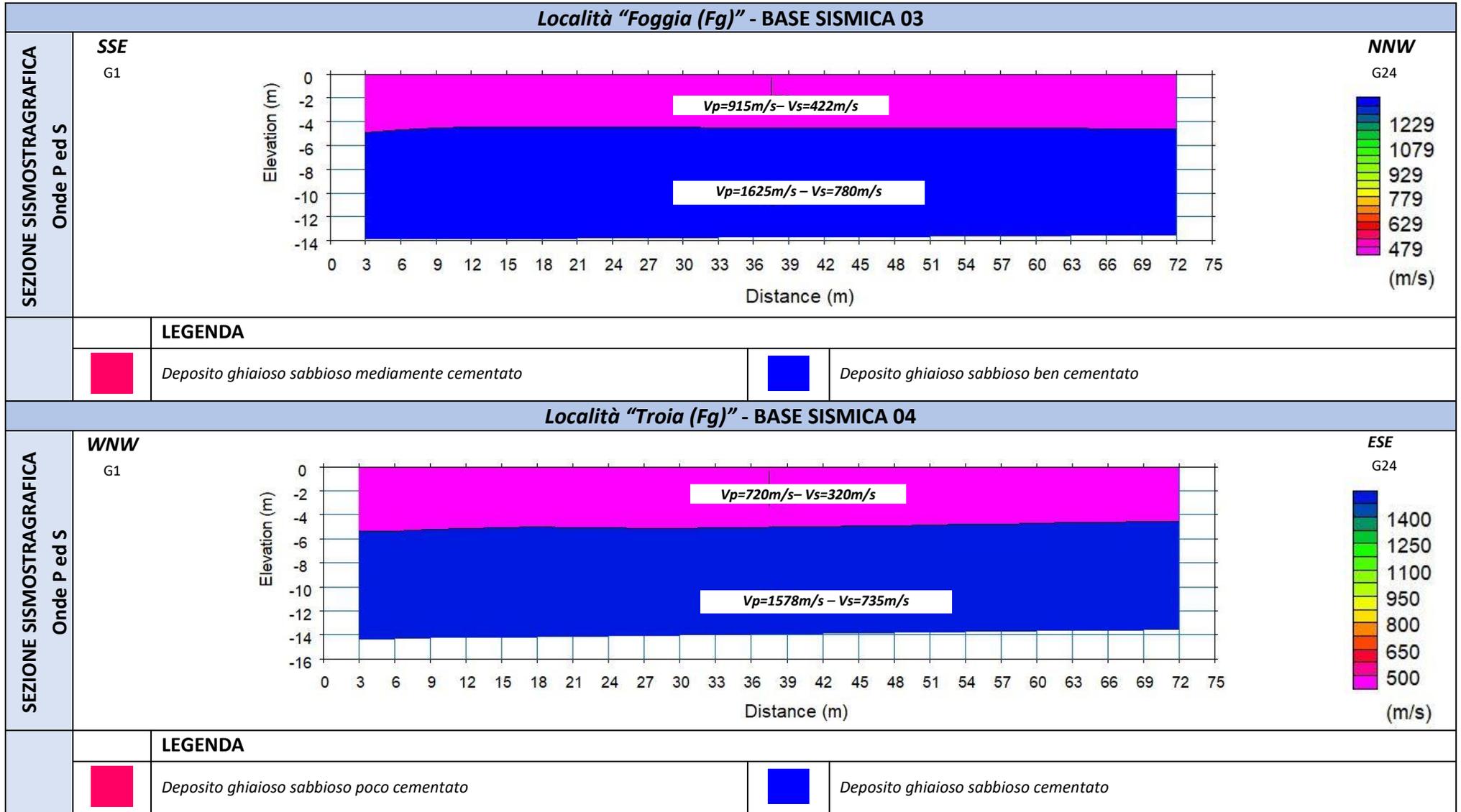
LEGENDA



Deposito ghiaioso sabbioso poco cementato



Deposito ghiaioso sabbioso cementato



5 PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL V_s,eq

5.1 MASW – RE.MI. – Descrizione del metodo e della strumentazione

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio S (V_s,eq) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018, sono stati eseguiti n. 3 profili MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e n. 1 profilo RE.MI. ubicato in corrispondenza della base sismica come mostrato nella planimetria allegata (**Allegato 01A÷01D**).

La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando i tempi di arrivo delle onde sismiche di superficie generate artificialmente ed elaborando il segnale con un opportuno software.

A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "VS".

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a 4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati.

5.2 MASW – RE.MI. – Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- Predisposizione degli stendimenti, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati di 3.0 m in linea retta, di lunghezza pari a 69m, per i MASSW si effettuano 2 scoppi a 6m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono in modo tale da avere due profili di velocità ubicati ad 1/3 e 2/3 dello stendimento;
- osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione per gli stendimenti MASW;
- esecuzione di 20 registrazioni della durata di 30 sec del rumore ambientale, per lo stendimento RE.MI.;
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'X610/S.

5.3 MASW – RE.MI. – Elaborazione dei dati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo. È importante rilevare che il profilo di ciascuno stendimento è stato ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quelli ottenibili da un rilievo puntuale.

I dati sono stati interpolati ed elaborati con i Software SWAN prodotto dalla Geostudi Astier.

5.4 MASW RE.MI. – Rappresentazione dei risultati

Di seguito sono rappresentati, in tre grafici, le elaborazioni dei dati acquisiti con il metodo MASW e il sismogramma medio di tutte le interazioni per ciascun stendimento svolto.

Il primo grafico, a partire dallo spettro F-K e/o P-F, mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo. Nel grafico successivo, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati. Il grafico successivo riporta il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S.

5.5 MASW – RE.MI. – Interpretazione dei risultati

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione, NTC 2018, è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il $V_{s,eq}$, in sostituzione del V_{s30} , ottenuto attraverso la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

N = Numero di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita

da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio si riferisce alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.

È opportuno precisare che, in generale, mediante il metodo MASW1D, si ricavano i valori di velocità delle onde S lungo la verticale rispettivamente a 1/3 e a 2/3 della lunghezza dello stendimento essendo stati eseguiti due scoppi rispettivamente ad una distanza di 7 metri dal primo e dall'ultimo geofono; in questo caso i modelli sismostratigrafici ottenuti riportano una profondità dei sismostrati poco superiore ai 30m avendo effettuato il calcolo a partire dal piano campagna.

Basandosi sulle indagini sismiche svolte, è stata individuata la categoria del suolo di fondazione del sottosuolo in esame. L'indagine MASW e l'indagine RE.MI. che ha raggiunto una profondità investigativa superiore ai 30m, hanno individuato per tutti e quattro gli stendimenti sismici un valore di $V_{s,eq}$ compreso nell'intervallo tra 360m/s e 800m/s, e dunque si stima per tutta l'area in esame una categoria di suolo di tipo "B".

Tabella 3.2. II - Categoria di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Descrizione
A	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.
B	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.
C	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.
D	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.
E	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.

ELABORAZIONI MASW 01 – SCOPPIO 1

SISMOGRAMMA MEDIO

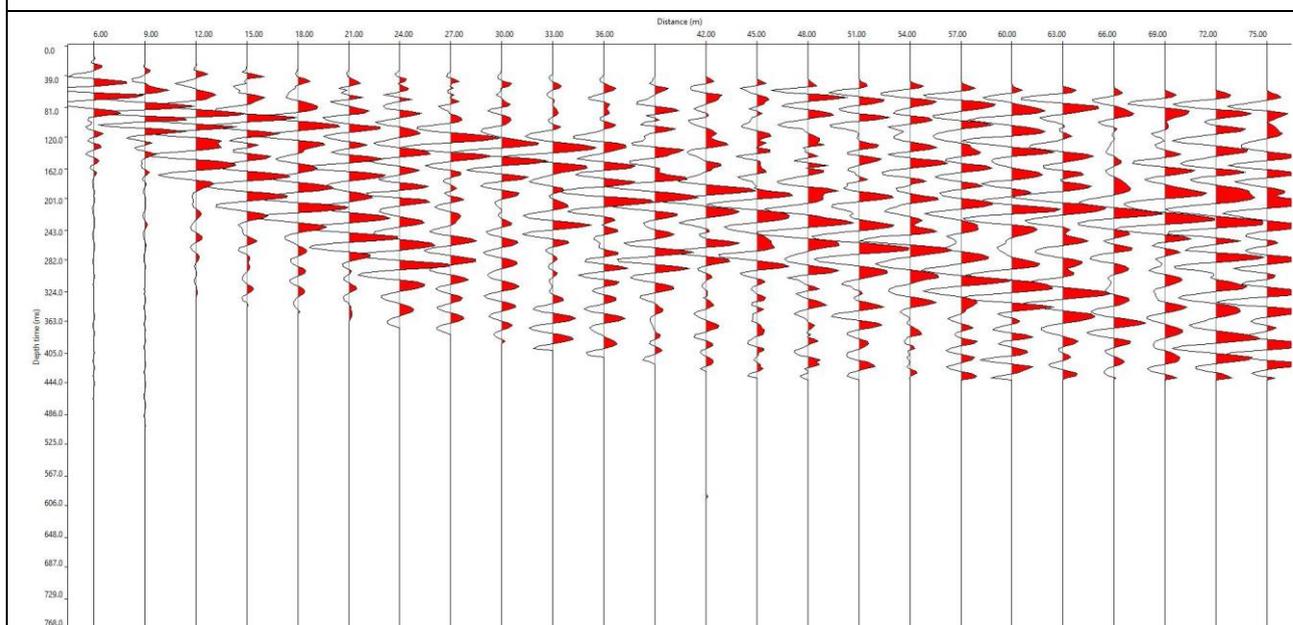
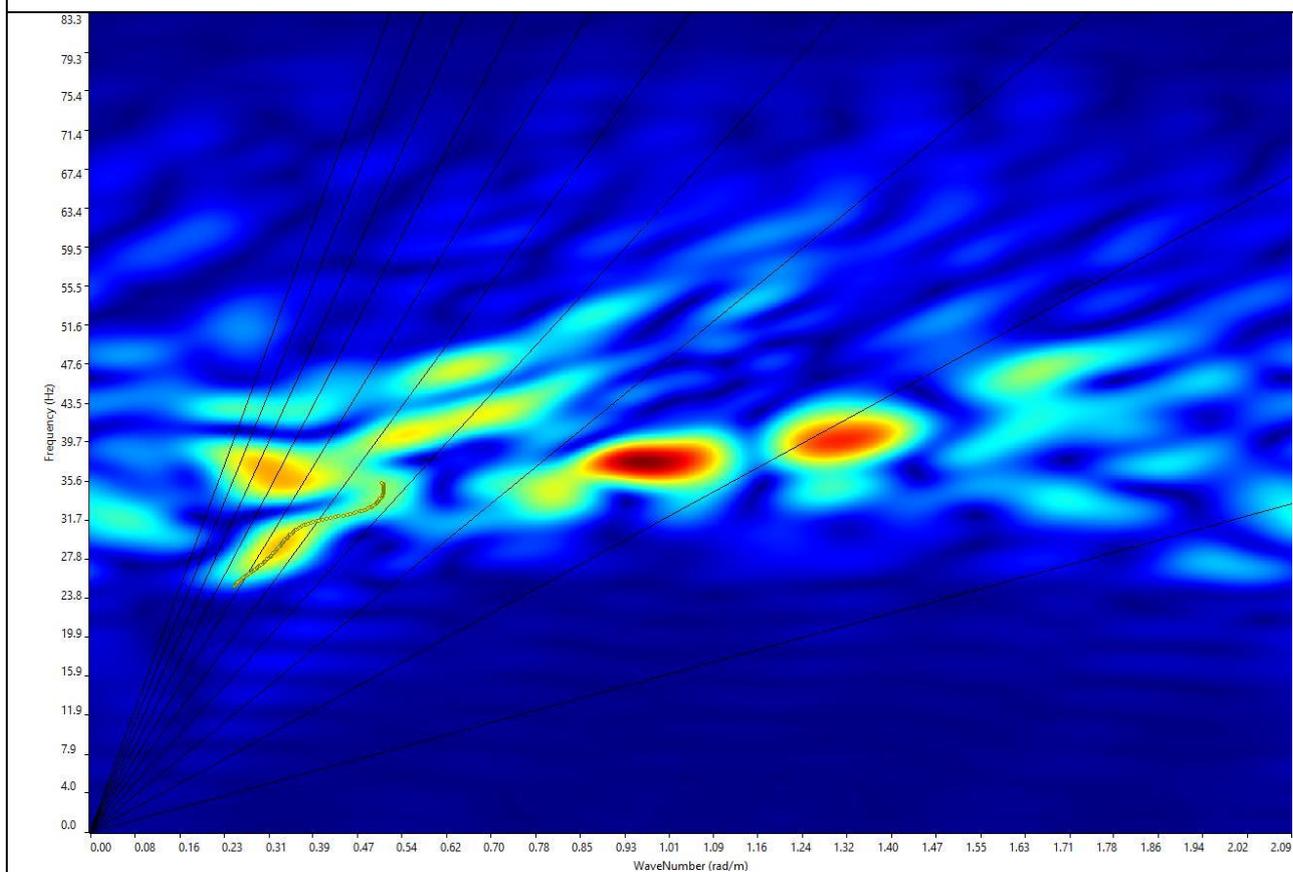
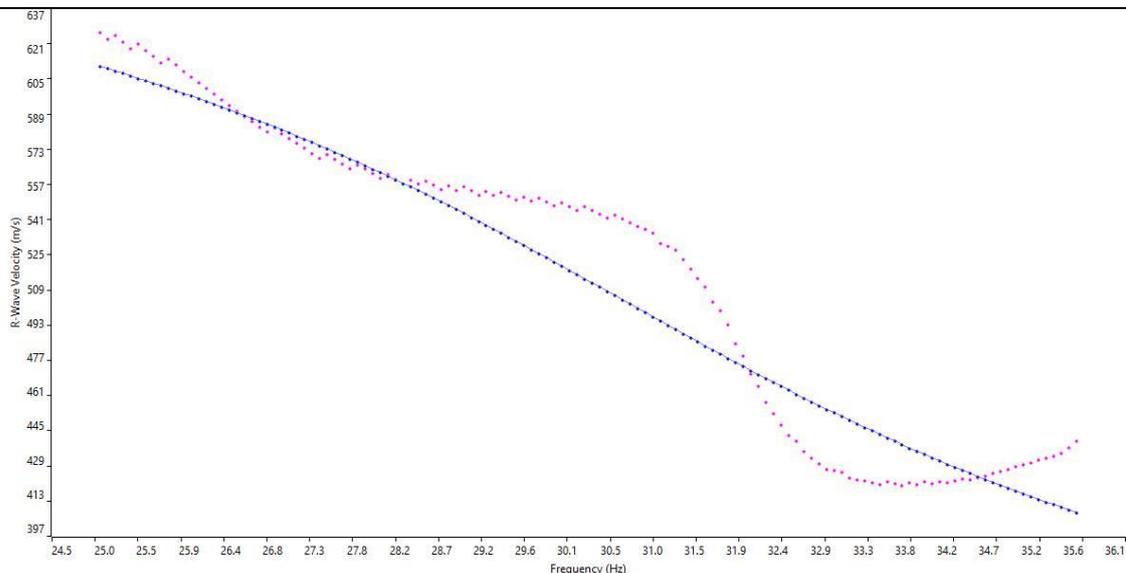


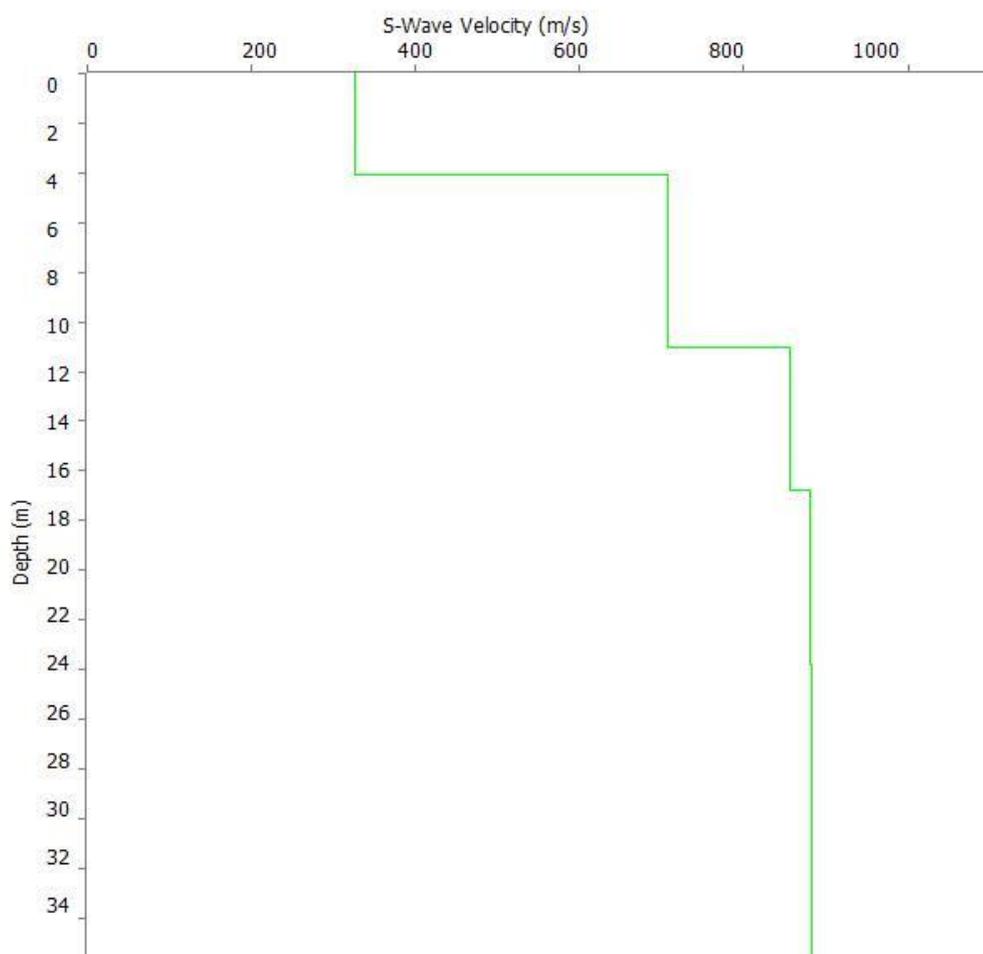
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 494$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.10	0.00 <input type="checkbox"/>	327
Layer 2	<input type="checkbox"/>	6.90	4.10 <input type="checkbox"/>	708
Layer 3	<input type="checkbox"/>	5.80	11.00 <input type="checkbox"/>	857
Layer 4	<input type="checkbox"/>	7.00	16.80 <input type="checkbox"/>	880
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	23.80 <input type="checkbox"/>	882

ELABORAZIONI MASW01 – SCOPPIO 2

SISMOGRAMMA MEDIO

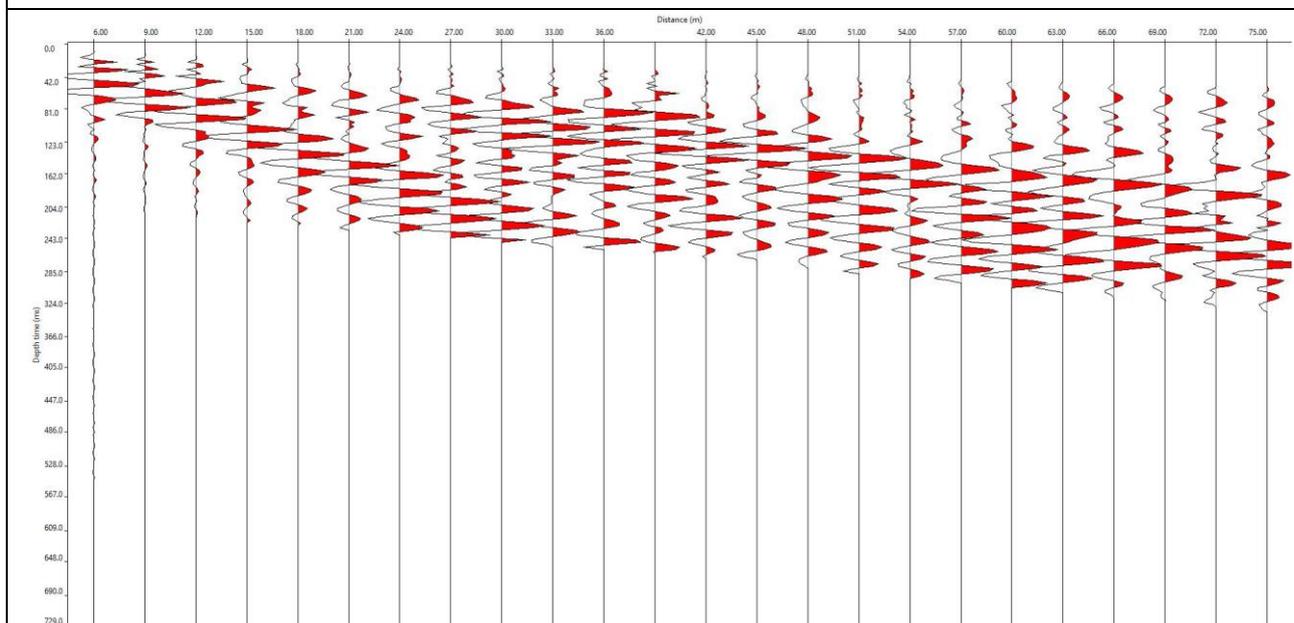
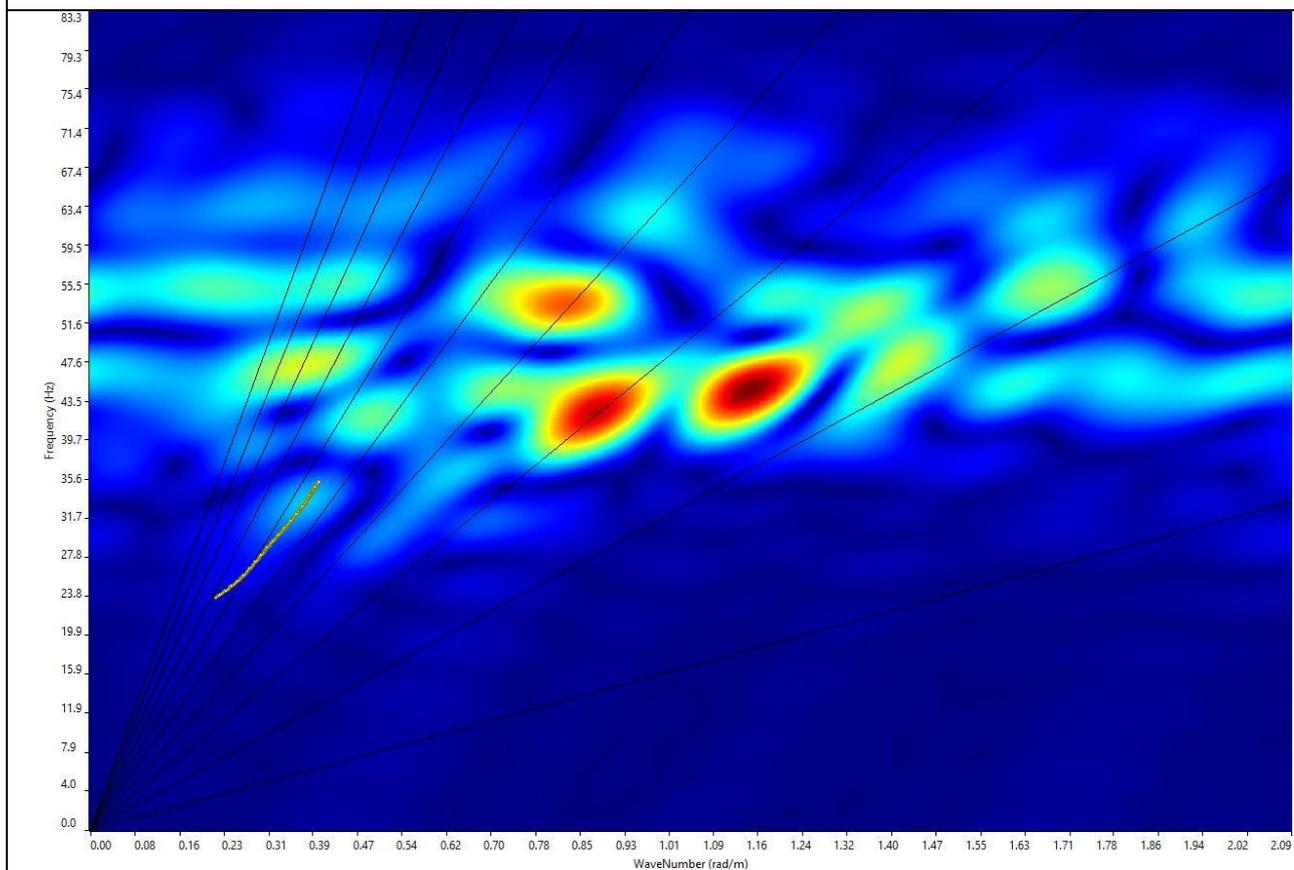
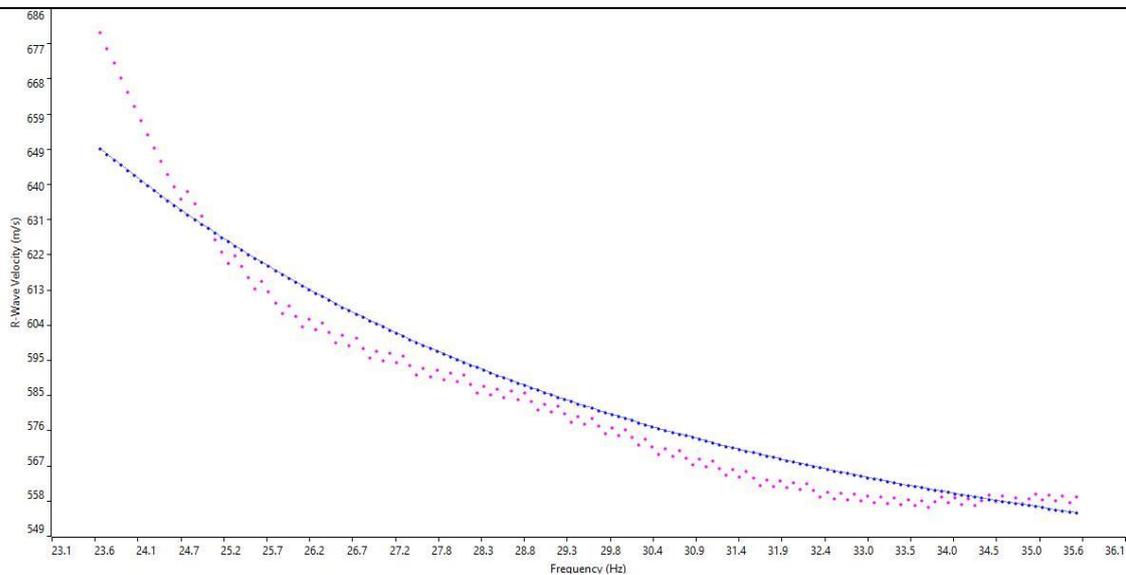


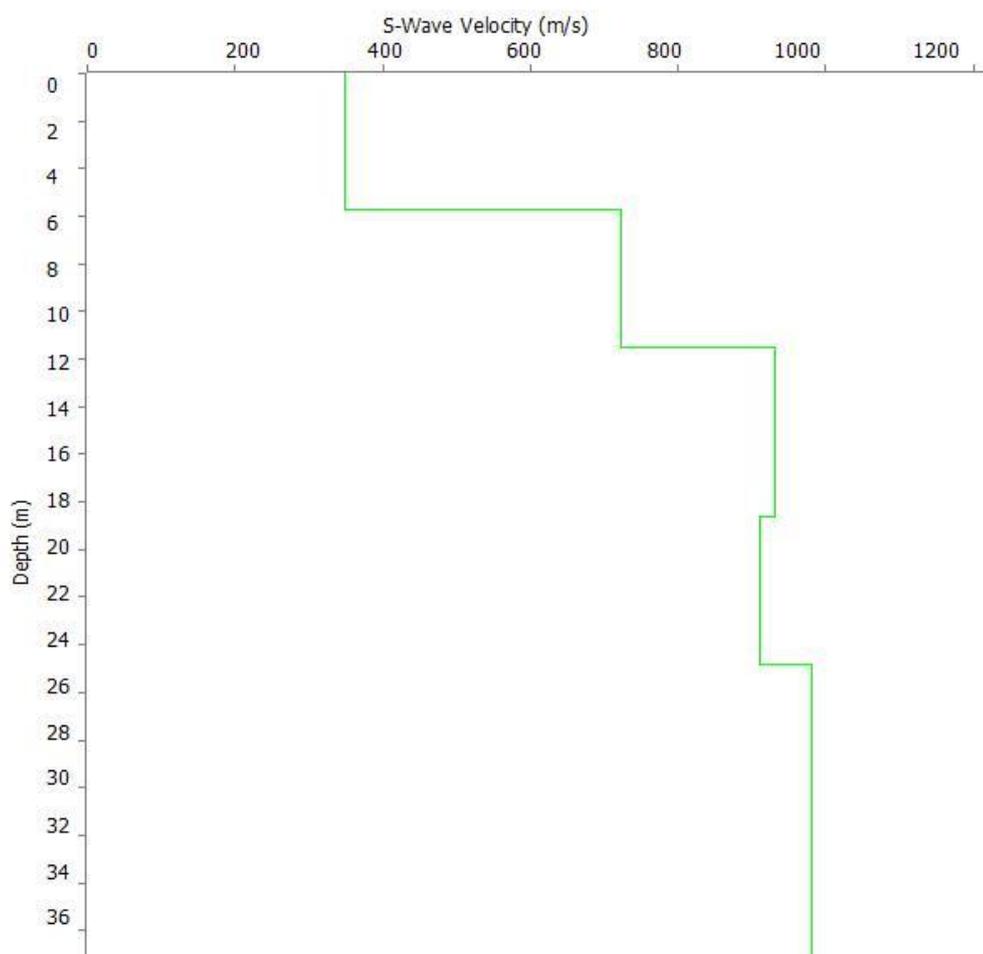
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 471$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness		Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	5.70		0.00	<input type="checkbox"/>	348
Layer 2	<input type="checkbox"/>	5.80		5.70	<input type="checkbox"/>	723
Layer 3	<input type="checkbox"/>	7.10		11.50	<input type="checkbox"/>	930
Layer 4	<input type="checkbox"/>	6.23		18.60	<input type="checkbox"/>	910
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF		24.83	<input type="checkbox"/>	980

ELABORAZIONI RE.MI. 01

SISMOGRAMMA MEDIO

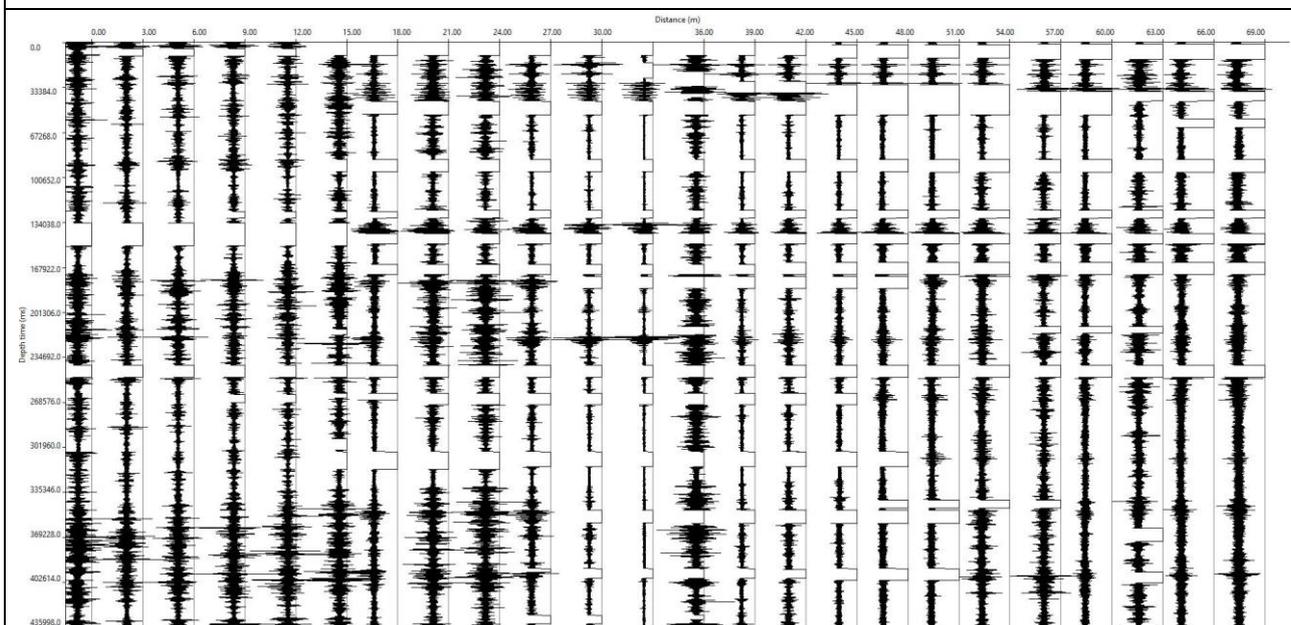
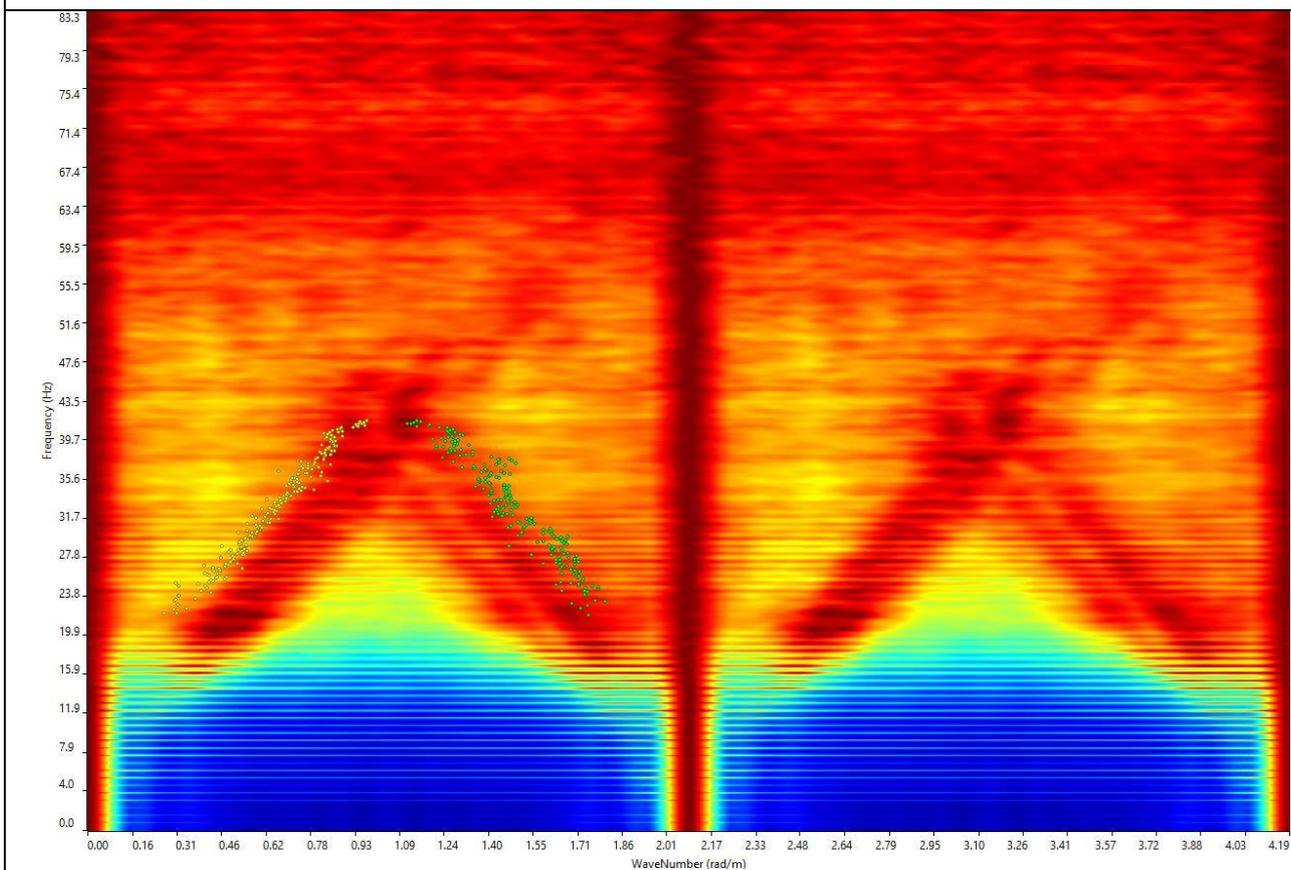
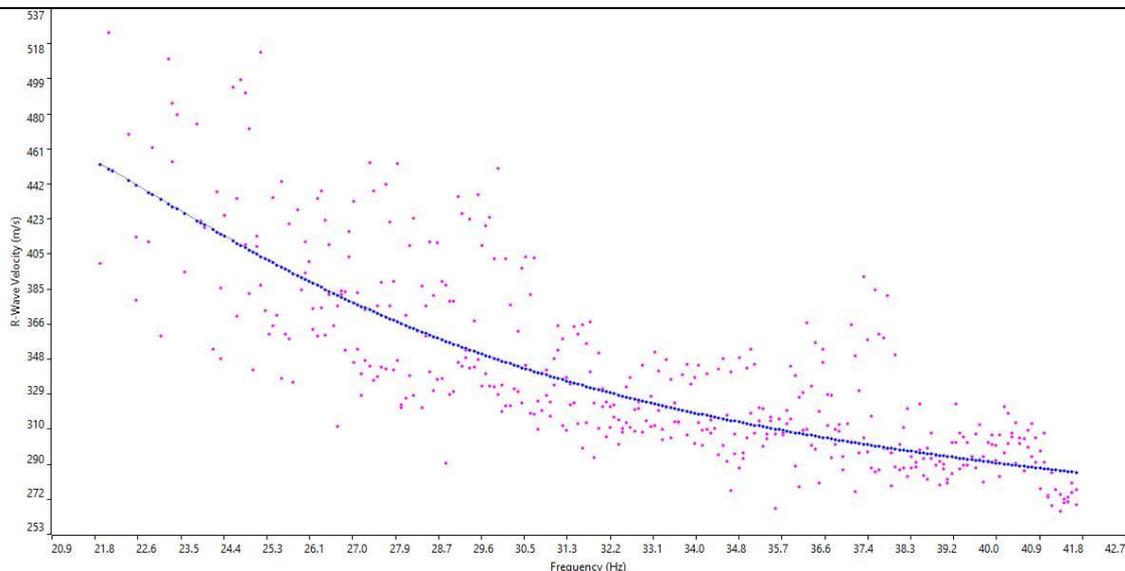


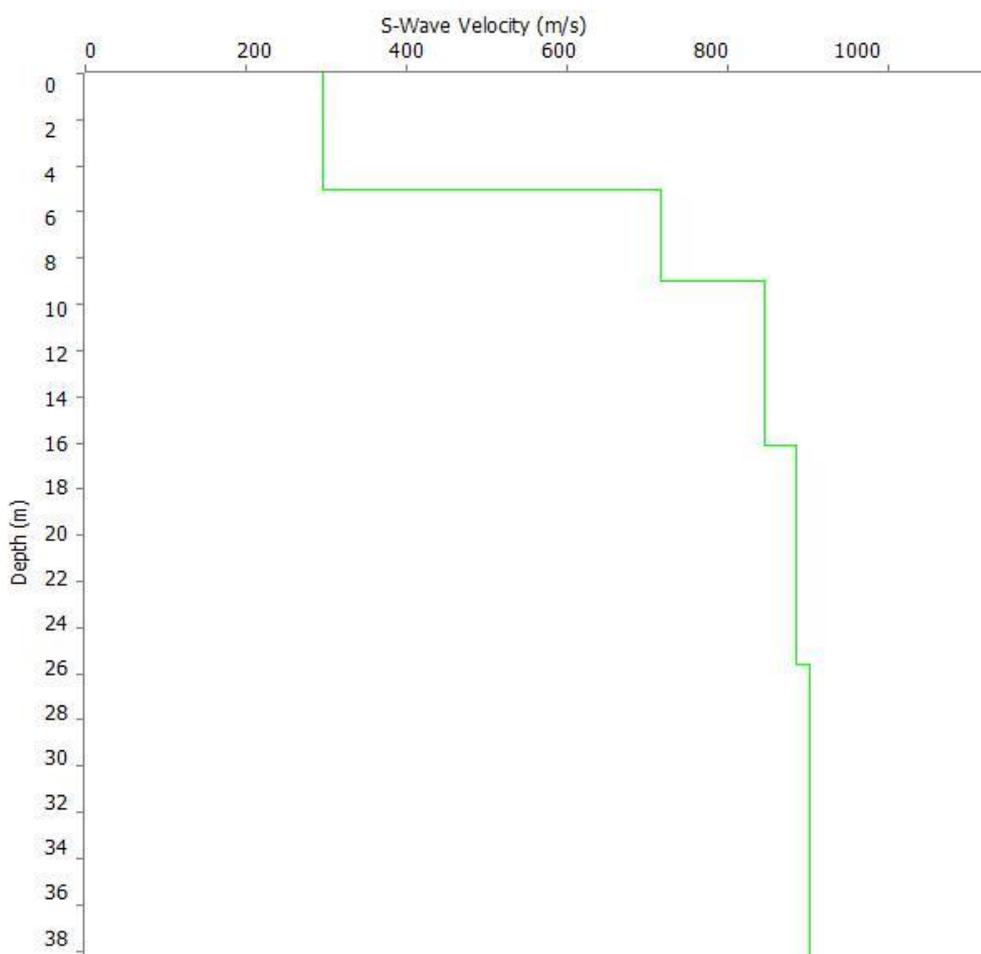
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 400$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	5.00	0.00 <input type="checkbox"/>	295
Layer 2	<input type="checkbox"/>	4.00	5.00 <input type="checkbox"/>	718
Layer 3	<input type="checkbox"/>	7.07	9.00 <input type="checkbox"/>	846
Layer 4	<input type="checkbox"/>	9.52	16.07 <input type="checkbox"/>	887
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	25.59 <input type="checkbox"/>	902

ELABORAZIONI MASW 03 – SCOPPIO 1

SISMOGRAMMA MEDIO

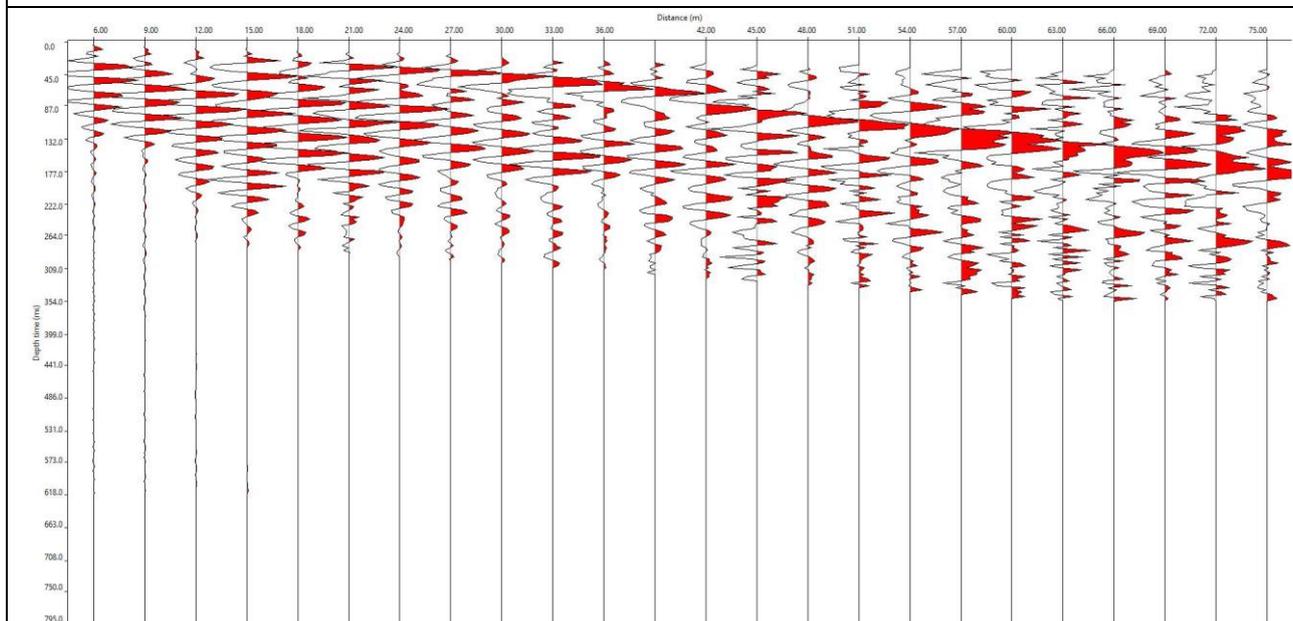
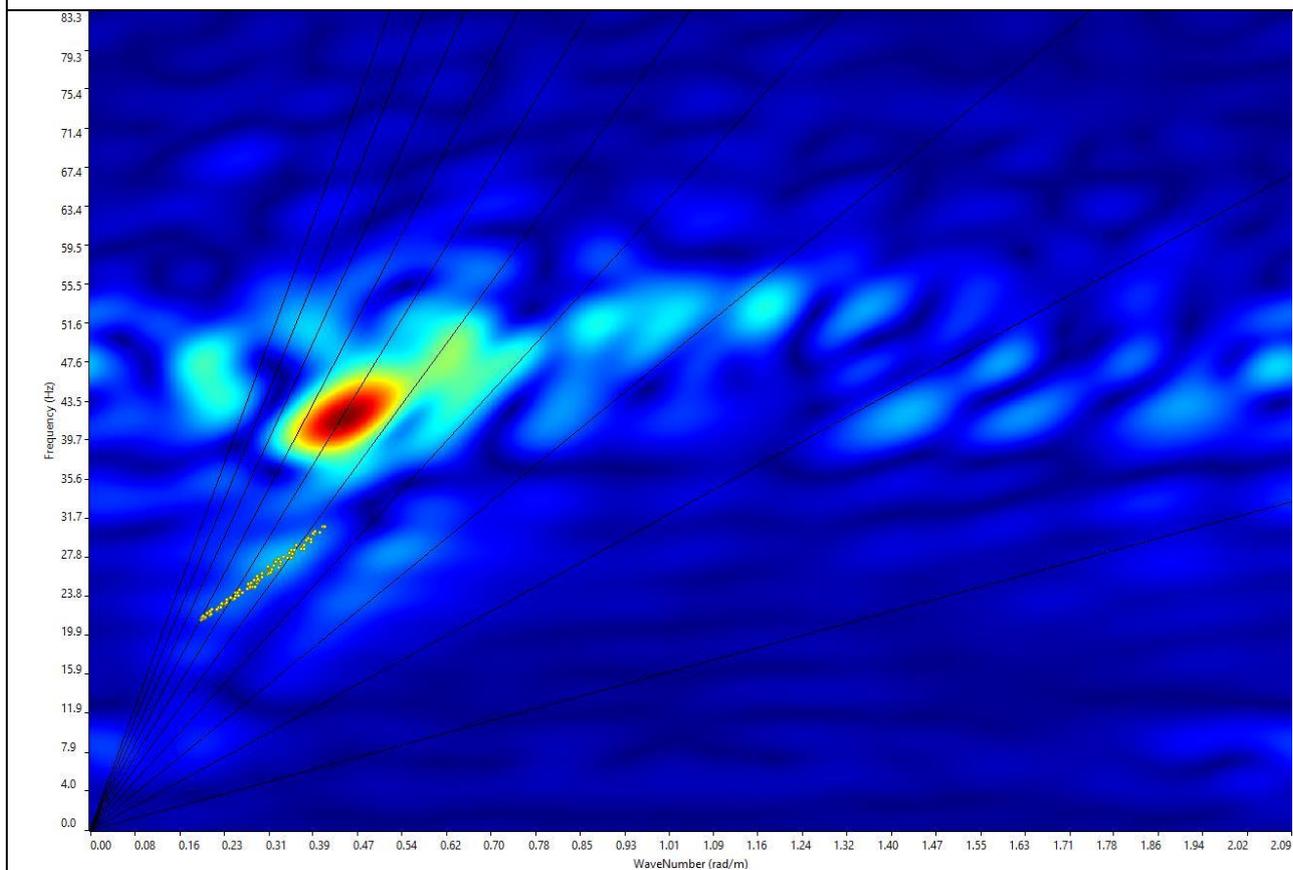
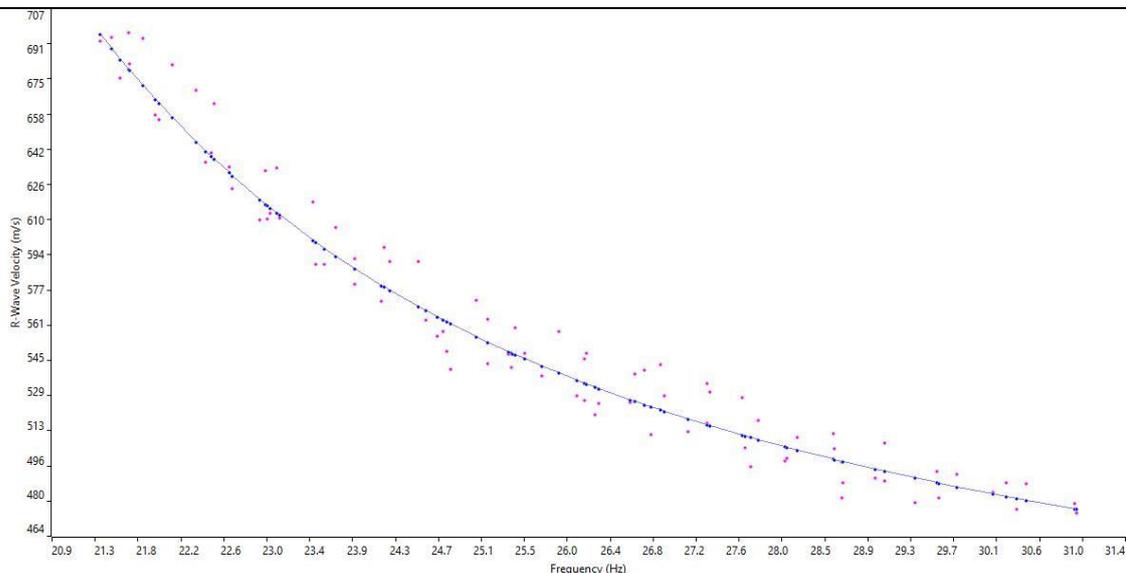


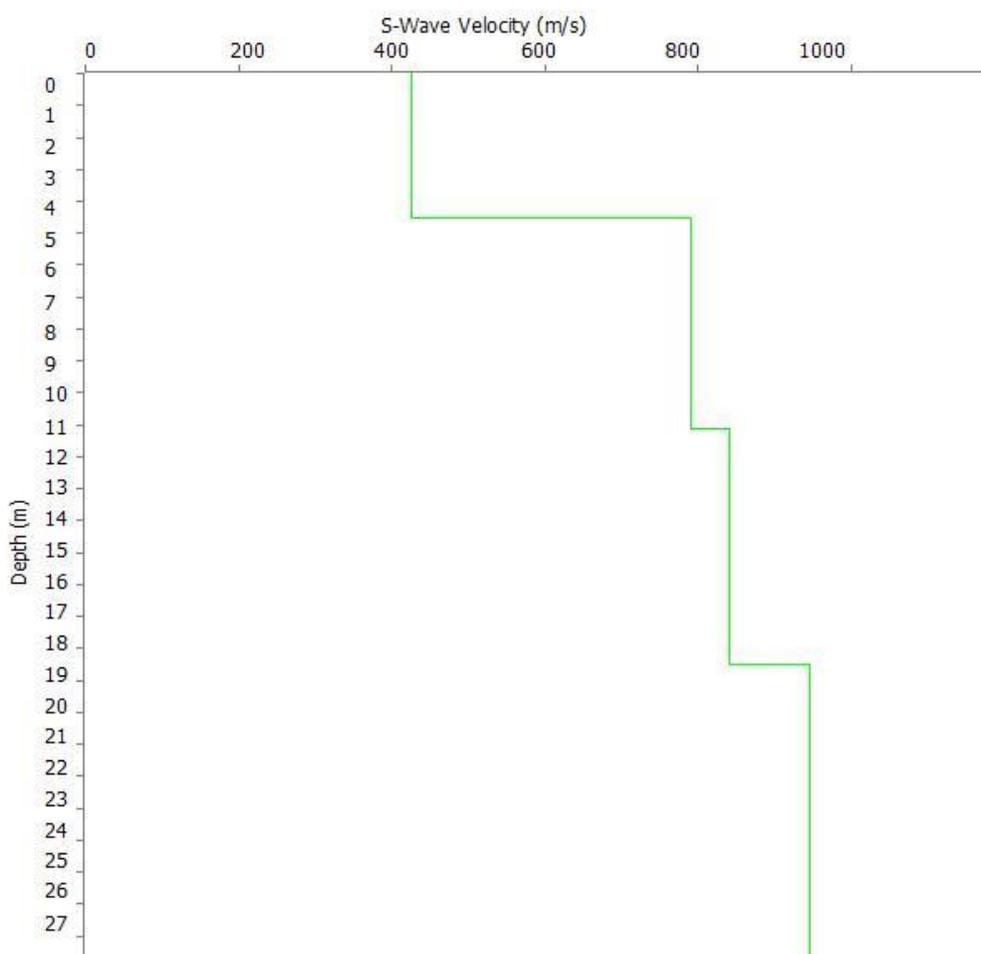
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 587$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.50	0.00	<input type="checkbox"/>	426
Layer 2	<input type="checkbox"/>	6.60	4.50	<input type="checkbox"/>	790
Layer 3	<input type="checkbox"/>	7.40	11.10	<input type="checkbox"/>	842
Layer 4	<input type="checkbox"/>	INF	18.50	<input type="checkbox"/>	945

ELABORAZIONI MASW 03 – SCOPPIO 2

SISMOGRAMMA MEDIO

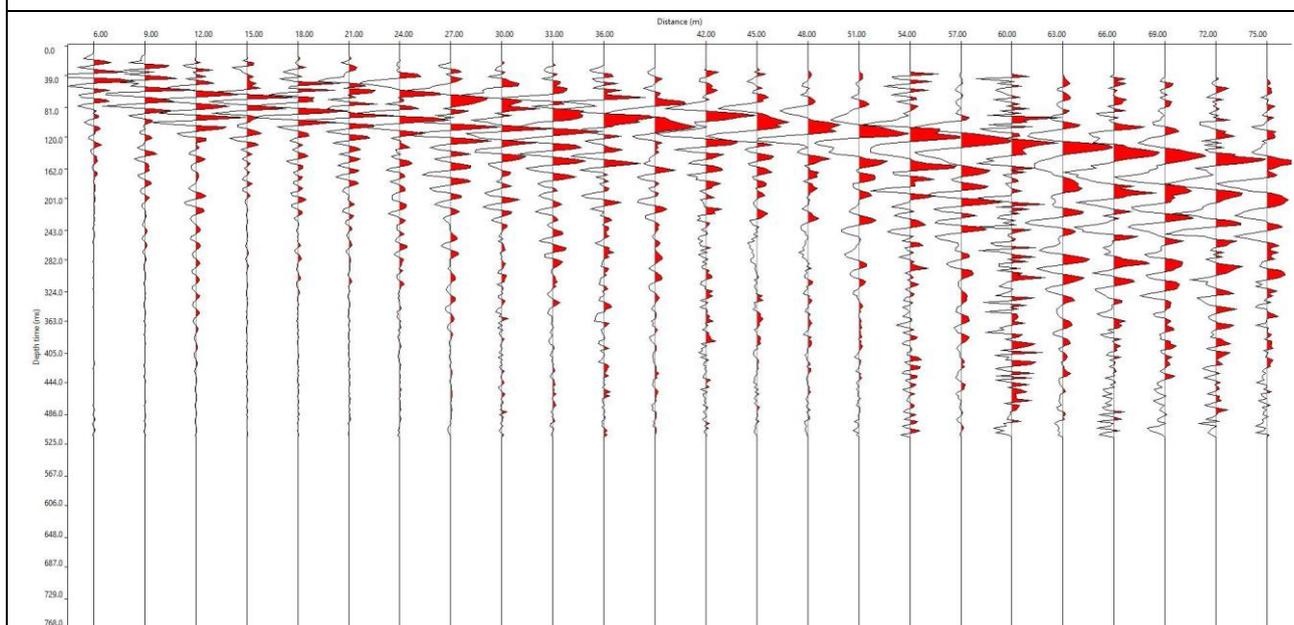
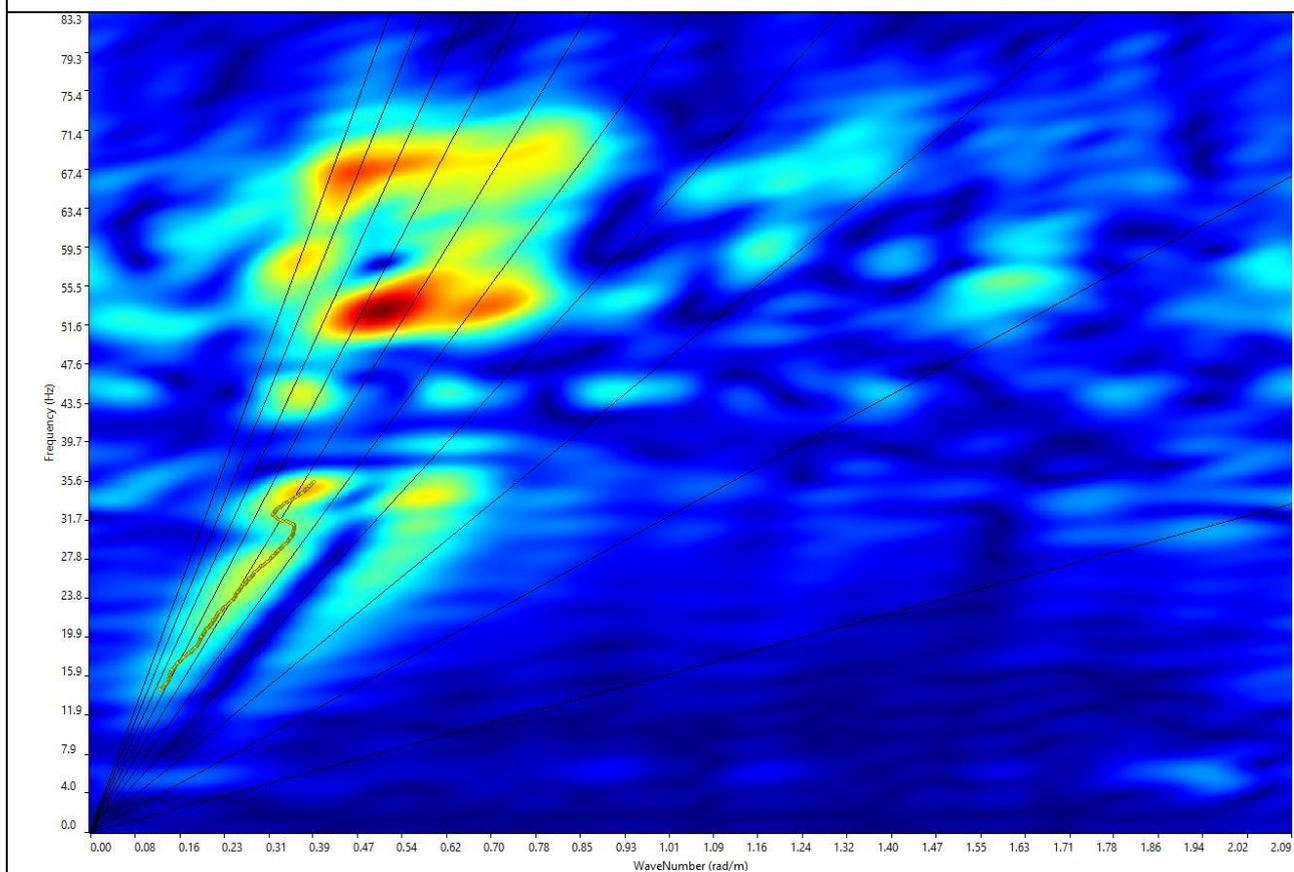
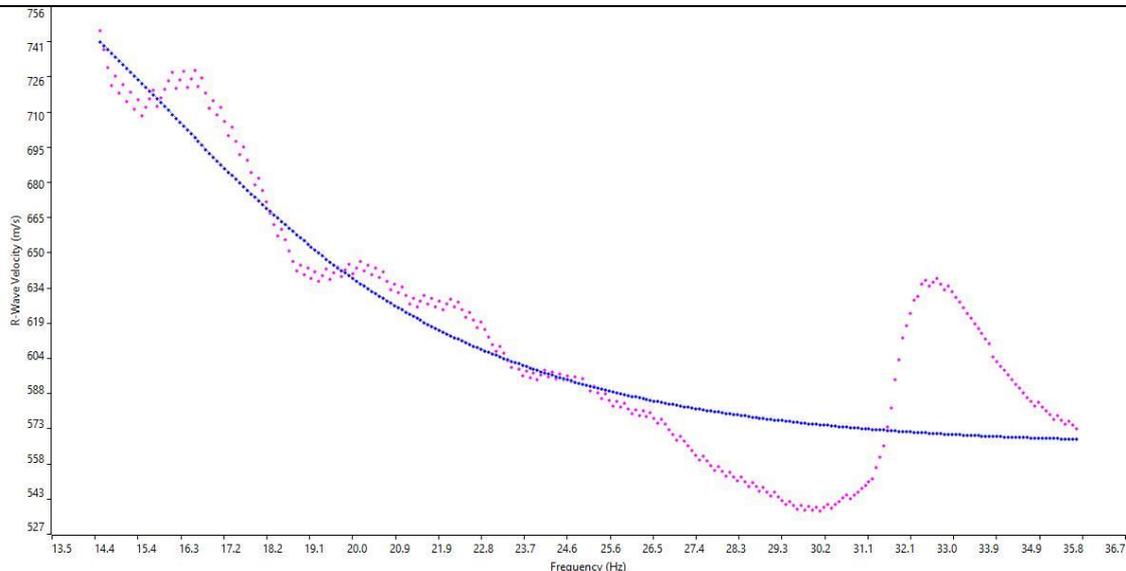


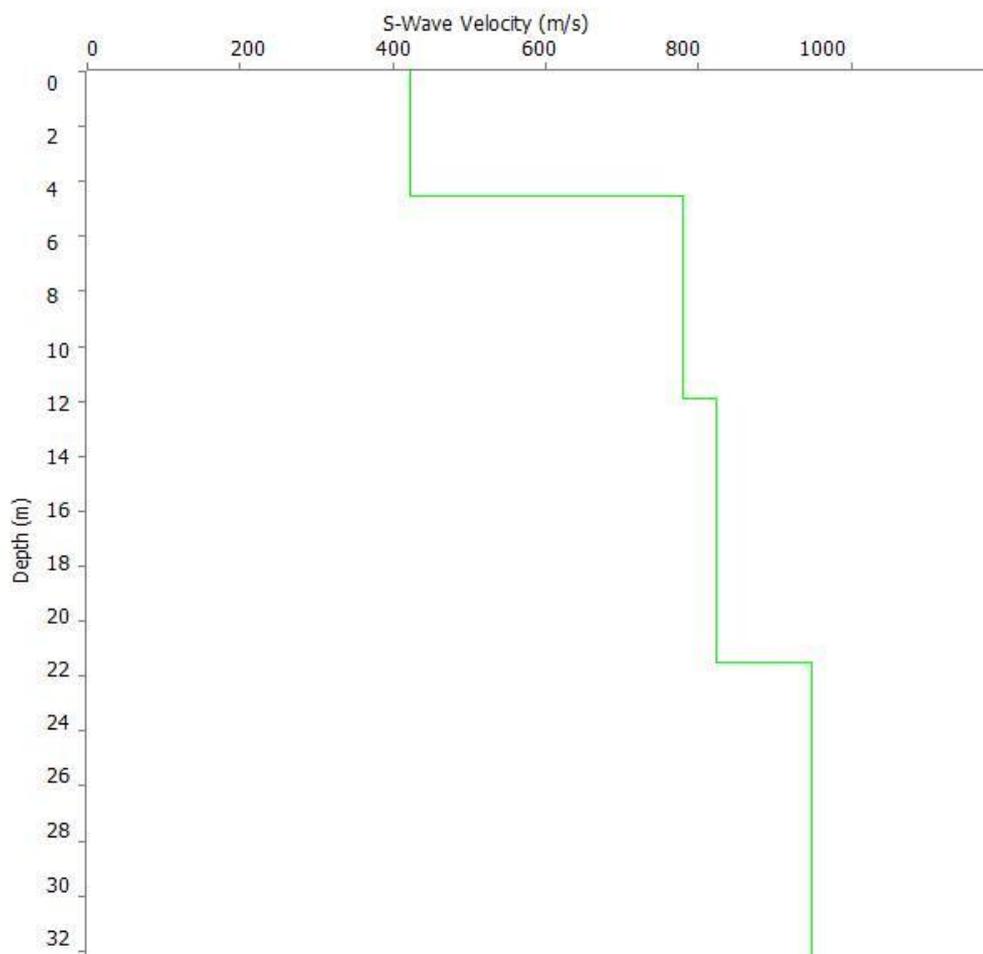
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 591$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.50	0.00 <input type="checkbox"/>	422
Layer 2	<input type="checkbox"/>	7.40	4.50 <input type="checkbox"/>	780
Layer 3	<input type="checkbox"/>	9.60	11.90 <input type="checkbox"/>	823
Layer 4	<input type="checkbox"/>	INF	21.50 <input type="checkbox"/>	947

ELABORAZIONI MASW 04 – SCOPPIO 1

SISMOGRAMMA MEDIO

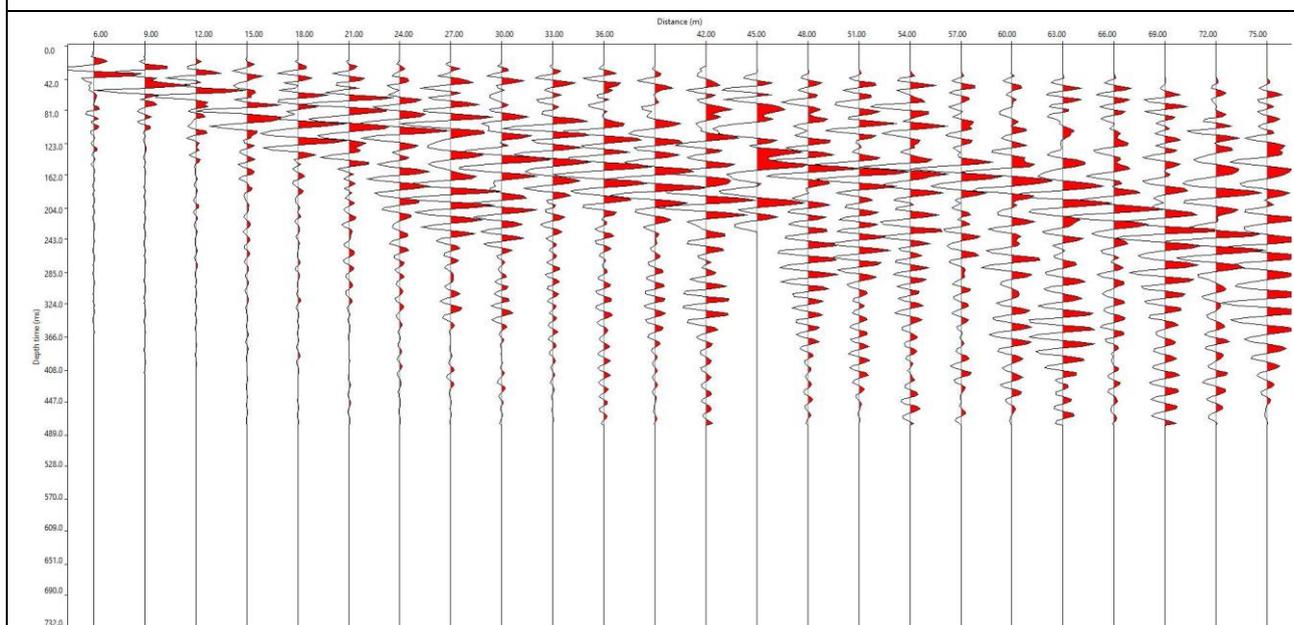
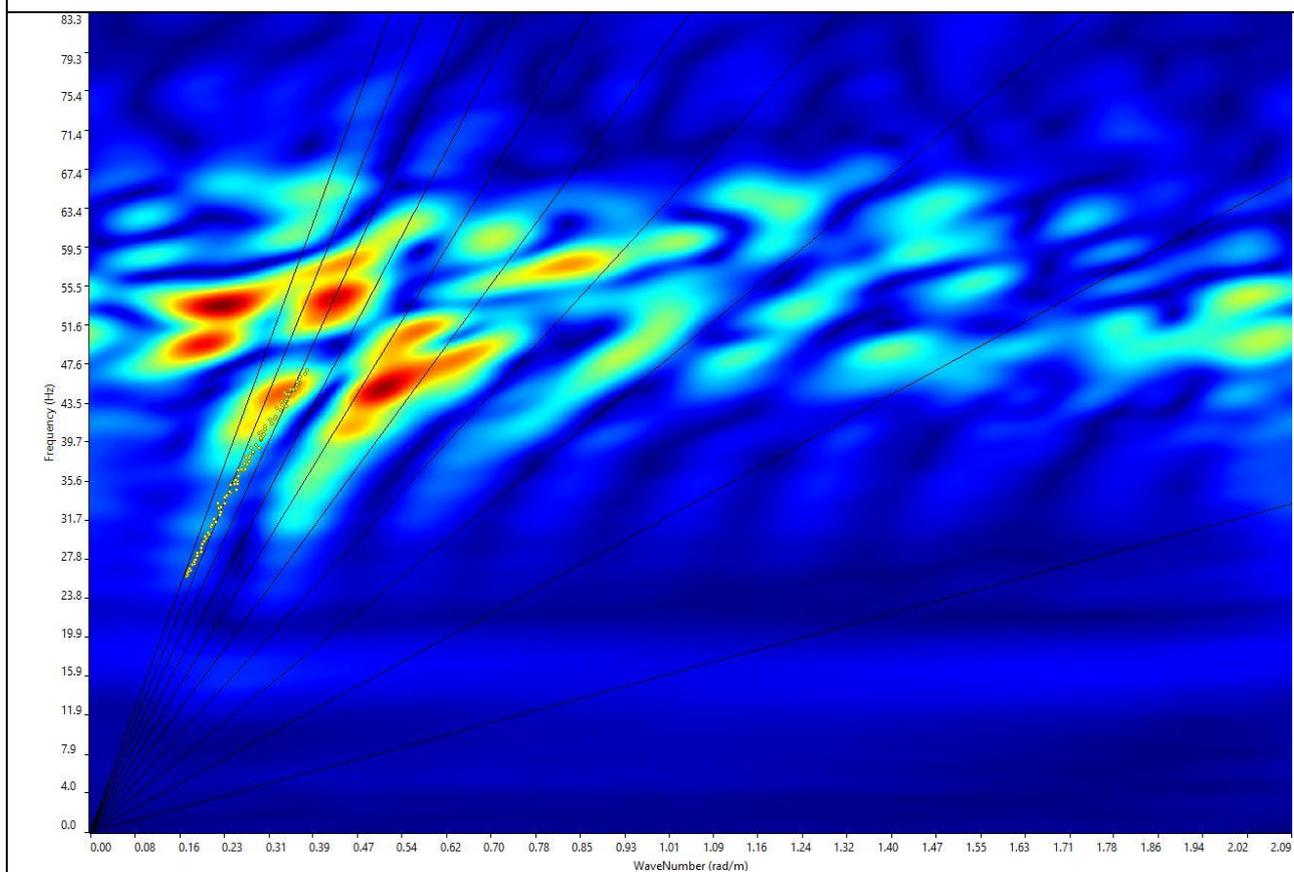
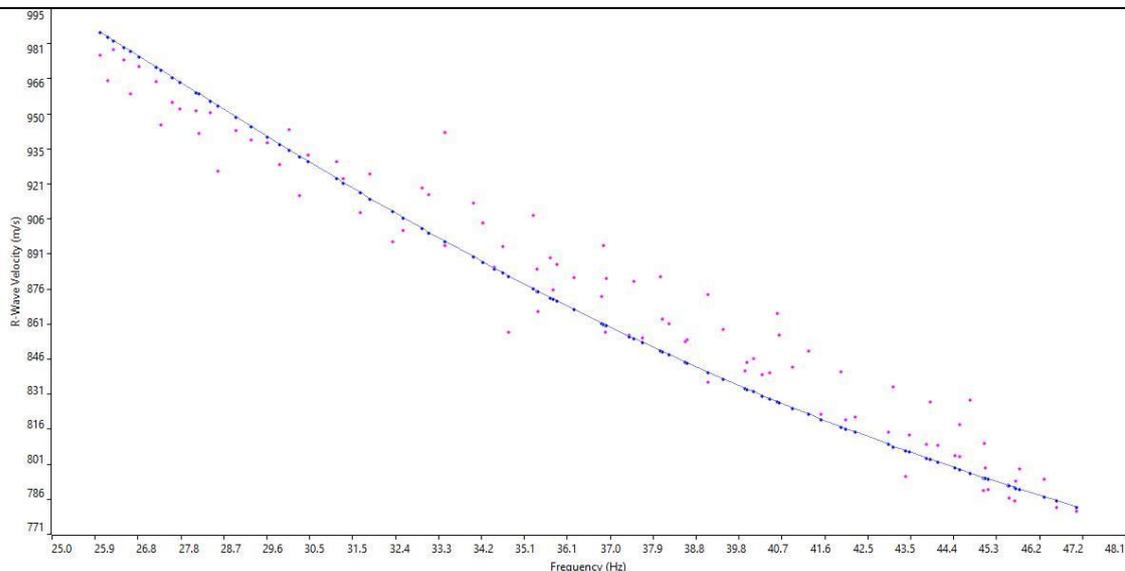


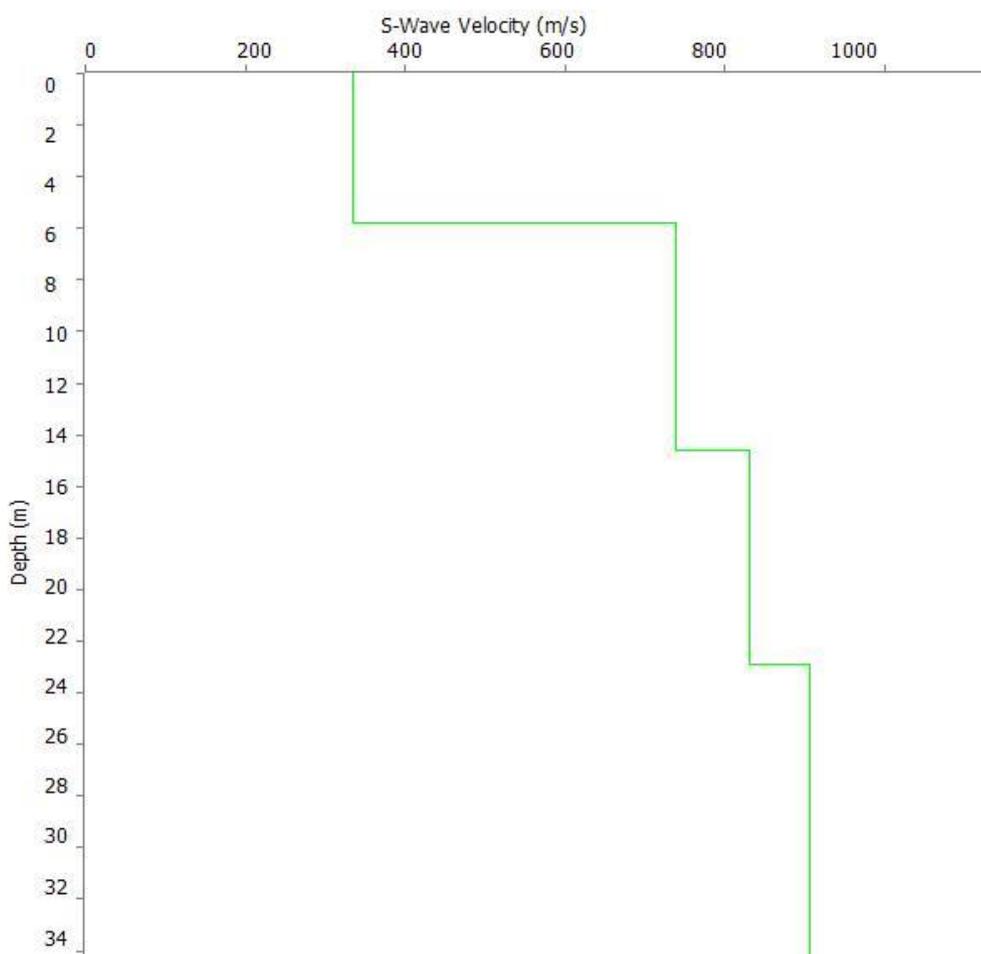
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 501$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	5.80	0.00 <input type="checkbox"/>	336
Layer 2	<input type="checkbox"/>	8.80	5.80 <input type="checkbox"/>	740
Layer 3	<input type="checkbox"/>	8.30	14.60 <input type="checkbox"/>	832
Layer 4	<input type="checkbox"/>	INF	22.90 <input type="checkbox"/>	906

ELABORAZIONI MASW 04 – SCOPPIO 2

SISMOGRAMMA MEDIO

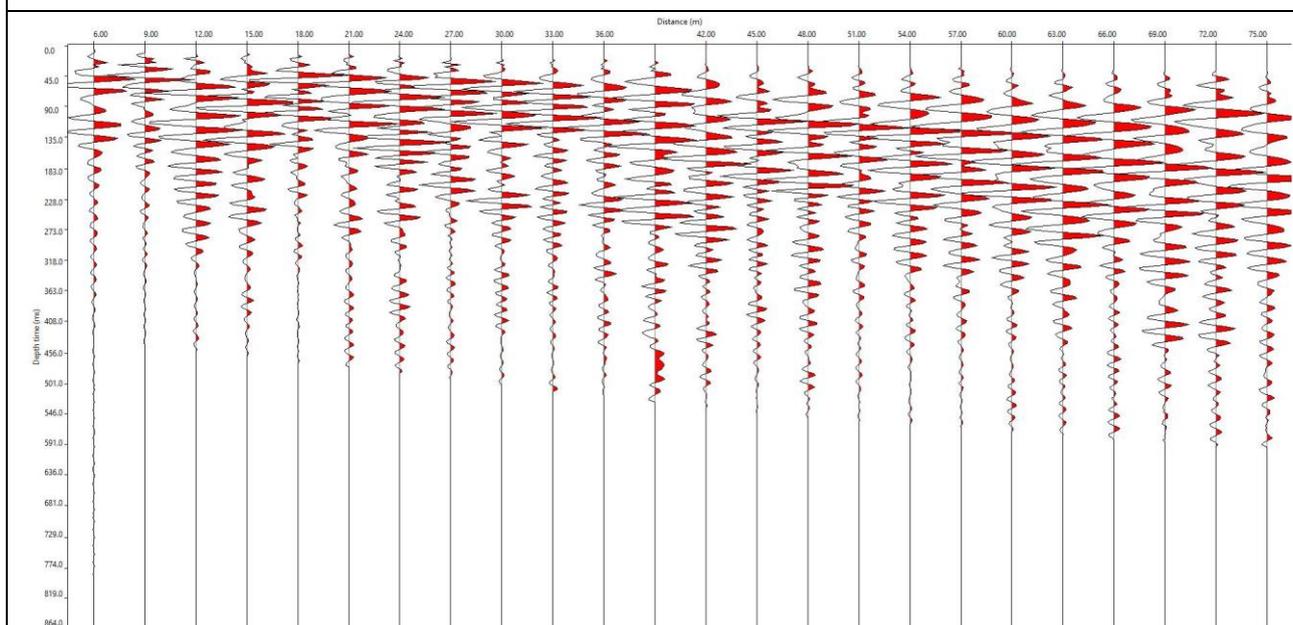
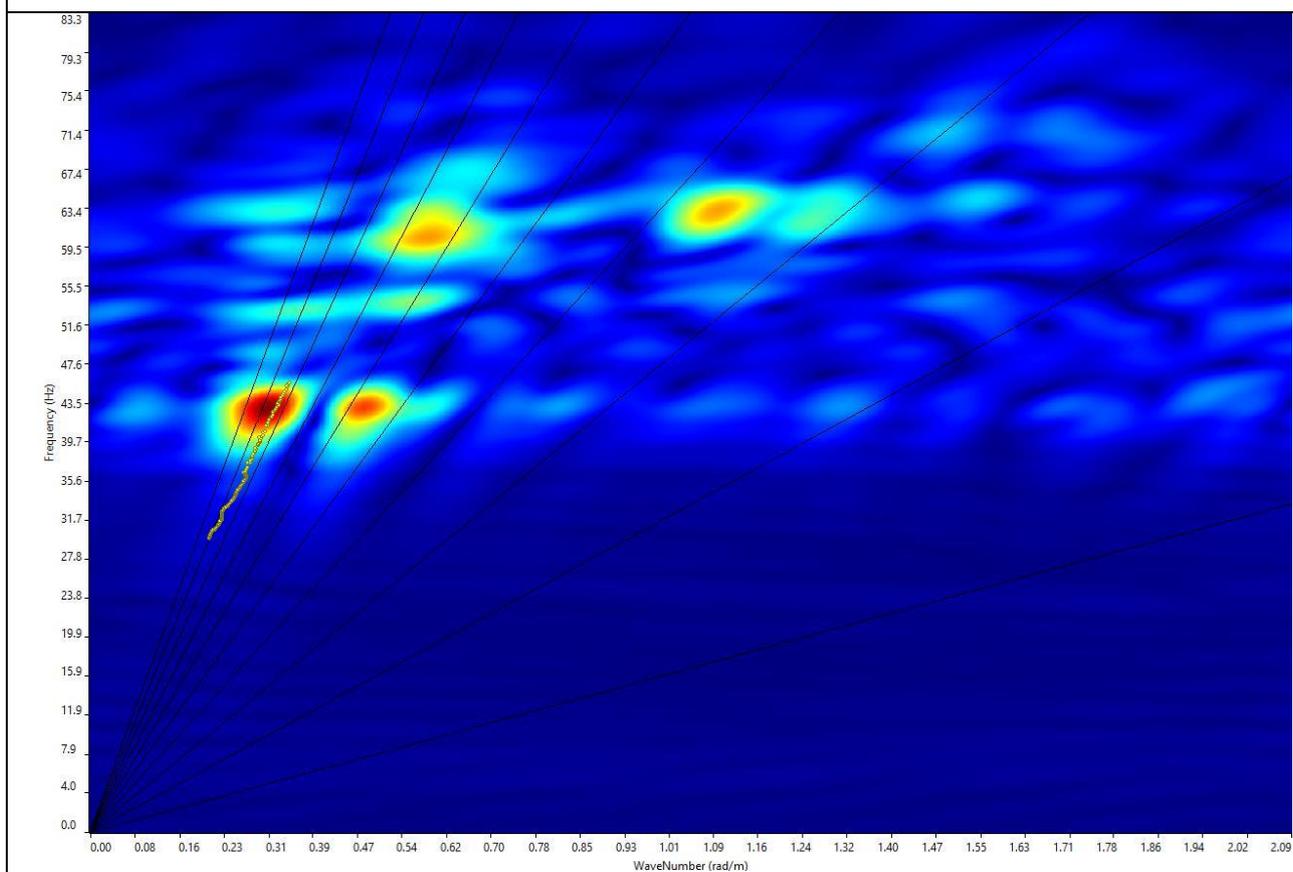
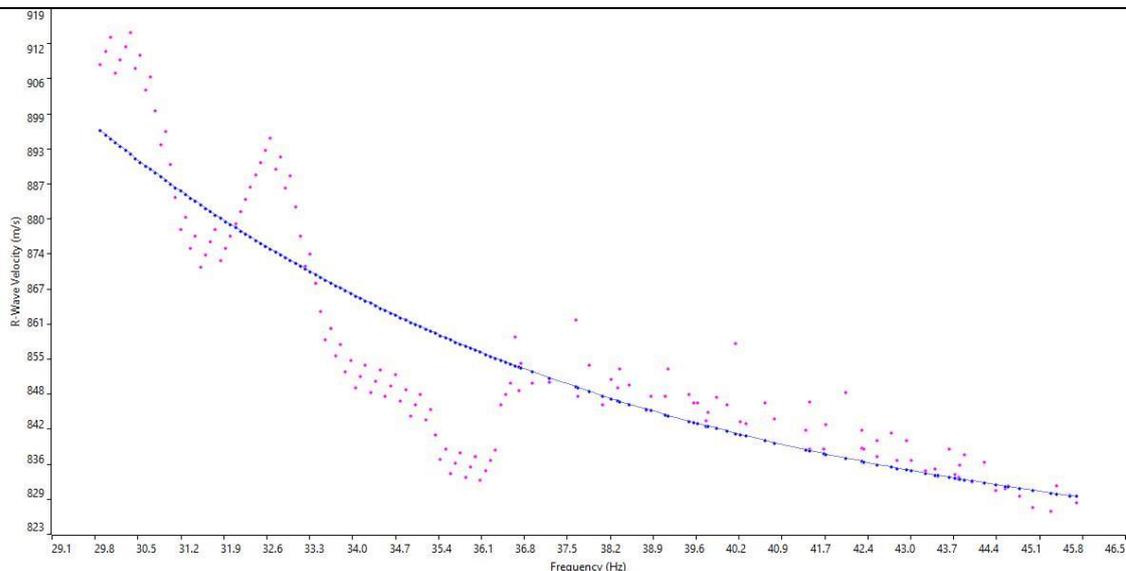


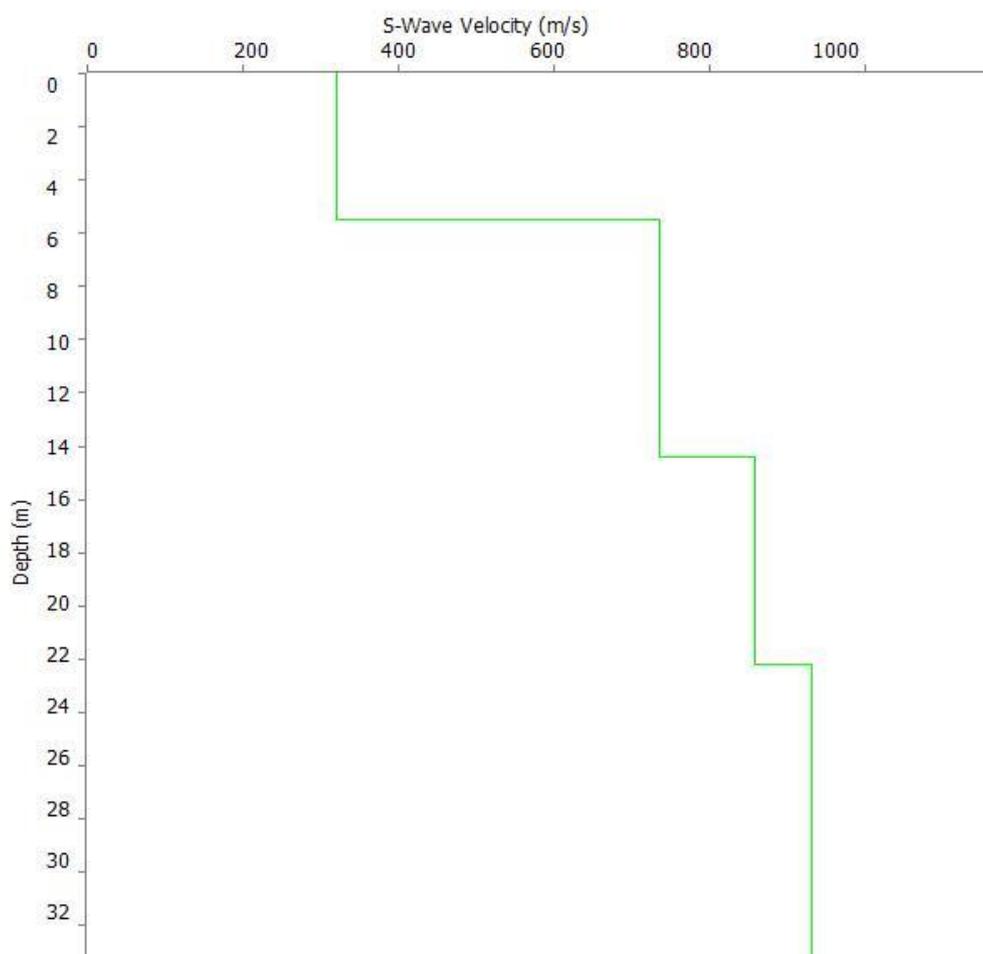
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" – $V_{s,eq} = 492$ m/s calcolato a partire dal p.c.

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	5.50	0.00	<input type="checkbox"/>	320
Layer 2	<input type="checkbox"/>	8.90	5.50	<input type="checkbox"/>	735
Layer 3	<input type="checkbox"/>	7.80	14.40	<input type="checkbox"/>	858
Layer 4	<input type="checkbox"/>	INF	22.20	<input type="checkbox"/>	930

6 STIMA DEI MODULI ELASTICI DINAMICI

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P e dalla metodologia MASW e RE.MI., per gli stendimenti eseguiti, sono stati stimati alcuni tra i principali parametri geotecnici in corrispondenza degli stendimenti sismici.

Assegnando, infatti, la densità in sito, ricavata empiricamente mediante l'equazione di Gardner, che lega la densità alla velocità delle onde longitudinali (V_p), sono stati calcolati il *coefficiente di Poisson* e alcuni moduli elastici dinamici. Le determinazioni dei moduli elastici, eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia. I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (*Rzhevsky et alii, 1971*) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

$$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$$

Inoltre, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno K_s (Kg/cm^3) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s/B*(1 - \nu^2)$$

dove

B = larghezza della fondazione;

E = modulo di elasticità del terreno;

ν = coefficiente di Poisson.

Infine per la classificazione geotecnica dell'ammasso, nell'ambito dello stesso foglio di calcolo, attraverso le letture sismiche, sono state determinate indirettamente, i valori di indice di qualità della roccia (RQD), nel caso degli ammassi rocciosi, la coesione dell'ammasso e l'angolo di attrito dello stesso.

Allo stesso tempo, per l'analisi dei pali sottoposti a forze orizzontali e nella verifica a svergolamento è stato determinato, indirettamente, il coefficiente di reazione orizzontale, K_h . Tale modulo viene determinato dalla formula di Chiarugi Maia secondo la quale è funzione di: modulo edometrico, modulo elastico del palo, diametro del palo, coefficiente di Poisson.

In ultimo per effettuare un'ulteriore verifica sui fattori di deformabilità delle terre, attraverso la relazione di Imai and Yoshimura, del 1977 sono stati determinati i valori di resistenza alla deformabilità del tipo SPT attraverso i valori delle velocità sismiche di taglio.

Si precisa che ai fini della restituzione dei moduli elastici dinamici sono stati presi in considerazione i valori delle onde sismiche di taglio più bassi riscontrati tra i due scoppi e per ciascun profilo, a vantaggio della sicurezza.

Di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti le basi sismiche eseguite; tali valori si riferiscono all'ammasso pertanto devono essere intesi come valori medi.

<u>Note bibliografiche</u>			
Parametro calcolato	Bibliografia	Unità di misura	Formula
Modulo di Poisson (Bowles 1988)	Simeon Denis Poisson (Fisico e matematico francese)	Grandezza adimensionale	$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{0.5-\sigma}}$
Densità naturale	Equazione di Gardner	gr/cm ³	$\rho = 0,23V_p^{0,25}$
Correlazione empirica tra Vs e SPT	Imai and Yoshimura, 1977	Grandezza adimensionale	$V_s = f/(N_{spt})$
Coefficiente di sottofondo	Vesic, 1961	Kg/cm ³	$k = E/[B(1-n^2)]$
Coefficiente di sottofondo verticale	Vol I di Geotecnica e tecnica delle fondazioni – Cestelli Guidi	Kg/cm ³	$K_v = a_2 \cdot E_d / b$ dove $a_2 = 2 / \log_e(b+2H)/b$
Coefficiente di sottofondo orizzontale	Metodo Chiarugi-Maia	Kg/cm ³	$k_h = \frac{E_d}{D \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{E_d \cdot D^4}{E_p \cdot J} \right)^{1/2}$ <small>E_d: Modulo edometrico ν: Coefficiente di Poisson E_p: Modulo elastico della sezione, se in ca (E_p= 18000 × √(R_{ck})) D: Diametro del palo J: Momento d'inerzia della sezione se circolare (J = π × D⁴ / 64)</small>
Modulo di Young dinamico	Bowles 1988	Mpa	$E = V_s^2 \rho \cdot [3V_p^2 - 4V_s^2 / V_p^2 - V_s^2]$
Modulo di Young statico	Rzhevsky et all., 1971	Mpa	$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$
Modulo di Bulk	Bowles 1988	Mpa	$K = E_{din} / (3 \cdot (1-2 \cdot n))$
Modulo di taglio dinamico	Bowles 1988	Mpa	$G_{din} = E_{din} / (2 \cdot (1+n))$
Modulo di taglio statico	Bowles 1988	Mpa	$G_{stat} = E_{stat} / (2 \cdot (1+n))$
Modulo di Compressione Edometrica	Relazione di Navier	Kh/cm ²	$M = E \cdot [(1-n) / (1-n-2 \cdot n^2)]$

BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2
Velocità onde P (m/s):	790	1600
Velocità onde S (m/s):	327	708
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	5.00	8.00
Profondità Media Strato (m)	2.50	9.00
Modulo di Poisson (ν)	0.40	0.38
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = $0,23 \times V_p^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.64	1.96
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	43.36%	35.79%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	4909	27091
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) $G_{din} = E_{din} / (2 * (1 + \nu))$	1757	9828
MOD. di BULK (K) (Kg/cm^2): $K = E_{din} / (3 * (1 - 2 * \nu))$	7914	37088
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhovsky et alii, 1971)	591	3264
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	212	1184
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) $\rho * V_p^2$ (valido per le terre)	104.59	511.82
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) $M = ((V_p * V_p * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	50.06	276.25
Rigidità Sismica ($\gamma * V_p$) (Tonn/m²*sec)	537	1388
Frequenza dello Strato	16	22
Periodo dello Strato	0.06	0.05
STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)		
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	>50	>50
N_{SPT} = $7,24E-07 \times V_s^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	>50	>50
N_{SPT} = $1,77E-06 \times V_s^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	19	>50
N_{SPT} = $1,60E-06 \times V_s^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	31	>50
Φ min = $V_{s1}^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	44	64
Φ max = $V_{s1}^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	50	70
Cu (coesione non drenata in Kg/cm^2) = $(V_s/23)^{1/0,475} * 0,010197$ (Dickenson 1990)	2.73	13.86
Cu (coesione non drenata) = $(V_s - 17,5) / 2,63 * 0,010197$ (Oh et al. 2008)	1.20	2.68
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 7,93)^{1/0,63} * 0,010197$ (Levesques et al. 2007)	3.74	12.73
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 187)^{1/0,372} * 0,010197 * 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	4.58	36.54
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 228)^{1/0,510} * 0,010197 * 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)	2.07	9.41
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)		
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	65	95
Φ (angolo di attrito in °)	28	30
C (coesione in kg/cm^2)	3.3	4.8
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle Vp in laboratorio 6000m/sec)	0.132	0.267
Rapporto di velocità al quadrato (VR²)	0.017	0.071
RQD ($0,97 \times (V_p / V_{LAB})^2 * 100$)	1.7%	6.9%
RQD (relazione empirica sui calcri - F. Zezza 1976)	7.2%	19.2%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO		
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50
k = (Coeff. di Winkler in $\text{Kg/cm}^3 \rightarrow$ VESIC 1961) $k = E / [B(1 - \nu^2)]$	7.02	38.09
k = $17,2 * V_s^{1,25}$ Kg/cm^3 (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	2.44	6.41
K_v (Coeff. di Winkler verticale in $\text{Kg/cm}^3 \rightarrow$ $K_v = \alpha^2 * E_d / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$)	1.04	6.80
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	3.81	71.46
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE		
Fs (Fattore di sicurezza = V_p / V_s)	2.4	2.3
Q_{ult} (kg/cm^2) = $\gamma_{nat} * v_s * (0,1)$ (Keceli 2012)	5.37	13.88
Q_{amm} = Q_{ult} / F_s	2.22	6.14

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2
Velocità onde P (m/s):	690	1529
Velocità onde S (m/s):	295	718
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000
SPESORE MEDIO STRATO (m)	5.00	8.00
Profondità Media Strato (m)	2.50	9.00
Modulo di Poisson (ν)	0.39	0.36
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = $0,23 \times Vp^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.59	1.94
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	44.30%	36.46%

MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	3839	27153
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) $G_{din} = E_{din}/(2*(1+\nu))$	1383	9993
MOD. di BULK (K) (Kg/cm^2): $K = E_{din}/(3*(1-2*\nu))$	5721	31994
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhovsky et alii, 1971)	462	3271
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	167	1204
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) $\rho * Vp^2$ (valido per le terre)	77.14	462.13
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) $M = ((Vp * Vp * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	39.14	276.89

Rigidità Sismica ($\gamma * Vp$) (Tonn/m ² *sec)	469	1392
Frequenza dello Strato	15	22
Periodo dello Strato	0.07	0.04

STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)		
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	>50	>50
$N_{SPT} = 7,24E-07 \times Vs^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	44	>50
$N_{SPT} = 1,77E-06 \times Vs^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	15	>50
$N_{SPT} = 1,60E-06 \times Vs^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	23	>50
$\Phi_{min} = Vs_1^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	41	64
$\Phi_{max} = Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	48	70
Cu (coesione non drenata in $Kg/cm^2 = (Vs/23)^{1/0,475} * 0,010197$ (Dickenson 1990))	2.19	14.27
Cu (coesione non drenata = $(Vs - 17,5)/2,63 * 0,010197$ (Oh et al. 2008))	1.08	2.72
Cu (coesione non drenata = $(Vs/7,93)^{1/0,63} * 0,010197$ (Levesques et al. 2007))	3.17	13.02
Cu (coesione non drenata = $(Vs/187)^{1/0,372} * 0,010197 * 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	3.47	37.94
Cu (coesione non drenata = $(Vs/228)^{1/0,510} * 0,010197 * 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	1.69	9.67

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)		
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	61	95
Φ (angolo di attrito in °)	28	30
C (coesione in kg/cm^2)	3.1	4.8
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle Vp in laboratorio 6000m/sec)	0.115	0.255
Rapporto di velocità al quadrato (VR ²)	0.013	0.065
RQD ($0,97 \times (Vp/VLAB)^2 * 100$)	1.3%	6.3%
RQD (relazione empirica sui calcri - F. Zezza 1976)	6.0%	18.0%

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO		
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in $Kg/cm^3 \rightarrow$ VESIC 1961) $k = E/[B(1-\nu^2)]$	5.44	37.54
$k = 17,2 * Vs^{1,25}$ Kg/cm^3 (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	2.14	6.52
K_v (Coeff. di Winkler verticale in $Kg/cm^3 \rightarrow$ $K_v = \alpha * E_d/b$ dove $\alpha = 2/\log_e(b+2H)/b$)	0.82	6.81
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	2.72	62.91

INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE		
Fs (Fattore di sicurezza = Vp/Vs)	2.3	2.1
Q_{ult} (kg/cm^2) = $\gamma_{nat} * vs * (0,1)$ (Keceli 2012)	4.69	13.92
$Q_{amm} = Q_{ult}/Fs$	2.00	6.54

BASE SISMICA 03 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2
Velocità onde P (m/s):	915	1625
Velocità onde S (m/s):	422	780
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000
SPESORE MEDIO STRATO (m)	4.50	9.00
Profondità Media Strato (m)	2.25	9.00
Modulo di Poisson (ν)	0.36	0.35
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = $0,23 \times Vp^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.70	1.97
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	42.20%	35.56%

MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	8289	32339
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) $G_{din} = E_{din} / (2 \cdot (1 + \nu))$	3036	11975
MOD. di BULK (K) (Kg/cm^2): $K = E_{din} / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu))$	10226	36007
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhovsky et alii, 1971)	998	3896
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	366	1443
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) $\rho \cdot Vp^2$ (valido per le terre)	145.56	529.98
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) $M = ((Vp \cdot Vp \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	84.52	329.77

Rigidità Sismica ($\gamma \cdot Vp$) (Tonn/m ² sec)	719	1535
Frequenza dello Strato	23	22
Periodo dello Strato	0.04	0.05

STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)		
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	>50	>50
$N_{SPT} = 7,24E-07 \times Vs^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	>50	>50
$N_{SPT} = 1,77E-06 \times Vs^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	40	>50
$N_{SPT} = 1,60E-06 \times Vs^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	>50	>50
$\Phi_{min} = Vs_1^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	50	67
$\Phi_{max} = Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	56	73
Cu (coesione non drenata in $Kg/cm^2 = (Vs/23)^{1/0,475} \cdot 0,010197$ (Dickenson 1990))	4.66	16.99
Cu (coesione non drenata = $(Vs - 17,5) / 2,63 \cdot 0,010197$ (Oh et al. 2008))	1.57	2.96
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 7,93)^{1/0,63} \cdot 0,010197$ (Levesques et al. 2007))	5.60	14.85
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 187)^{1/0,372} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	9.09	47.40
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 228)^{1/0,510} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	3.41	11.37

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)		
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	74	98
Φ (angolo di attrito in °)	29	30
C (coesione in kg/cm^2)	3.8	5.0
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle Vp in laboratorio 6000m/sec)	0.153	0.271
Rapporto di velocità al quadrato (VR ²)	0.023	0.073
RQD ($0,97 \times (Vp / VLAB)^2 \cdot 100$)	2.3%	7.1%
RQD (relazione empirica sui calcri - F. Zezza 1976)	8.9%	19.6%

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO		
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in $Kg/cm^3 \rightarrow$ VESIC 1961) $k = E / [B \cdot (1 - \nu^2)]$	11.52	44.41
$k = 17,2 \cdot Vs^{1,25}$ Kg/cm^3 (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	3.36	7.23
K_v (Coeff. di Winkler verticale in $Kg/cm^3 \rightarrow$ $K_v = \alpha \cdot 2 \cdot Ed / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$)	1.69	8.43
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	4.79	72.49

INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE		
Fs (Fattore di sicurezza = Vp / Vs)	2.2	2.1
Q_{ult} (kg/cm^2) = $\gamma_{nat} \cdot vs \cdot (0,1)$ (Keceli 2012)	7.19	15.35
$Q_{amm} = Q_{ult} / Fs$	3.32	7.37

BASE SISMICA 04 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

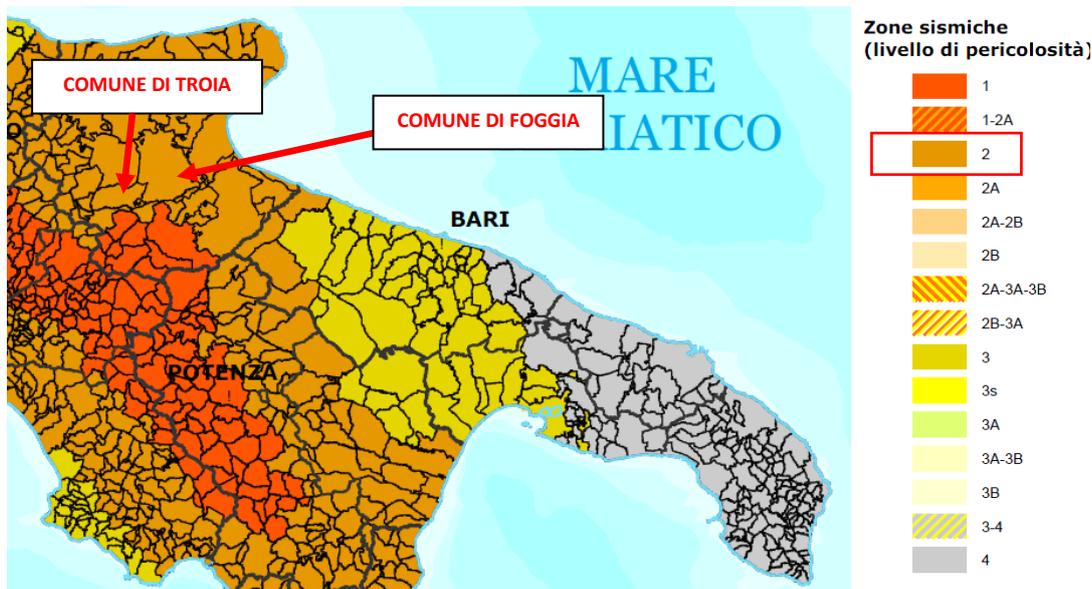
	STRATO 1	STRATO 2
Velocità onde P (m/s):	720	1578
Velocità onde S (m/s):	320	735
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	5.50	8.50
Profondità Media Strato (m)	2.75	9.75
Modulo di Poisson (ν)	0.38	0.36
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = $0,23 \times V_p^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.61	1.95
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	44.02%	36.00%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	4528	28741
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) $G_{din} = E_{din} / (2 * (1 + \nu))$	1644	10555
MOD. di BULK (K) (Kg/cm^2): $K = E_{din} / (3 * (1 - 2 * \nu))$	6132	34579
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhovsky et alii, 1971)	545	3463
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	198	1272
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) $\rho * V_p^2$ (valido per le terre)	84.89	496.12
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) $M = ((V_p * V_p * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu) / (1 - \nu)))$ (relazione di NAVIER)	46.18	293.08
Rigidità Sismica ($\gamma * V_p$) (Tonn/m²*sec)	514	1436
Frequenza dello Strato	15	22
Periodo dello Strato	0.07	0.05
STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)		
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	>50	>50
N_{SPT} = $7,24E-07 \times V_s^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	>50	>50
N_{SPT} = $1,77E-06 \times V_s^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	18	>50
N_{SPT} = $1,60E-06 \times V_s^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	29	>50
Φ min = $V_{s1}^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	43	65
Φ max = $V_{s1}^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	49	71
Cu (coesione non drenata in Kg/cm^2) = $(V_s/23)^{1/0,475} * 0,010197$ (Dickenson 1990)	2.60	15.00
Cu = (coesione non drenata) = $(V_s - 17,5) / 2,63 * 0,010197$ (Oh et al. 2008)	1.17	2.78
Cu = (coesione non drenata) = $(V_s / 7,93)^{1/0,63} * 0,010197$ (Levesques et al. 2007)	3.61	13.51
Cu = (coesione non drenata) = $(V_s / 187)^{1/0,372} * 0,010197 * 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	4.32	40.41
Cu = (coesione non drenata) = $(V_s / 228)^{1/0,510} * 0,010197 * 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)	1.98	10.12
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)		
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	64	96
Φ (angolo di attrito in °)	28	30
C (coesione in kg/cm^2)	3.2	4.9
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle V_p in laboratorio 6000m/sec)	0.120	0.263
Rapporto di velocità al quadrato (VR²)	0.014	0.069
RQD ($0,97 \times (V_p / V_{LAB})^2 * 100$)	1.4%	6.7%
RQD (relazione empirica sui calcri - F. Zezza 1976)	6.3%	18.8%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO		
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm^3 -> VESIC 1961) $k = E / [B(1 - \nu^2)]$	6.36	39.83
$k = 17,2 * V_s^{1,25}$ Kg/cm^3 (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	2.37	6.71
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm^3 -> $K_v = \alpha * E_d / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$)	1.00	7.36
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	3.27	73.53
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE		
F_s (Fattore di sicurezza = V_p / V_s)	2.3	2.1
Q_{ult} (kg/cm^2) = $\gamma_{nat} * v_s * (0,1)$ (Keceli 2012)	5.14	14.36
Q_{amm} = Q_{ult} / F_s	2.28	6.69

7 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

7.1 Aspetti generali

Il comune di Foggia e di Troia (Fg) ricadono in **zona sismica 2** (grado di sismicità medio-alto). In quanto tale, risulta assoggettate alla normativa antisismica, così come recepito con deliberazione di D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 dalla Regione Puglia.

Classificazione sismica 2012 - Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003



7.2 Caratteristiche sismiche di riferimento del territorio e aspetti spettrali

7.2.1 Caratteristiche sismiche del territorio sulla base delle indagini eseguite

Sulla base dell'indagine sismica MASW e RE.MI. è stato possibile stimare la categoria di suolo per il sito in esame.

Dalle risultanze della prospezione sismica, è emerso che il territorio in esame, dal punto di vista della caratterizzazione sismica, è classificato come categoria di suolo di fondazione di tipo "B", poiché è stato ottenuto un valore di $V_{s,eq}$ compreso tra 360m/s e 800m/s.

Alla luce delle attuali conoscenze si ritiene che non si pongono particolari problemi alla realizzazione dell'opera in oggetto. Naturalmente si terrà conto di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del Gennaio 2018 che all'opera si deve attribuire un'accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0.05 g, pari ad un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria "A") pari ad $a_g=0.15g$.

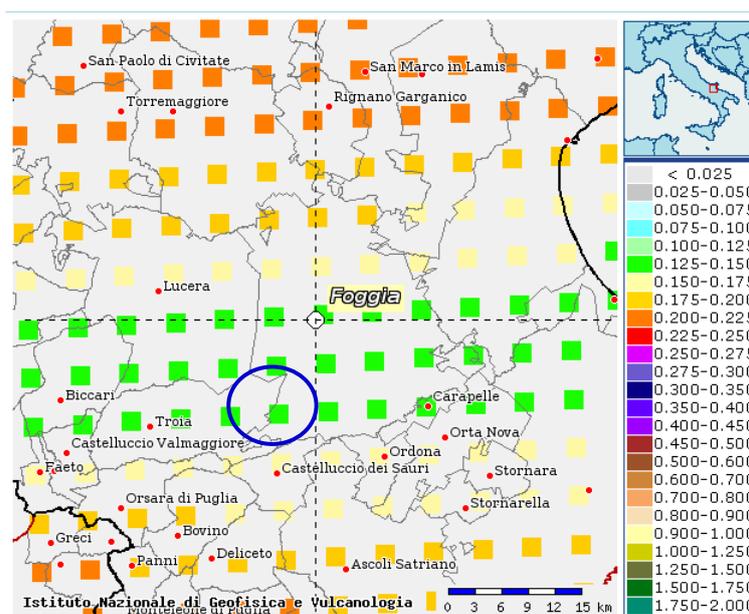
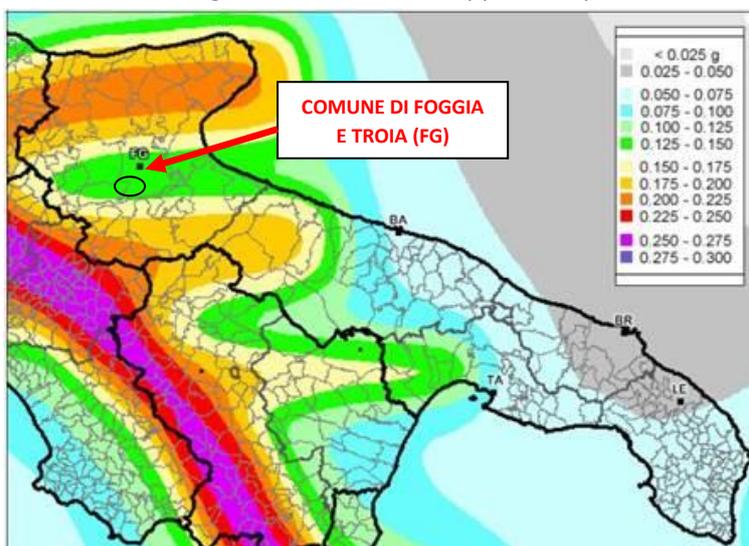
In particolare, le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.125 - 0.150g, come evidenziato nella figura in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, $V_s > 800$ m/sec).

Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2004)



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06).

Inoltre, per la caratterizzazione sismica del sito di interesse, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

- Il terreno di fondazione è costituito da un deposito ghiaioso sabbioso mediamente cementato, localmente limoso;
- nell'area in esame non sono presenti faglie o importanti fratture, attive del substrato geologico;
- la falda superficiale staziona ad una profondità superiore ai 15m.

mentre il valore del fattore S che tiene conto delle condizioni stratigrafiche e geotecniche del sito è pari a: $S = 1.25$.

Alla luce della recente normativa "Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture" 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8) si riportano i parametri di pericolosità sismica dell'area in esame, facendo riferimento al punto in cui è prevista la realizzazione della pala denominata T07:

PALA T07



Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
41.37240868	15.48926941
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)
41.37411	15.490148
Altitudine (mt)	149
Classe dell'edificio	II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti
Vita Nominale Struttura	50
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	50

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.045	2.433	0.290
Danno	50	0.056	2.549	0.330
Salvaguardia Vita	475	0.137	2.630	0.450
Prevenzione Collasso	975	0.177	2.594	0.512

Secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M. 14.01.2018 (NTC 18)*, all. A, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica deve essere compatibile con le NTC, dotata di sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali. Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- " a_g " accelerazione orizzontale massima al terreno;
- " F_o " 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.

7.3 Individuazione della pericolosità del sito

Le NTC18 (Norme Tecniche delle Costruzioni) ridefiniscono il concetto di pericolosità sismica di riferimento e di conseguenza sono state ridefinite le azioni sismiche di progetto-verifica. Tramite il programma sperimentale (Spettri-NTC ver.1.03) è possibile determinare i relativi spettri di risposta, in funzione del sito e del tipo di costruzione, per ciascuno degli stati limite previsti dalla normativa. La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un determinato sito. Può essere definita in termini statistici e/o probabilistici. Dal punto di vista statistico la severità di un evento sismico è descritta dalle curve di pericolosità. Ogni sito del territorio nazionale è caratterizzato da proprie curve di pericolosità che presentano in ascissa una misura della severità del terremoto come ad esempio accelerazione di picco del terreno o S_e (ordinata della risposta spettrale in accelerazione) ed in ordinata la frequenza media annua di ricorrenza $\lambda=1/T_r$ (T_r è il periodo di ritorno del sisma espresso in anni) in scala logaritmica.

PALA T08

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE: LATITUDINE:

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche

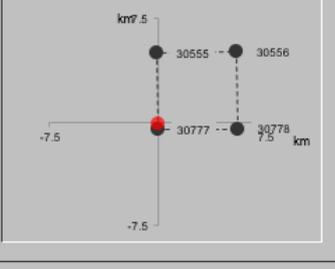
Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione:



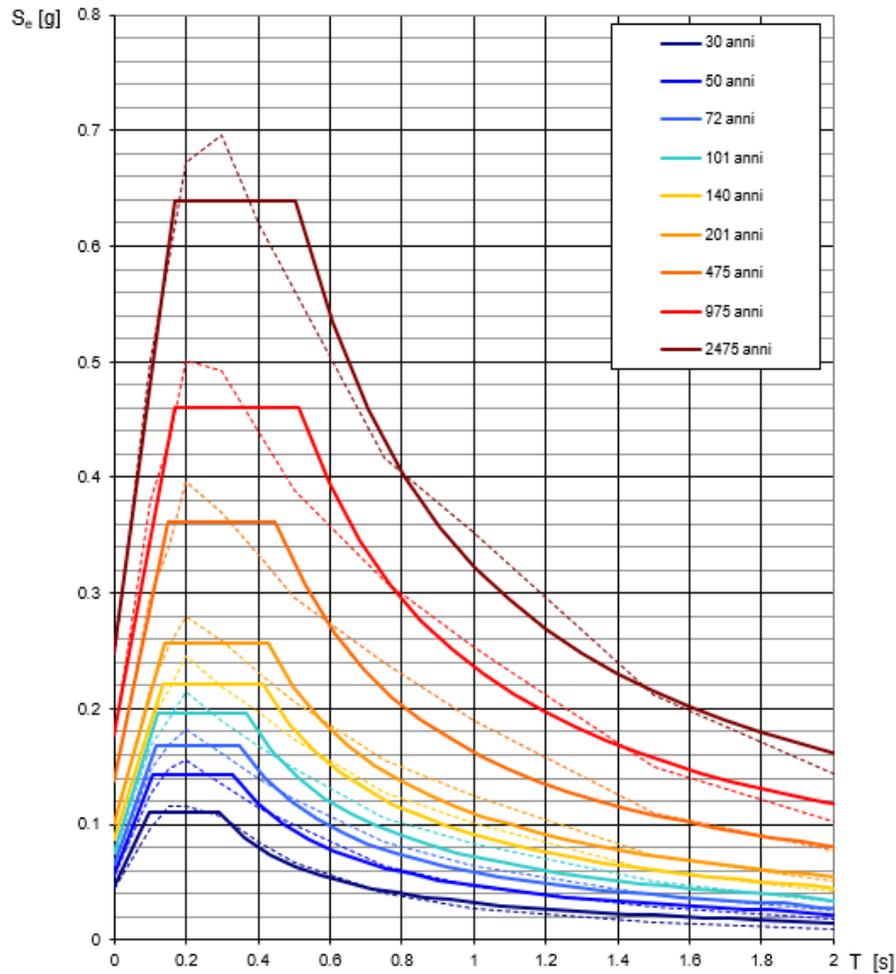
...a "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

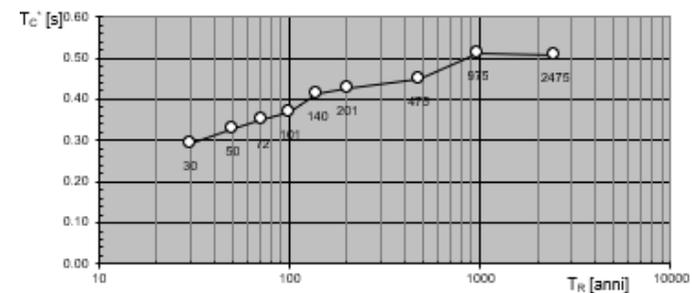
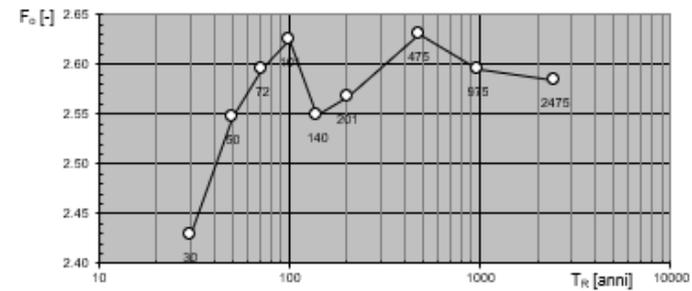
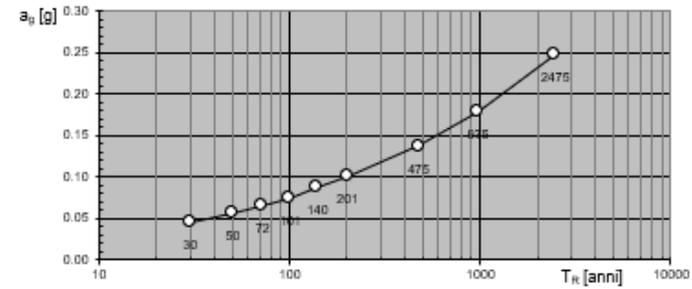
Una volta individuati tutti i parametri geografici (longitudine, latitudine, ecc.) sono visualizzati i quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso. I primi dati che si possono rilevare durante questa prima fase sono:

- i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1;
- i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione dl periodo di ritorno T_r .

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



Valori dei parametri a_R , F_a , T_c : variabilità col periodo di ritorno



Segue una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_o , T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.045	2.428	0.292
50	0.056	2.547	0.327
72	0.065	2.594	0.348
101	0.075	2.625	0.366
140	0.087	2.548	0.412
201	0.100	2.568	0.426
475	0.137	2.630	0.449
975	0.178	2.595	0.511
2475	0.247	2.583	0.506

7.4 Strategia di progettazione

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
 SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
 SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

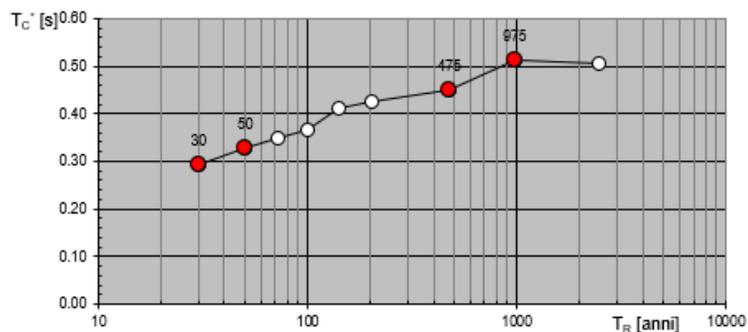
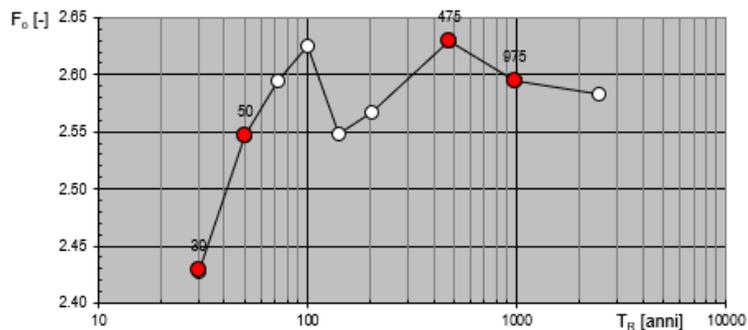
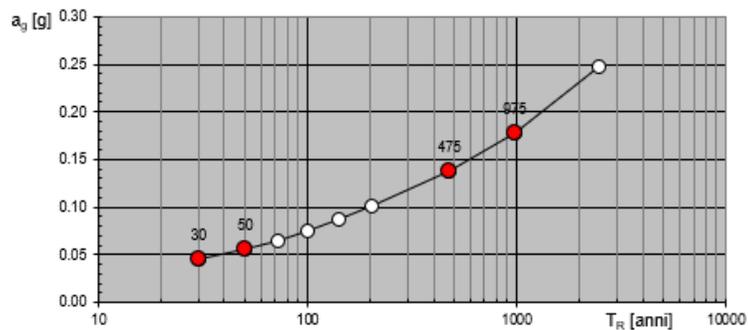
- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**

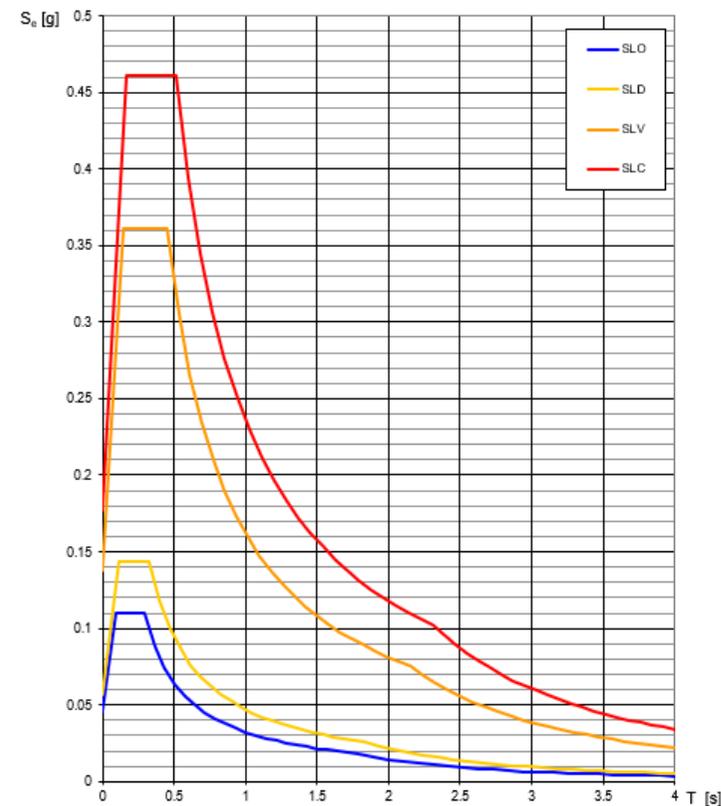
Nel nostro caso abbiamo una struttura con vita nominale V_N pari a 50 anni ed appartenente alla classe d'uso II a cui pertanto corrisponde un coefficiente d'uso della costruzione $C_U = 1.0$.

In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento per la costruzione V_R che risulta in questo caso pari a 50 anni. Sono quindi calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC18. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati.

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritor



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.045	2.429	0.293
SLD	50	0.056	2.547	0.327
SLV	475	0.137	2.630	0.449
SLC	975	0.178	2.595	0.511

8 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite è possibile asserire che in corrispondenza delle opere in progetto, sono presenti i seguenti terreni:

- Fino a 5 metri di profondità circa – Ghiaia sabbioso limosa da poco a mediamente cementata (Tab.1);
- Da 5 a circa 15 metri di profondità - Conglomerati in matrice sabbioso limosa (Tab.2);

Tab. 1 - Ghiaia sabbioso limosa da poco a mediamente cementata

Parametri fisici	
p.v. naturale	1.85-1.95 gr/cmc
p.v. saturo	1.95-2.05 gr/cmc
poisson	0.38
angolo di attrito	24°-26°

Tab. 2 - Conglomerati in matrice sabbioso limosa

Parametri fisici	
p.v. naturale	1.95-2.05 gr/cmc
p.v. saturo	2.0-2.10 gr/cmc
poisson	0.36
angolo di attrito	33°-35°

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dal punto di vista sismico, e ai sensi delle “Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 14 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8), è stato stimato il valore del $V_{S,eq}$ (rilevato tra 360 e 800 m/s) facendo rientrare il sottosuolo di fondazione nella categoria “B”

Poiché il terreno di fondazione è costituito da deposito ghiaioso sabbioso passante a conglomerato in matrice sabbioso limosa, con discrete caratteristiche meccaniche, si ritiene che, la fondazione più idonea sia una fondazione profonda tipo palo collegato ad una platea che fa da base alla struttura in elevazione.



Cat.OS20A Class. I
Cat.OS20B Class.IIIBis



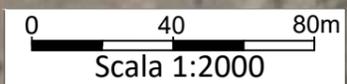
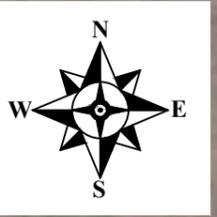
ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

ALLEGATO 01A E 01B – PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

-
- UBICAZIONE DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI SISMICHE IN ONDE P
 - UBICAZIONE DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI SISMICHE IN ONDE S: MASW E RE.MI.
-

ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE - SCALA 1:2000



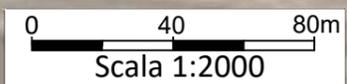
LEGENDA	
	G01 G24 Traccia Base Sismica - MASW

ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE - SCALA 1:2000



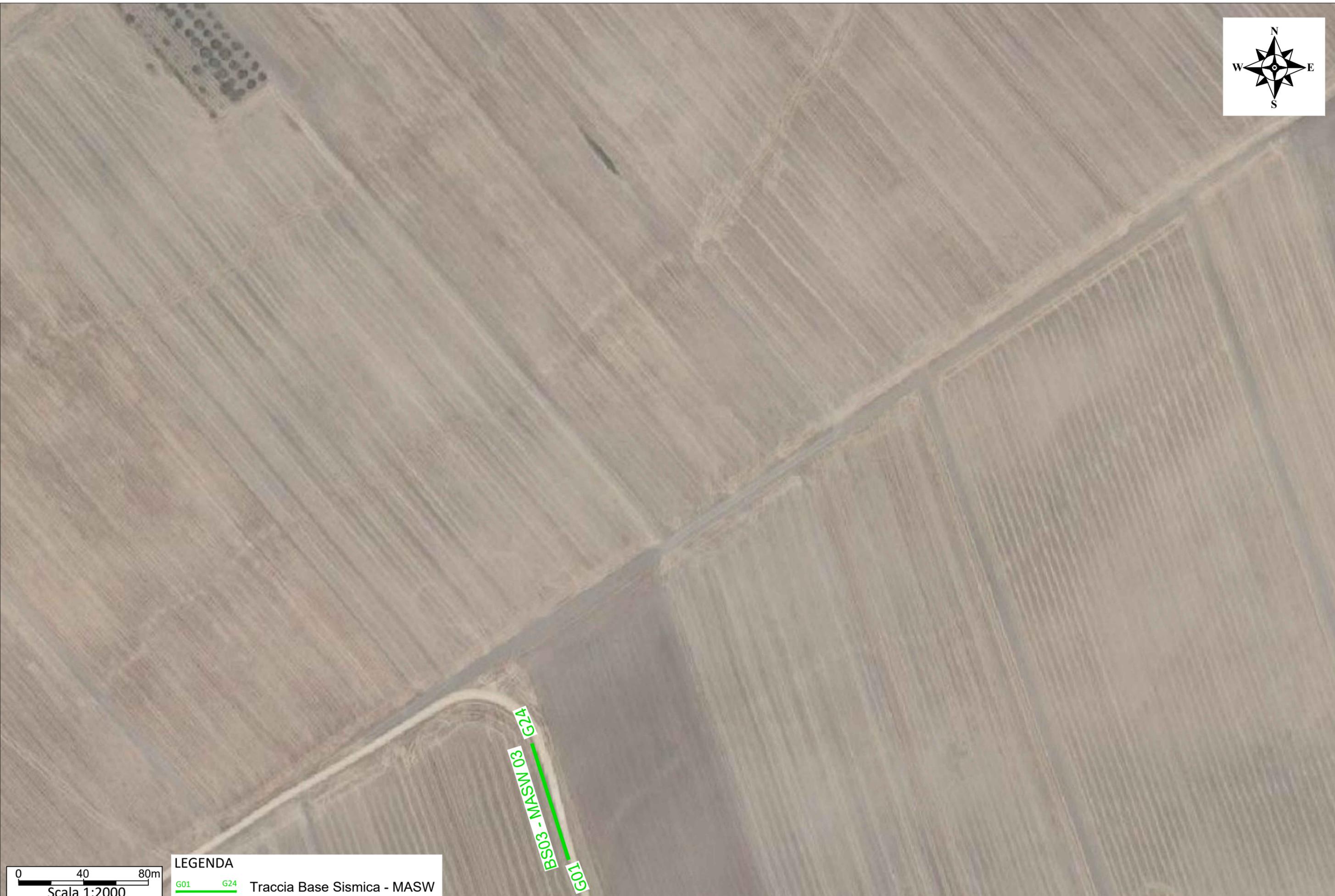
T02

G01 BS02 - Re.Mi. 02 G24



LEGENDA	
	G24 Traccia Base Sismica - Re.Mi.

ALLEGATO 01C: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE - SCALA 1:2000



LEGENDA
G01 G24 Traccia Base Sismica - MASW

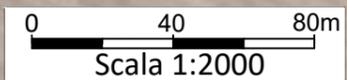
G24
BS03 - MASW 03
G01

ALLEGATO 01D: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE - SCALA 1:2000



G01 BS04 - MASW 04 G24

T10



LEGENDA

G01 G24 Traccia Base Sismica - MASW

ALLEGATO 02 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SULLE INDAGINI

-
- PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P
 - PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA PER LA STIMA DEL VS,EQ: INDAGINE MASW E RE.MI.
-

INDAGINI SISIMICHE DI SUPERFICIE: BS01 ÷ BS04 - MASW01, RE.MI.02, MASW03, E MASW04

BS01 in onde P e MASW01, Località "Foggia" - BS02 in onde P e MASW02, Località "Troia (Fg)"

BS01 e MASW 01, con p.to di vista dal geofono G1



BS01 e MASW 01, con p.to di vista dal geofono G24



BS01 e MASW 01, particolare della strumentazione



BS02 e RE.MI. 02, con p.to di vista dal geofono G1



BS02 e RE.MI. 02, con p.to di vista dal geofono G24



BS02 e RE.MI. 02, particolare della strumentazione



BS03 in onde P e MASW03, Località "Foggia" - BS04 in onde P e MASW04, Località "Troia (Fg)"

BS03 e MASW 03, con p.to di vista dal geofono G1



BS03 e MASW 03, con p.to di vista dal geofono G24



BS03 e MASW 03, particolare della strumentazione



BS04 e MASW 04, con p.to di vista dal geofono G1



BS04 e MASW 04, con p.to di vista dal geofono G24



BS04 e MASW 04, particolare della strumentazione

