



REGIONE SICILIA

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

PROGETTO:

Località Impianto
COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA BOSCO
COMUNE DI MONREALE (PA) CONTRADA CAMBUCA
Località Connessione
COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA TAMMI'

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO

Realizzazione impianto eolico
denominato "S&P 16" di 109,40 MW

CODICE ELABORATO:

PROPONENTE	TIPOLOGIA DOCUMENTO	PROGRESSIVO	REV
SP16	REL	006	01

EPD = ELABORATO DEL PROGETTO DIGITALE; REL = RELAZIONE;
ADD = ALTRA DOCUMENTAZIONE; IST = ISTANZA

DATA:

02/04/2024

ELABORATO:

SP16REL006_01-
Relazione_Geologica_Idrogeologica

Rev.	Data Rev.	Data Rev.
00	14/02/2023	
01	02/04/2024	

TAV:

REL006

PAG:

76

PROGETTISTI:

Ing. Sapienza Angelo



Ing. Rizzuto Vincenzo



Geol. Carrubba Salvatore

SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI

SOCIETA':

S&P 16 S.R.L.

SICILIA E PROGRESSO
sede legale: Corso dei Mille 312, 90047 Partinico (PA)
P.iva.: 07035610828 tel.: 0915567418
email: sviluppopep16@gmail.com
pec: sviluppopep16@pec.it



INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	4
2.1	MISURE PREVISTE PER LA MITIGAZIONE DEI FENOMENI DI DISSESTO E DI RUSCELLAMENTO DIFFUSO	6
2.2	ANALISI DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI RELATIVI AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)	7
2.3	CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE	8
2.4	TETTONICA.....	10
2.5	CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE E DESCRIZIONE DEGLI ACQUIFERI	11
3	VALUTAZIONI SULLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI E ACCORGIMENTI CHE SARANNO ADOTTATI NELLA FASE DI CANTIERE, ESERCIZIO E DISMISSIONE AL FINE DI RIDURRE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO, DEL SOTTOSUOLO E DELLE ACQUE.	12
3.1	ACCORGIMENTI DI CARATTERE GENERALE CHE SARANNO ADOTTATI NELLA FASE DI CANTIERE, ESERCIZIO E DISMISSIONE AL FINE DI RIDURRE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO, DEL SOTTOSUOLO E DELLE ACQUE.	12
3.2	ACCORGIMENTI CHE SARANNO ADOTTATI NELLA REALIZZAZIONE DEGLI AEROGENERATORI DURANTE LA FASE DI CANTIERE, ESERCIZIO E DISMISSIONE AL FINE DI RIDURRE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO, DEL SOTTOSUOLO E DELLE ACQUE.....	12
3.3	ACCORGIMENTI CHE SARANNO ADOTTATI NELLA REALIZZAZIONE DEGLI ELETTRODOTTI DI CONNESSIONE DURANTE LA FASE DI CANTIERE, ESERCIZIO E DISMISSIONE AL FINE DI RIDURRE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO, DEL SOTTOSUOLO E DELLE ACQUE.....	13
4	GESTIONE DELLE INTERFERENZE E DELLE CRITICITA'	15
•	<i>CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE</i>	<i>15</i>
•	<i>CRITICITÀ GEOLOGICHE</i>	<i>15</i>
•	<i>CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE.....</i>	<i>16</i>
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE	17
5.1	PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREVISTE.....	17
5.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE ESPERITE	18
6	ANALISI DEI RISULTATI E MODELLO GEOLOGICO E SISMICO PRELIMINARE	19
6.1	MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE	19
6.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO	20
6.3	SOLUZIONI PROGETTUALI PRELIMINARI	21
7	CONCLUSIONI	22

ELENCO ELABORATI ALLEGATI

Allegato n.1: elaborati cartografici

- 1) Stralcio Topografico in scala 1:10000
- 2) Carte dei Dissesti, della Pericolosità e del Rischio Geomorfológico ed idraulico allegate al Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) con indicazione degli impianti da realizzare e delle interferenze
- 3) Carta Geomorfológica in scala 1:5000
- 4) Carta Geologica in scala 1:5000
- 5) Planimetria con ubicazione indagini esperite in scala 1:5000

Allegato n.2: Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche tomografiche.

Allegato n.3: Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche M.A.S.W..

Allegato n.4: Elaborato tecnico e allegati grafici misure di conducibilità termica dei terreni.

Allegato n.5: Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche M.A.S.W. lungo il percorso del cavidotto e nel sito della stazione elettrica di elevazione.

1 PREMESSA

Su incarico della S&P 16 S.R.L. è stato eseguito il presente studio geologico, idrogeologico e geomorfologico di supporto al progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato "S&P 16" con potenza pari a 109.40 MW da realizzarsi nella contrada Bosco del territorio comunale di Partinico (PA) e nella contrada Cambuca del territorio comunale di Monreale (PA).

I suddetti impianti saranno connessi alla Stazione Elettrica "Partinico 2" da realizzarsi nella Contrada Tammì del territorio comunale di Partinico (PA) tramite un elettrodotto interrato ed una stazione di trasformazione da realizzarsi nella contrada Bosco del territorio comunale di Partinico. Il presente studio si è avvalso del rilevamento geologico, idrogeologico e geomorfologico di dettaglio esteso ad un intorno significativo dei siti ove verranno realizzati gli aerogeneratori, la Stazione utente di trasformazione e la Stazione Elettrica "Partinico2" e che verranno attraversati dal cavidotto interrato.

Inoltre, nell'ambito del presente studio, sono state eseguite sei tomografie sismiche e sei sondaggi sismici M.A.S.W.. Tali indagini hanno consentito di verificare la compatibilità degli aerogeneratori con il contesto geologico e geomorfologico presente, in quanto hanno fornito informazioni sulla stratigrafia dei siti e sulla loro caratterizzazione sismica ai sensi delle N.T.C. 2018.

Infine lungo il percorso dell'elettrodotto e nell'area interessata dalla realizzazione della stazione elettrica sono state eseguite ulteriori due indagini M.A.S.W. e una serie di misure di conducibilità termica in modo da avere già in questa fase dati utili per valutare la compatibilità del cavidotto interrato e della stazione elettrica con i litotipi in affioramento.

Nei seguenti capitoli viene verificata la compatibilità delle opere in progetto con l'assetto geologico, idrogeologico e geomorfologico dei siti secondo le indicazioni delle vigenti Normative. Grazie al presente studio sono anche state individuate le aree dove dettagliare il modello geotecnico nella successiva fase esecutiva ed è stata pianificata la gestione delle interferenze e delle criticità.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

I siti ove verranno installati gli aerogeneratori, gli elettrodotti di collegamento e la centrale elettrica di connessione sono cartografati sulle Carte Tecniche Regionali n.594130, n. 607010 e n. 607020. In particolare gli aerogeneratori si trovano nella contrada Cambuca del territorio comunale di Monreale (PA) e nella contrada Bosco del territorio comunale di Partinico (PA) così come la stazione elettrica di elevazione. La stazione elettrica di connessione si trova invece nella Contrada Tammì del territorio comunale di Partinico (PA).

I siti in studio afferiscono al bacino idrografico sotteso dal Fiume Jato, dal **Torrente Finocchio** e dal torrente Fico Maltempo. **Mentre la stazione elettrica di connessione verrà realizzata nel bacino idrografico sotteso dal Vallone Corso.**

I siti presentano un andamento morfologico molto articolato in funzione soprattutto della disposizione reciproca dei litotipi presenti. In particolare si notano forme morbide e rilievi poco accentuati nelle zone ove affiorano i terreni argillosi e limoso sabbiosi a Sud della Strada Statale 115, mentre i terreni più competenti formano più a Est gli alti topografici di Monte Belliemi che costituisce insieme al Cozzo Belliemi il rilievo più elevato della zona. Infine l'area a valle della Strada Statale 115 è caratterizzata da una vasta spianata marina che si estende da Est verso Ovest sino al mare e che è caratterizzata da profonde incisioni vallive tipo canyon.

La genesi di tale morfologia costiera è da ricondurre alle variazioni eustatiche avvenute nel periodo delle grandi glaciazioni. Infatti in tale Era Geologica il livello del mare, abbassandosi, abbassava il livello di base dei corsi d'acqua, provocando un ringiovanimento dell'intero bacino idrografico dei paleofiumi siciliani che, approfondendosi, incidevano le spianate marine appena depositatesi generando ripide scarpate tipo canyon. Tale morfologia anche se è stata stabilizzata con terrazzamenti e con varie opere antropiche di sostegno, oggi è ancora facilmente riconoscibile lungo il Fiume Jato e lungo i corsi d'acqua minori che attraversano la piana.

Nella porzione Sud dell'area ove invece affiorano terreni argillosi, i corsi d'acqua presentano fenomeni di erosione al fondo e di sponda e il loro percorso deve continuamente riadattarsi ai continui apporti dai versanti che ne deviano il percorso.

Inoltre, spesso, le linee di drenaggio sono state quasi del tutto obliterate dalle coltivazioni intensive dei terreni e troppo spesso si assiste a percorsi totalmente innaturali delle linee di deflusso che sono state declassate, nella migliore delle ipotesi, a canali di scolo che seguono i confini delle varie proprietà recintate. Ovviamente questa situazione è incompatibile con qualsiasi evento meteorico di intensità medio alta che provocherà fenomeni di erosione per ruscellamento diffuso ed erosione al fondo dei sottodimensionati canali con relativa instabilità delle sponde. Inoltre essendo tali canali incapaci di drenare le acque piovane, si creano dei veri e propri pantani in corrispondenza dei restringimenti dei canali o dei continui cambi di direzione con angoli retti o in situazioni dove le linee

di drenaggio sono state completamente obliterate dall'aratura dei campi.

Questi fenomeni tendono quindi a favorire la saturazione dei terreni limitrofi provocando l'appesantimento della coltre superficiale e l'incremento delle pressioni interstiziali generando fenomeni instabilità della coltre.

Infatti i fenomeni di dissesto rilevati interessano generalmente la coltre di alterazione superficiale delle stesse argille, che detiene generalmente buoni valori di permeabilità e può favorire una discreta circolazione idrica superficiale in concomitanza con gli eventi piovosi. Tuttavia tale strato di alterazione superficiale, proprio per la sua composizione granulometrica e chimica si satura rapidamente e le acque piovane, dopo un brevissimo intervallo, iniziano a ruscellare lungo il versante.

L'incremento di peso e le caratteristiche chimico fisiche della coltre di alterazione superficiale satura può destabilizzare la stessa provocando i dissesti descritti nelle considerazioni geomorfologiche e mappati sulle carte geomorfologiche allegare redatte alla scala 1:5000.

2.1 Misure previste per la mitigazione dei fenomeni di dissesto e di ruscellamento diffuso

La maggior parte delle problematiche geomorfologiche precedentemente descritte è facilmente risolvibile nell'ambito della sistemazione idraulica e geomorfologica che verrà eseguita per la realizzazione delle strutture previste in progetto. Infatti in tale fase verranno eseguiti fossi di guardia e canali di drenaggio in grado di smaltire rapidamente le acque superficiali in eccesso convogliandole verso valle, regimando i deflussi e stabilizzando con opportune opere idrauliche, il profilo di base dei corsi d'acqua. Mentre opportune trincee drenanti disposte lungo i versanti, allontaneranno le acque dal sottosuolo convogliandole verso gli impluvi abbattendo così le pressioni interstiziali e, nel contempo, alleggerendo la porzione limoso argillosa instabile in affioramento.

In questo contesto idrografico, il presente progetto potrà influire soltanto positivamente in quanto nelle aree di intervento saranno ripristinate le naturali vie di drenaggio superficiale e saranno inoltre realizzati drenaggi in grado di smaltire rapidamente le acque piovane che attualmente tendono ad appesantire la coltre superficiale.

Così facendo la maggior parte delle problematiche appena descritte sarà facilmente risolta nell'ambito della sistemazione idraulica e geomorfologica che verrà eseguita per la realizzazione delle strutture previste in progetto.

Pertanto la realizzazione delle opere previste in progetto favorirà direttamente e indirettamente la generale stabilità non solo delle aree di intervento, ma anche delle aree limitrofe.

Infatti le strutture fondali degli aerogeneratori saranno realizzate con plinti su pali. Tale tipologia di struttura in fondazione è quella che più di tutte fornisce le maggiori garanzie in termini di stabilità. In quanto questa tipologia di struttura fondale utilizza i pali di fondazione gettati in opera per trasferire le tensioni in profondità nel sottosuolo e pertanto garantisce la stabilità delle opere nel tempo e, trasferendo le sollecitazioni degli aerogeneratori in profondità nel sottosuolo, impedisce che le stesse possano innescare dissesti.

Inoltre il cavidotto sarà realizzato con la tecnica del "no dig" al fine di risolvere facilmente le interferenze di tipo geomorfologico semplicemente passando al di sotto della superficie di scivolamento dei dissesti o passando a sufficiente profondità al di sotto dei corsi d'acqua. La profondità alla quale verrà posato in opera il cavidotto realizzato con tecnica "no dig" sarà stabilita sulla base della prevista campagna di indagini dirette ed indirette che sarà eseguita in fase esecutiva. Le tecniche di scavo tradizionali saranno utilizzate soltanto nei tratti in cui, a seguito delle indagini di dettaglio che verranno esperite, si riterrà che il loro utilizzo possa essere più vantaggioso e meno impattante rispetto al "no dig" e fornire eguali garanzie di sicurezza.

I siti ove saranno realizzate la stazione utente di trasformazione e la stazione di connessione si trovano su aree senza particolari problematiche di versante.

2.2 Analisi degli elaborati cartografici relativi al Piano di Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

Dall’attenta analisi degli elaborati cartografici relativi al Piano di Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) si osserva che alcuni dei dissesti rilevati nelle carte geomorfologiche di cui al precedente paragrafo sono anche stati censiti dal P.A.I..

I siti d’intervento ricadono nel bacino idrografico n. 43 del Fiume Jato e nell’adiacente n. 44 “Area territoriale tra il Bacino del F. Jato e del F. San Bartolomeo” sulle sezioni identificate dalle CTR n.594130, n. 607010 e n. 607020.

Gli elaborati cartografici con codici SP16EPD028.1, SP16EPD028.2, SP16EPD028.3 e SP16EPD028.4 mostrano in dettaglio la localizzazione degli impianti da realizzare evidenziando le interferenze tra essi ed i dissesti cartografati dal PAI. Tali elaborati sono anche riprodotti nell’allegato 1. In particolare l’elaborato cartografico con codice SP16EPD028.1 mostra le interferenze tra gli impianti e i dissesti cartografati dal PAI. L’elaborato cartografico con codice SP16EPD028.2 mostra le interferenze tra gli impianti e le aree a rischio geomorfologico indicando anche il livello di pericolosità dei dissesti cartografati dal PAI. L’elaborato cartografico con codice SP16EPD028.3 mostra le interferenze tra gli impianti e le aree a pericolosità idraulica. Mentre l’elaborato cartografico con codice SP16EPD028.4 mostra le interferenze tra gli impianti e le aree a rischio di esondazione.

Dall’osservazione di tali elaborati cartografici si evince che **non saranno installati impianti nelle aree dove il PAI ha cartografato dissesti**. Inoltre l’interferenza sulla planimetria dei dissesti identificati dal PAI con i numeri 043-6MO-008 e 043-6PN-008 con il tracciato del cavidotto non preclude la realizzazione del cavidotto con la tecnica del “no dig”, in quanto tale tecnica consentirà di realizzare il cavidotto ad una profondità maggiore rispetto a quella dove si trova la superficie di scivolamento del dissesto cartografato dal PAI. La prevista campagna di indagini geognostiche consentirà di definire, con ulteriori indagini dirette ed indirette, la profondità delle superfici di distacco dei dissesti cartografati dal PAI consentendo di progettare la quota altimetrica della perforazione ove verrà installato il cavidotto.

Inoltre la “Carta della Pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione” del Piano di Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) non mappa aree di esondazione che possano interferire con le aree ove verranno realizzati gli aerogeneratori mentre il cavidotto grazie alla tecnica del no dig attraverserà il Fiume Jato a ad una profondità tale da non potere interferire con le aree di esondazione a seguito delle “manovra di scarico e ipotetico collasso invasivo Poma”.

2.3 Considerazioni Geologiche

Le ricerche bibliografiche ed il rilevamento di superficie, esteso ad un intorno significativo, hanno permesso di individuare nei siti in studio i classici depositi marini e continentali quaternari che giacciono sulle formazioni più antiche.

In affioramento queste formazioni sono prevalentemente costituite da peliti, argille sabbiose, sabbie, conglomerati e calcareniti. In parte ricoperti da spessori, a volte potenti, di coltre detritica eluvio colluviale che ricolma le zone di fondovalle o le zone in dissesto. In più aree rilevate si individuano anche depositi alluvionali attuali e depositi alluvionali terrazzati e i classici depositi della Fm. Terravecchia e della Fm. Castellana Sicula.

Di seguito sono in dettaglio descritte le Formazioni Geologiche rilevate:

● **Coltre detritica eluvio colluviale e depositi di fondovalle (Attuale).** Si tratta di affioramenti estremamente eterogenei generati dal disfacimento delle formazioni geologiche in affioramento nel sito o nei siti circostanti. Infatti gli agenti esogeni, quali il vento e le acque ruscellanti, sono in grado di trasportare ed accumulare a quote inferiori i prodotti del disfacimento di formazioni geologiche limitrofe in affioramento a quote altimetriche più elevate. La coltre detritica eluvio colluviale ricolma pertanto le zone più depresse del sito in esame ed è presente con varia potenza in funzione degli apporti dai versanti. Generalmente si tratta di argille nerastre incoerenti e limi che includono elementi lapidei spigolosi anche di dimensioni decimetriche di calcari o marne, sabbie e blocchi di quarzareniti. Sono anche stati accorpati i detriti di falda che costituiscono gli accumuli di blocchi ed elementi lapidei accumulati alla base delle scarpate o alle falde dei rilievi di Monte Belliemi e Cozzo Belliemi in quanto essi risultano spesso frammisti ai depositi pelitici della coltre eluvio colluviale.

● **I depositi fluviali. (Attuale).** Questi depositi sono costituiti da diversi tipi di sedimenti con granulometria variabile dai blocchi, alle sabbie, ai limi, e rappresentano i materiali presi in carico, trasportati e depositati dagli attuali corsi d'acqua lungo il loro percorso. Il loro grado di cementazione è generalmente basso o nullo ed è legato alle caratteristiche chimiche delle soluzioni circolanti, sia in fase di deposizione, sia, secondariamente, in fase diagenetica e postdiagenetica.

Lo spessore generalmente è variabile da pochi metri ad alcune decine di metri a seconda dell'andamento morfologico del top delle sottostanti formazioni più antiche, mentre le proprie caratteristiche meccaniche ed idrogeologiche risultano spesso molto variabili anche nell'ambito dello stesso affioramento in funzione della granulometria, della forma dei clasti, del grado di cementazione e dell'indice dei vuoti.

● **Sintema del Fiume Belice** (Pleistocene medio - Superiore). Si tratta di depositi fluviali terrazzati che

si sono generate per effetto della variazione del livello di base dei corsi d'acqua causato delle variazioni eustatiche del livello del mare. Sono generalmente costituiti da sabbie, ghiaie e conglomerati ricoperti da una coltre limoso – argillosa pedogenizzata. Questi depositi continentali poggiano discordanti sui depositi pre-quadernari che erano già stati incisi dai paleofiumi. Non essendo presente contenuto fossilifero e non essendo noto il periodo di inondazione, la datazione è stata stabilita sulla base dei terreni su cui giacciono discordanti e sulla base del periodo in cui le variazioni del livello del mare erano più importanti.

● **Sintema Barcarello (Pleistocene Medio - Sup.)**. Depositi colluviali cementati e suoli rimaneggiati interdigerati con depositi clastico-carbonatici con macrofaune a *Strombus bubonius* e *Patella ferruginea*. Generalmente l'affioramento è costituito da alternanze cicliche di conglomerati poligenici, sabbie e silt di origine colluviale, di colore variabile tra il rosso giallastro e il rosso scuro, con livelli in cui si addensano concrezioni calcaree centimetriche, paleosuoli e livelli pedogenizzati. Lo spessore complessivo varia da 2 a 5 m.

● **Calcareniti e sabbie di Castellammare (Emiliano Sup. Siciliano)**. Conglomerati, costituiti da ciottoli calcarei o quarzarenitici di diversi centimetri di diametro, ben arrotondati o appiattiti in matrice arenitico ruditica giallo rossastra, frammenti ad areniti bioclastiche carbonatiche con laminazione sia incrociata che parallela. Verso l'alto prevale la frazione fine e le arenarie sono disposte in sottili strati da 15 a 60 cm seguiti da litotipi sabbiosi con alternanze biocalcarenitiche e calciruditiche con livelletti siltoso argillosi. Lo spessore della formazione è variabile da 3 m a 15 m. L'ambiente di deposizione è riconducibile ad un'area di piattaforma interna.

● **Formazione Marnoso Arenacea del Belice (Piacenziano-Gelasiano)**. Argille marnose e sabbiose grigio azzurre con plancton calcareo passanti verso l'alto e lateralmente a calcareniti e arenarie quarzose in matrice calcarea con abbondanti bivalvi, echinodermi e frammenti di alghe rosse. L'ambiente di deposizione è di scarpata - piattaforma esterna.

● **Formazione Terravecchia: (Tortoniano Med. – Messiniano Inf.)**. Si tratta di depositi deltizi di mare poco profondo. Lo spessore della formazione varia da 100 m a 400 m ed è caratterizzata da numerosi ed imprevedibili passaggi laterali e verticali tra le seguenti associazioni litologiche:

- alternanze di argille e argille sabbiose grigiastre ed azzurre sottilmente laminate con lamellibranchi gasteropodi e foraminiferi bentonici;
- sabbie giallastre e grigiastre a grana media e grossa, talora micacee, gradate e laminate disposte in strati da centimetrici a decimetrici con abbondanti frammenti di molluschi e gasteropodi spesso con

intercalazioni conglomeratiche;

- conglomerati poligenici con elementi arrotondati di dimensioni variabili da qualche centimetro a qualche decina di centimetri. I clasti sono generalmente sciolti e possono avere natura quarzarenitica, carbonatica o anche metamorfica.

● ***Formazione Castellana Sicula. (Serravalliano Sup. – Tortoniano Inf.)*** In affioramento su più zone dell'area rilevata sono presenti le argille giallo – rossastre e le peliti sabbiose con rari foraminiferi planctonici e bentonici della Formazione Castellana Sicula. Il contenuto fossilifero e le litologie riscontrate sono riconducibili ad un ambiente di deposizione di piattaforma esterna e scarpata. In tale formazione si rinvengono spesso intercalazioni di arenarie e microconglomerati fangosostenuti generalmente sterili. Gli spessori variano da 20 a 250 m e stratigraficamente si trovano discordanti al di sotto dei depositi della Formazione Terravecchia.

2.4 Tettonica

Per esaminare l'area dal punto di vista strutturale bisogna fare riferimento ad una ben più vasta zona ed inquadrare l'area in un contesto strutturale di tipo regionale. I siti in esame inseriti quindi in un contesto regionale sono stati interessati da campi tensionali che, nelle Ere Geologiche, hanno modellato il paesaggio e generato, con meccanismi e tempi differenti, i diversi tipi di deformazioni che oggi rendono complessa la tettonica Siciliana.

I campi tensionali che hanno generato tali piegamenti, hanno agito in diversi periodi e con varie direzioni di movimento provocando da un canto i sovrascorrimenti tra differenti formazioni geologiche e provocando dall'altro, con movimenti a componente prevalentemente verticale anche l'emersione, negli ultimi tempi della storia geologica, di porzioni di territorio precedentemente sommerse nonché la deposizione di depositi alluvionali terrazzati.

A seconda delle caratteristiche delle rocce, in risposta agli sforzi tensionali subiti, ci si può trovare sia in presenza di strutture derivanti da deformazioni di tipo duttile, che di tipo fragile. Le strutture duttili sono rappresentate da sistemi di pieghe. Le strutture fragili sono rappresentate da diverse famiglie di faglie esistenti con vari rigetti su tutto il territorio siciliano ma che comunque non interessano direttamente i siti dove verranno realizzati gli impianti.

2.5 Considerazioni Idrogeologiche e descrizione degli acquiferi

I siti in esame sono caratterizzati dalla presenza di formazioni geologiche estremamente eterogenee costituite da vari litotipi con disposizione reciproca difficilmente prevedibile. Ciò determina una notevole variabilità nel comportamento idrodinamico dei complessi sedimentari costituenti il sito in esame.

In particolare, volendo schematizzare i diversi litotipi che costituiscono il sottosuolo del sito in studio, è possibile distinguere:

- litotipi impermeabili, quali le argille;
- litotipi mediamente permeabili, in funzione della presenza al loro interno di porzioni sabbiose o limose;
- litotipi permeabili quali i conglomerati e le sabbie che costituiscono dei livelli, talora di notevole spessore, intercalati nelle argille;
- litotipi permeabili per porosità primaria quali le sabbie, i conglomerati e le calcareniti.

Pertanto nel sottosuolo, l'acqua è in grado di sfruttare gli strati più permeabili, quali quelli dovuti alle intercalazioni carbonatiche, conglomeratiche e sabbiose, per circolare in esse seguendo percorsi idrodinamici difficilmente prevedibili a causa della eterogeneità e dell'intensa tettonizzazione del complesso sedimentario stesso.

In queste condizioni le acque piovane si infiltrano rapidamente quando in affioramento sono presenti litotipi permeabili sino ad intercettare i livelli meno permeabili e proseguire il proprio moto con direzioni di flusso a componente prevalentemente orizzontale **dando vita anche ad effimeri e modesti affioramenti sorgentizi.**

Tuttavia l'estensione areale e la potenza di tali litotipi più permeabili non è tale da consentire l'instaurarsi di falde idriche ma tuttalpiù di effimeri e molto limitati accumuli idrici in corrispondenza di eventi piovosi. Tali accumuli comunque si esauriscono rapidamente al cessare dell'evento piovoso stesso.

3 VALUTAZIONI SULLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI E ACCORGIMENTI CHE SARANNO ADOTTATI NELLA FASE DI CANTIERE, ESERCIZIO E DISMISSIONE AL FINE DI RIDURRE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO, DEL SOTTOSUOLO E DELLE ACQUE.

Come più ampiamente descritto nei precedenti paragrafi nel sito in esame prevalgono litotipi a bassa permeabilità quali le argille e i limi frammisti ai quali è possibile rinvenire inclusioni carbonatiche o porzioni sabbiose o conglomeratiche o calcarenitiche ovvero litotipi dotati di maggior permeabilità. Tuttavia l'estensione areale e la potenza di tali litotipi più permeabili non è tale da consentire l'instaurarsi di falde idriche ma tutt'al più di effimeri e molto limitati accumuli idrici in corrispondenza di eventi piovosi. Tali accumuli comunque si esauriscono rapidamente al cessare dell'evento piovoso stesso.

Pertanto la vulnerabilità intrinseca dell'area in esame risulta essere bassa in quanto i litotipi in affioramento sono dotati di bassa permeabilità e non sono state rilevate falde idriche. Inoltre i litotipi più permeabili sono inclusi nei litotipi poco permeabili e hanno limitata estensione.

3.1 Accorgimenti di carattere generale che saranno adottati nella fase di cantiere, esercizio e dismissione al fine di ridurre il rischio di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque.

Nonostante la bassa vulnerabilità all'inquinamento, al fine di ridurre il rischio di inquinamento dei siti durante le fasi di realizzazione degli impianti, della stazione utente di trasformazione e della stazione utente si prevede di realizzare opportune piazzole di carico impermeabilizzate e dotate di disoleatore dove verranno eseguite le operazioni più rischiose quali i rifornimenti di carburante e gli interventi di manutenzione.

Tali piazzole saranno realizzate in prossimità delle principali strade e, a tal proposito, si fa rilevare che su tutta l'area esistono già numerose fonti di inquinamento diffuso e concentrato legate sia alla coltivazione intensiva, sia alle innumerevoli attività agricole presenti nell'intorno.

Si osserva inoltre che l'area è già attraversata da numerose strade le cui cunette disperdono le acque di scolo della sede stradale direttamente nei terreni limitrofi senza alcun trattamento.

3.2 Accorgimenti che saranno adottati nella realizzazione degli aerogeneratori durante la fase di cantiere, esercizio e dismissione al fine di ridurre il rischio di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque.

Le strutture fondali degli aerogeneratori saranno realizzate con plinti su pali. Tale tipologia di struttura in fondazione è quella che più di tutte fornisce le maggiori garanzie sia in termini di stabilità, sia in termini di impatto sull'ambiente e sulle acque sotterranee. Infatti questa tipologia di struttura

fondale utilizza i pali di fondazione gettati in opera per trasferire le tensioni in profondità nel sottosuolo e pertanto consente di ridurre le dimensioni del plinto di fondazione e quindi di ridurre sia i volumi di scavo necessari alla sua realizzazione, sia i volumi di materiali da costruzione quali calcestruzzo e ferro da trasportare in situ ed utilizzare. Inoltre l'utilizzo dei pali di fondazione garantisce la stabilità delle opere nel tempo e, trasferendo le sollecitazioni degli aerogeneratori in profondità nel sottosuolo, impedisce che le stesse possano innescare dissesti.

Perdi più avendo ridotto il volume del plinto di fondazione si rende praticamente influente l'interferenza delle strutture in fondazione con la circolazione idrica superficiale e sotterranea. A maggior garanzia dell'ambiente e del sottosuolo le perforazioni dei pali di fondazione saranno realizzate con rivestimenti metallici provvisori di sostegno delle pareti del foro. Tale rivestimento verrà estratto immediatamente dopo il getto di calcestruzzo e garantirà sia la regolarità dello scavo (e quindi del palo) evitando scavarnamenti o interruzioni del getto, sia l'impossibilità di disperdere calcestruzzo nel sottosuolo impedendo allo stesso di intasare volumi di roccia più permeabili. Nel contempo l'utilizzo dei rivestimenti metallici consentirà di non utilizzare altri sistemi più impattanti di sostegno del foro quali i fluidi bentonitici o similari.

Infine avendo realizzato un plinto di fondazione di dimensioni più ridotte sarà più semplice la dismissione degli impianti al termine della loro vita utile.

3.3 Accorgimenti che saranno adottati nella realizzazione degli elettrodotti di connessione durante la fase di cantiere, esercizio e dismissione al fine di ridurre il rischio di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque.

Come più ampiamente descritto nei capitoli precedenti, lungo il percorso del cavidotto prevalgono litotipi a bassa permeabilità quali le argille e i limi frammisti ai quali è possibile rinvenire inclusioni carbonatiche stratificate, banconi calcarenitici o olistoliti o porzioni sabbiose o conglomeratiche ovvero litotipi dotati di maggior permeabilità. Tuttavia l'estensione areale di tali litotipi più permeabili non è tale da consentire l'instaurarsi di falde idriche ma tutt'al più di effimeri e molto limitati accumuli idrici in concomitanza con gli eventi piovosi. Tali accumuli comunque si esauriscono rapidamente al cessare dell'evento piovoso stesso e i litotipi più permeabili sono inclusi nei litotipi poco permeabili e hanno limitata estensione.

Al fine di scongiurare qualsiasi interferenza delle operazioni di scavo del cavidotto con le seppur effimere falde idriche o di subalveo, il cavidotto sarà prevalentemente scavato con la tecnica del no dig pertanto sarà trivellato nelle argille della formazione di base evitando quindi di intercettare i terreni di copertura e le aree a maggior permeabilità dovute per esempio ai sedimenti fluviali.

Infatti con la tecnica di scavo del no dig i mezzi motorizzati restano fissi ad un estremo del tratto di cavidotto in perforazione mentre l'avanzamento avviene tramite aste di perforazione.

Pertanto la dispersione di inquinanti potrebbe avvenire soltanto nelle zone dove sono installate le macchine perforatrici e, trattandosi di un'area di pochi metri quadri, l'area può essere facilmente impermeabilizzata per scongiurare la possibilità di dispersione di inquinanti. Inoltre i fluidi di perforazione che si prevede di utilizzare saranno ecocompatibili e biodegradabili offrendo in questo modo una sufficiente garanzia di sicurezza.

In ogni caso grazie alle indagini geognostiche che saranno esperite in fase esecutiva si farà in modo che le perforazioni avvengano nelle argille della formazione di base o nei litotipi a bassissima permeabilità e che costituiscono una sufficiente garanzia contro la dispersione nel sottosuolo di fluidi di circolazione.

4 GESTIONE DELLE INTERFERENZE E DELLE CRITICITA'

Nel presente capitolo vengono descritte le soluzioni tecniche individuate già in questa fase per la gestione delle criticità di cui ai precedenti paragrafi. Infatti secondo quanto di seguito descritto le strutture in fondazione individuate per gli aerogeneratori e la tecnica di scavo del "no dig" per la realizzazione degli elettrodotti di connessione costituiscono le soluzioni tecniche che consentiranno di superare le criticità di tipo geomorfologico, geologico, idrogeologico e di vulnerabilità degli acquiferi descritte in precedenza e di seguito discusse nei seguenti paragrafi.

• *Criticità geomorfologiche*

Le criticità geomorfologiche individuate nel presente studio sono legate alla presenza di dissesti legati alla mobilitazione della coltre superficiale. Tale criticità sarà facilmente superata per la costruzione degli aerogeneratori con la tipologia fondale del tipo plinti su pali. Infatti questa tipologia di struttura fondale utilizza i pali di fondazione gettati in opera per trasferire le tensioni in profondità nel sottosuolo e pertanto garantisce la stabilità delle opere nel tempo e, trasferendo le sollecitazioni degli aerogeneratori in profondità nel sottosuolo, impedisce che le stesse possano innescare dissesti.

Parimenti, installando gli elettrodotti con la tecnica di scavo del "no dig", sarà possibile, una volta completata la campagna di indagini geognostiche, individuare la profondità della formazione di base e progettare lo scavo del cavidotto in modo da passare al di sotto della superficie di scivolamento dei dissesti.

Inoltre, il tracciato del cavidotto intercetta numerosi impluvi che spesso sono in evoluzione geomorfologica ovvero presentano fenomeni di erosione al fondo in quanto devono continuamente adattarsi agli apporti dai versanti. Anche in questo caso, la tecnica di scavo del "no dig" consentirà di risolvere facilmente le interferenze con i corsi d'acqua semplicemente passando a sufficiente profondità al di sotto dei terreni alluvionali o interessati dall'erosione al fondo.

A tal proposito le indagini geognostiche ed in particolare la tomografia elettrica 2D consentiranno di individuare sia la potenza dei depositi alluvionali, sia le eventuali effimere falde di subalveo e progettare così la corretta profondità di scavo.

• *Criticità Geologiche*

Come precedentemente descritto più in dettaglio, le formazioni geologiche in affioramento sono molto eterogenee e questo provocherebbe non pochi problemi con le tecniche di scavo tradizionali per la possibilità di intercettare elementi litoidi tenaci che arrecherebbero difficoltà di scavo (roccia da mina) o al contrario per la difficoltà di contenimento dei fronti di scavo in presenza di terreni incoerenti. Tale criticità verrà superata nella fase di realizzazione delle strutture fondali degli

aerogeneratori utilizzando rivestimenti metallici provvisori di sostegno delle pareti del foro durante la realizzazione dei pali di fondazione. Tale rivestimento verrà estratto immediatamente dopo il getto di calcestruzzo e garantirà sia la regolarità dello scavo (e quindi del palo) evitando scavamenti o interruzioni del getto, sia l'impossibilità di disperdere calcestruzzo nel sottosuolo impedendo allo stesso di intasare volumi di roccia più permeabili. Nel contempo l'utilizzo dei rivestimenti metallici consentirà di non utilizzare altri sistemi più impattanti di sostegno del foro quali i fluidi bentonitici o similari.

Parimenti realizzando gli elettrodotti di connessione con la tecnica di scavo del no dig tutte queste problematiche saranno facilmente superate in quanto la testa di perforazione è in grado di attraversare con eguale efficacia sia terreni lapidei che terreni inconsistenti.

Per la realizzazione delle strutture fondali delle attrezzature da installare nell'area della stazione elettrica di elevazione e nell'area della stazione elettrica di connessione si prediligerà la realizzazione di strutture in fondazione estremamente rigide del tipo platea nervata in grado di ripartire i carichi indotti con la stessa efficacia sia sui litotipi più competenti, sia su quelli più plastici. In alternativa qualora necessario, in funzione dei carichi indotti dalle strutture da realizzare, si potrà optare per fondazioni profonde adottando le stesse precauzioni già descritte per le strutture fondali degli aerogeneratori.

• *Criticità idrogeologiche*

Le criticità di tipo idrogeologico potrebbero essere legate alla possibilità di intercettare lenti o litotipi più permeabili inclusi nelle argille. In questo caso, i litotipi più permeabili potrebbero essere sede di effimere falde stagionali. Parimenti la possibilità di intercettare eventuali falde di subalveo potrebbe costituire una criticità sia per la realizzazione del cavidotto sia per la salvaguardia delle acque sotterranee.

Come nel precedente caso, l'utilizzo dei rivestimenti metallici per il sostegno dei perfori dei pali di fondazione degli aerogeneratori o delle attrezzature da realizzare nella stazione elettrica di connessione, costituiranno la soluzione efficace per impedire il rifluimento di intercalazioni sabbiose sature nei fori di scavo e al contempo impediranno al calcestruzzo di disperdersi nelle acque sotterranee.

Parimenti, perforando il cavidotto con la tecnica del no dig nelle argille della formazione di base le eventuali falde di subalveo non verranno intaccate dagli scavi mentre eventuali intercalazioni sabbiose sature presenti nelle argille saranno attraversate dalla perforazione del cavidotto senza alcun problema di rifluimento di materiali negli scavi.

In entrambi i casi, la tomografia elettrica 2D consentirà di individuare preventivamente la disposizione nel sottosuolo delle intercalazioni più permeabili e la potenza dei depositi fluviali.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sulla base del progetto definitivo è stato stabilito di concerto con l'equipe di progettazione il programma delle indagini, volto a fornire ai progettisti incaricati gli elementi per il calcolo strutturale degli interventi previsti.

5.1 Programma delle Indagini geognostiche previste

Le indagini geognostiche saranno costituite da indagini dirette ed indirette volte sia all'analisi stratigrafica dei litotipi interessati dalle tensioni degli interventi in progetto, sia alla loro caratterizzazione geotecnica, sismica e geoelettrica. Ciò consentirà di individuare la potenza e le caratteristiche elastiche della coltre di alterazione eluvio colluviale e di definire l'entità e la morfologia delle superfici di distacco dei dissesti individuati in modo da poter correttamente progettare gli interventi di stabilizzazione.

La caratterizzazione sismica sarà eseguita tramite l'esecuzione, su più stese geofoniche, di tomografie sismiche a rifrazione, e di sondaggi MASW che consentiranno lo studio delle caratteristiche elastiche del sottosuolo sulla base della velocità con cui lo stesso viene percorso dalle onde sismiche "P" ed "S".

In particolare, la sismica a rifrazione consentirà di ottenere delle sismosezioni verticali al di sotto dello stendimento che permetteranno di individuare le variazioni laterali e verticali delle caratteristiche elastiche del sottosuolo sfruttando la rifrazione delle onde sismiche di pressione "P". L'utilizzo della tecnica MASW consentirà di modellizzare la velocità con cui le onde sismiche "S" percorrono il sottosuolo con la profondità e determinarne la categoria sismica sulla base del calcolo del V_s equivalente ai sensi dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/1/2018.

Si prevede inoltre di eseguire tomografie elettriche 2D che consentiranno di ottenere sezioni verticali 2D che descriveranno la distribuzione dei valori di resistività elettrica nel sottosuolo. Tale tipologia di indagine sarà utile per determinare sia le caratteristiche elettriche del sottosuolo, in modo da poter dimensionare gli impianti di messa a terra, sia per individuare l'eventuale presenza di circolazione idrica sotterranea o per individuare quali litotipi sono presenti al di sotto della coltre detritico eluvio colluviale oltre che per la progettazione degli interventi di stabilizzazione dei dissesti individuati.

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica dei siti dove saranno realizzate le opere a maggior impatto, si prevede di eseguire perforazioni geognostiche in modo da studiare in dettaglio le stratigrafie e prelevare i necessari campioni geognostici sui quali esperire le prove geotecniche di laboratorio. Inoltre in funzione dei litotipi in affioramento, si potranno

integrare le perforazioni con prove penetrometriche dinamiche continue.

5.2 Indagini geognostiche esperite

Con lo scopo di conoscere, già in questa fase di studio, le caratteristiche elastiche e sismiche dei terreni di fondazione con lo scopo di accertare la compatibilità geomorfologica e geologica delle strutture da realizzare, si è provveduto ad eseguire parte delle indagini sismiche previste nel programma delle indagini di cui al paragrafo precedente. In particolare sono state eseguite sei indagini M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) e sei tomografie sismiche a rifrazione.

Le indagini M.A.S.W. hanno permesso di modellizzare la velocità delle onde S con la profondità ottenendo un modello elastico del sottosuolo indispensabile per la caratterizzazione sismica dei terreni ai sensi delle NTC 2018.

Le tomografie sismiche a rifrazione hanno permesso di elaborare sei modelli 2D del sottosuolo che descrivono le variazioni della velocità delle onde elastiche di pressione del sottosuolo. Tramite tali modelli è stato possibile conoscere la disposizione reciproca dei terreni di copertura e della formazione di base e le loro caratteristiche elastiche.

I risultati e gli elaborati grafici della campagna di indagini esperite **nell'area degli aerogeneratori** sono riportati negli elaborati **nn. 2 e 3** allegati mentre i risultati sono **sintetizzati nel seguente capitolo**.

Inoltre per approfondire la conoscenza dei terreni attraversati dal cavidotto di connessione ed interessati dalla costruzione della stazione elettrica di elevazione e di connessione, sono state eseguite misure di conducibilità termica (vedasi allegato n. 4) e due ulteriori indagini M.A.S.W. (vedasi allegato n. 5).

L'ubicazione di tutte le indagini esperite è riportata nell'allegata Planimetria in scala 1:5000 (vedasi allegato 1.5).

6 ANALISI DEI RISULTATI E MODELLO GEOLOGICO E SISMICO PRELIMINARE

L'intersezione dei risultati delle indagini geognostiche esperite con i risultati del rilevamento di superficie ha consentito di ottenere un modello geologico e sismico del sottosuolo e verificare l'entità dei dissesti rilevati e la compatibilità delle opere da realizzare con l'assetto geologico geomorfologico e idrogeologico dell'area in studio

6.1 modello geologico preliminare

Dallo studio geomorfologico e geologico eseguito è emerso che le aree dove si prevede l'installazione degli aerogeneratori sono in predominanza costituiti da litotipi argillosi e argilloso limosi. Tali terreni, esposti agli agenti esogeni, sono soggetti a degradamento chimico, con la formazione di una coltre di spessore variabile ed a fenomeni di erosione a causa della cattiva regimazione delle acque. Le tomografie sismiche esperite, già nell'ambito di questo studio, hanno consentito di valutare lo spessore della coltre superficiale e identificare l'andamento della formazione di base. Le indagini M.A.S.W. hanno fornito un modello elastico del sottosuolo spinto oltre i 30 m di profondità che ha consentito la classificazione sismica del sottosuolo ai sensi delle NTC2018.

In particolare dalle indagini geognostiche esperite è emerso che nel sito in studio è presente uno spessore variabile da 1 m a 2 m di terreno agrario percorso dalle onde sismiche di pressione con valori inferiori a 500 m/s.

Al di sotto di tali terreni è stato riscontrato uno spessore variabile di terreni attraversati dalle onde sismiche di pressione con valori compresi tra 500 m/s e 1200 m/s. Questi terreni sono correlabili con la porzione sommitale della formazione di base.

Ancora più in profondità è stata riscontrata, la formazione di base che è stata attraversata dalle onde sismiche di pressione con valori superiori a 1600 m/s. Come visibile dai risultati delle indagini geognostiche esperite, la formazione di base detiene generalmente migliori caratteristiche reologiche che vanno incrementandosi con la profondità.

Pertanto sulla base delle indagini esperite emerge la compatibilità delle opere in progetto con l'assetto geomorfologico, geologico e idrogeologico dei siti e nel seguente paragrafo 6.3 si individuano, già in questa fase, le soluzioni progettuali più indicate.

6.2 Caratterizzazione sismica preliminare del sottosuolo

Secondo l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/1/2018, NTC2018, il primo passo per la determinazione dell'azione sismica locale consiste nell'ascrivere, secondo l'approccio semplificato, il terreno di fondazione ad una delle "categorie del suolo di fondazione" definite nella tabella 3.2.II al capitolo 3.2.2 della stessa Norma.

Tali categorie sono state definite in funzione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ tale parametro è calcolato secondo la seguente espressione:

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

Dove H è la profondità del substrato mentre h_i e $V_{s,i}$ sono rispettivamente lo spessore ed il valore di velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo. Si fa rilevare che il parametro $V_{s,eq}$ rappresenta una grandezza equivalente, il cui valore risulta, pertanto, diverso da quello che si otterrebbe dalla media ponderata delle velocità dei singoli strati riferita ai rispettivi spessori. L'espressione (1) consente, invece, più appropriatamente, di privilegiare il contributo dei litotipi maggiormente deformabili.

La metodologia M.A.S.W. ha fornito la modellizzazione elastica del sottosuolo in profondità in quanto ha fornito i modelli di distribuzione della velocità media delle onde di taglio S in senso verticale descritti nell'elaborato allegato. Grazie a tali dati è stato possibile calcolare il $V_{s,eq}$ per ogni stendimento MASW eseguito e pertanto ascrivere il terreno di fondazione alla **categoria C** della tabella 3.2.II descritto come:

"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."

Considerato inoltre che i siti in esame si trovano su pendii con inclinazione media spesso superiore ai 15° bisogna tener conto, nell'ambito del calcolo dell'azione sismica, dei valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica descritti nella tabella 3.2.III e pertanto ascriverli alla categoria T2.

6.3 Soluzioni progettuali preliminari

L'intersezione dei risultati del rilievo geologico e geomorfologico e delle indagini geofisiche ha consentito di pervenire già in questa fase preliminare ad una idea progettuale delle strutture in fondazione degli aerogeneratori, del cavidotto e delle attrezzature della stazione in progetto compatibile con l'assetto geomorfologico e geologico dei siti.

Tale idea progettuale vede l'esecuzione di strutture profonde di fondazione per gli aerogeneratori tali da trasferire alla formazione di base, individuata a pochi metri dal piano campagna, i carichi statici e dinamici indotti dagli aerogeneratori stessi senza interessare la coltre superficiale. Inoltre l'esiguo spessore di coltre superficiale sarà facilmente stabilizzata con la realizzazione di fossi di guardia e drenaggi che contribuiranno alla mitigazione dei fenomeni di erosione rilevati.

I cavidotti di connessione degli aerogeneratori con la centrale elettrica di elevazione e di connessione saranno scavati prevalentemente con la tecnica del no-dig pertanto saranno installati all'interno della formazione di base e non risentiranno dei fenomeni geomorfologici che interessano la coltre superficiale.

Infine, per la realizzazione delle strutture fondali delle attrezzature da installare nell'area della stazione elettrica di connessione si prediligerà la realizzazione di strutture in fondazione del tipo diretto estremamente rigide tipo platea nervata in grado di ripartire i carichi indotti con la stessa efficacia sia sui litotipi più competenti, sia su quelli più plastici. In alternativa qualora necessario, in funzione dei carichi indotti dalle strutture da realizzare, si potrà optare per fondazioni profonde del tipo plinto su pali o platea su pali.

7 CONCLUSIONI

Dai rilievi di superficie del sito e del suo intorno, dall'esame di quanto riportato dalla letteratura tecnica specializzata per i terreni riscontrati e sulla base delle indagini geognostiche esperite già in questa fase, è stato possibile pervenire ad una esaustiva valutazione delle condizioni geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche dei siti oggetto di intervento.

In particolare, dal presente studio, si individuano nei siti in esame le condizioni geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche compatibili con la realizzazione dell'impianto eolico in progetto, dell'elettrodotto di connessione e della stazione elettrica di elevazione e di connessione.

Infatti negli elaborati cartografici relativi al Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) si osserva che nelle aree occupate dagli aerogeneratori da realizzare non sono stati censiti dissesti.

In funzione dei carichi indotti sul sedime di fondazione degli interventi da realizzare, considerato quanto esposto nei precedenti capitoli, si dovrà immancabilmente tener conto della locale variabilità laterale e verticale delle caratteristiche reologiche del sito.

In fase esecutiva dovranno essere immancabilmente esperite le indagini geognostiche indirette e dirette e le prove geotecniche in situ ed in laboratorio per la definizione del modello geotecnico di dettaglio indispensabile per il corretto dimensionamento delle strutture fondali delle opere in progetto.

Dal punto di vista geomorfologico e idrogeologico si dovrà, in aggiunta alle indagini geognostiche già esperite, verificare, con ulteriori indagini, l'entità della coltre detritica eluvio colluviale e della coltre di alterazione presente sulle formazioni geologiche, individuandone le caratteristiche idrogeologiche e procedere alla sua stabilizzazione ed alla stabilizzazione di quei dissesti rilevati per impedire che gli stessi, nella loro evoluzione, possano interferire con gli impianti da realizzare. Bisognerà inoltre stabilizzare il profilo di base dei corsi d'acqua la cui evoluzione potrebbe interferire con la stabilità dei versanti ove saranno realizzati gli aerogeneratori.

Da quanto sopra descritto il progetto e gli interventi proposti favoriranno la generale stabilità delle aree in studio grazie alla regimazione dei deflussi e alla stabilizzazione dei versanti. Nel contempo favoriranno l'accessibilità delle aree grazie al ripristino delle originarie vie di accesso per la costruzione e manutenzione degli aerogeneratori. Tali vie, oggi spesso impraticabili, potranno sia essere sfruttate dagli agricoltori e costituiranno anche vie sicure per i mezzi di soccorso ed emergenza.

Termini Imerese, 02/04/2024

Il geologo
Dott. Salvatore Carrubba



Allegato n.1: elaborati cartografici

- 1) Stralcio Topografico in scala 1:10000
- 2) Carte dei Dissesti, della Pericolosità e del Rischio Geomorfologico ed idraulico allegate al Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) con indicazione degli impianti da realizzare e delle interferenze
- 3) Carta Geomorfologica in scala 1:5000
- 4) Carta Geologica in scala 1:5000
- 5) Planimetria con ubicazione indagini esperite in scala 1:5000

NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato: SP16REL006-ALL.1.1_00 Stralcio Topografico

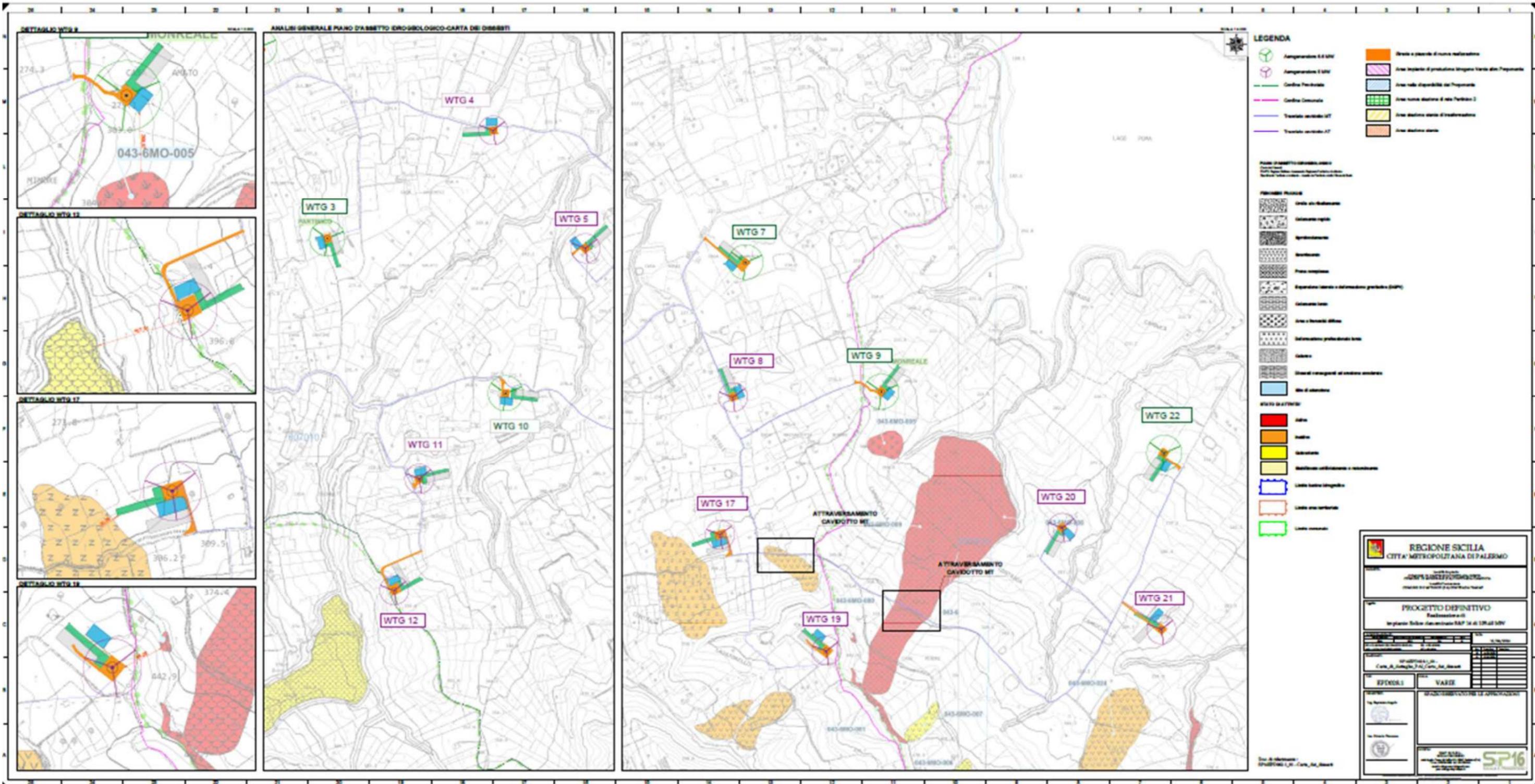
STRALCIO TOPOGRAFICO
SCALA 1:10000
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 m

LEGENDA

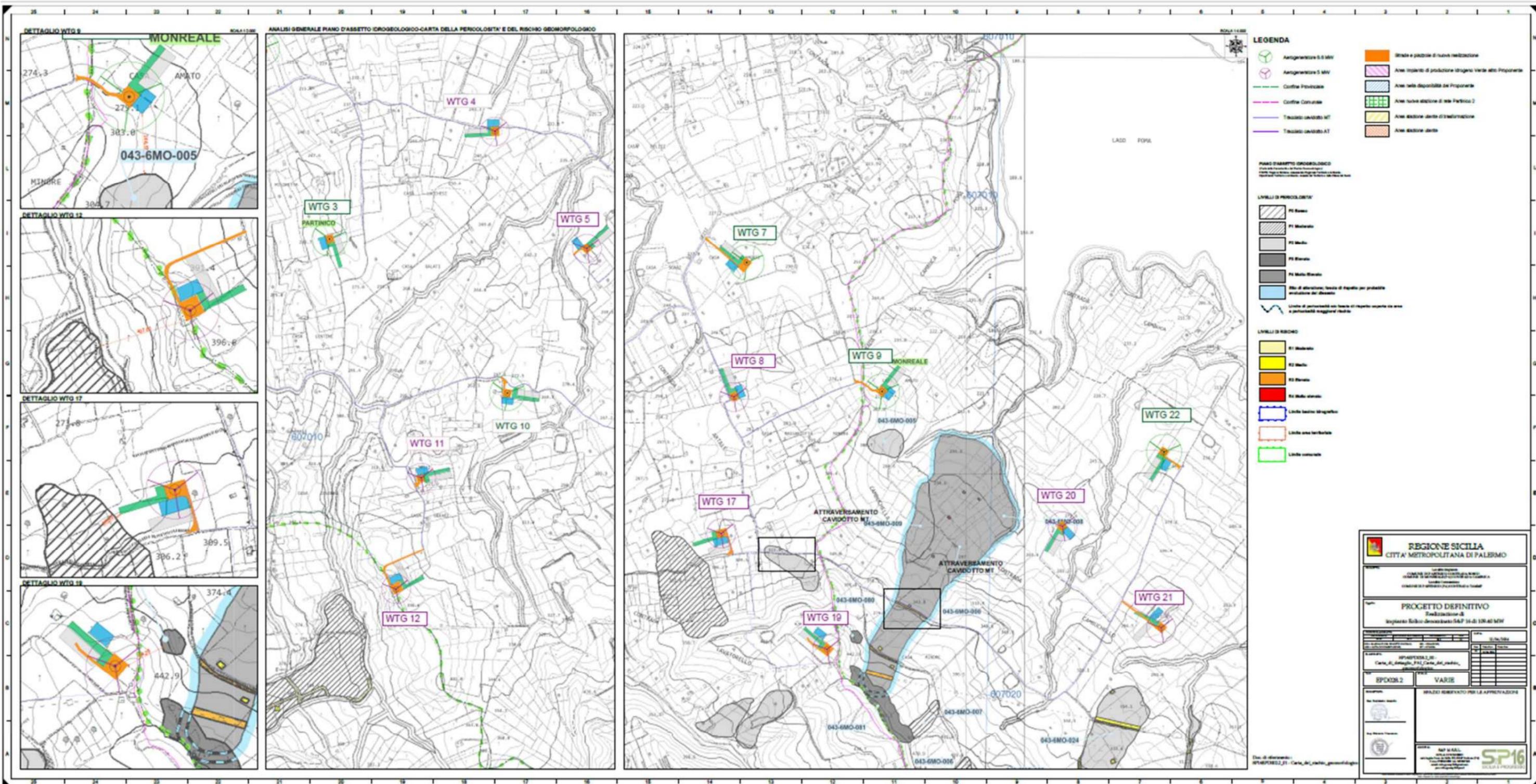
Impianto della SP16	Stazione Libera
Aerogeneratori	Stazione Rete Patrimo2
Stazione di Iniezione	Stazione di Ricezione
Convettore AT	

▲ N

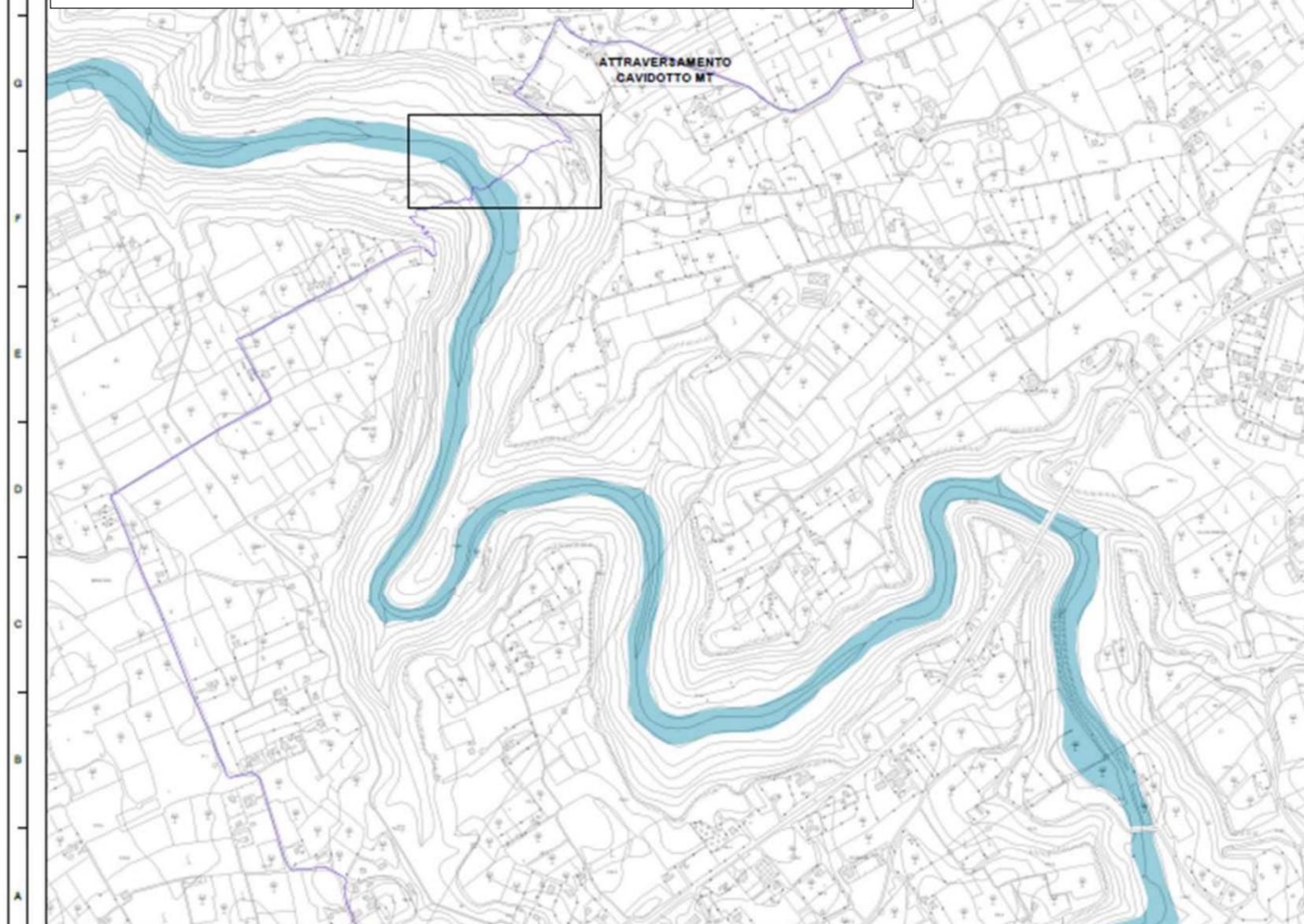
NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato:
 SP16EPD028.1_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_dei_dissesti



NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato: SP16EPD028.2_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_del_rischio_geomorfológico



NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato:
 SP16EPD028.3_00 -
 Carta_di_dettaglio_PAI_
 Carta_della_
 pericolosità_idraulica



LEGENDA

- Aerogeneratore 6.5 MW
- Aerogeneratore 5 MW
- Confine Provinciale
- Confine Comunale
- Tracciato cavidotto MT
- Tracciato cavidotto AT
- Strade e piazzole di nuova realizzazione
- Area impianto di produzione Idrogeno Verde altro Proponente
- Area nella disponibilità del Proponente
- Area nuove stazioni di rete Partitico 2
- Area stazione utente di trasformazione
- Area stazione utente

PIANO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO
 Piano di Assetto Idrogeologico - Carta della Pericolosità e del Rischio Geomorfologico
 Dipartimento Territorio e Ambiente - Comune di Palermo - 2014

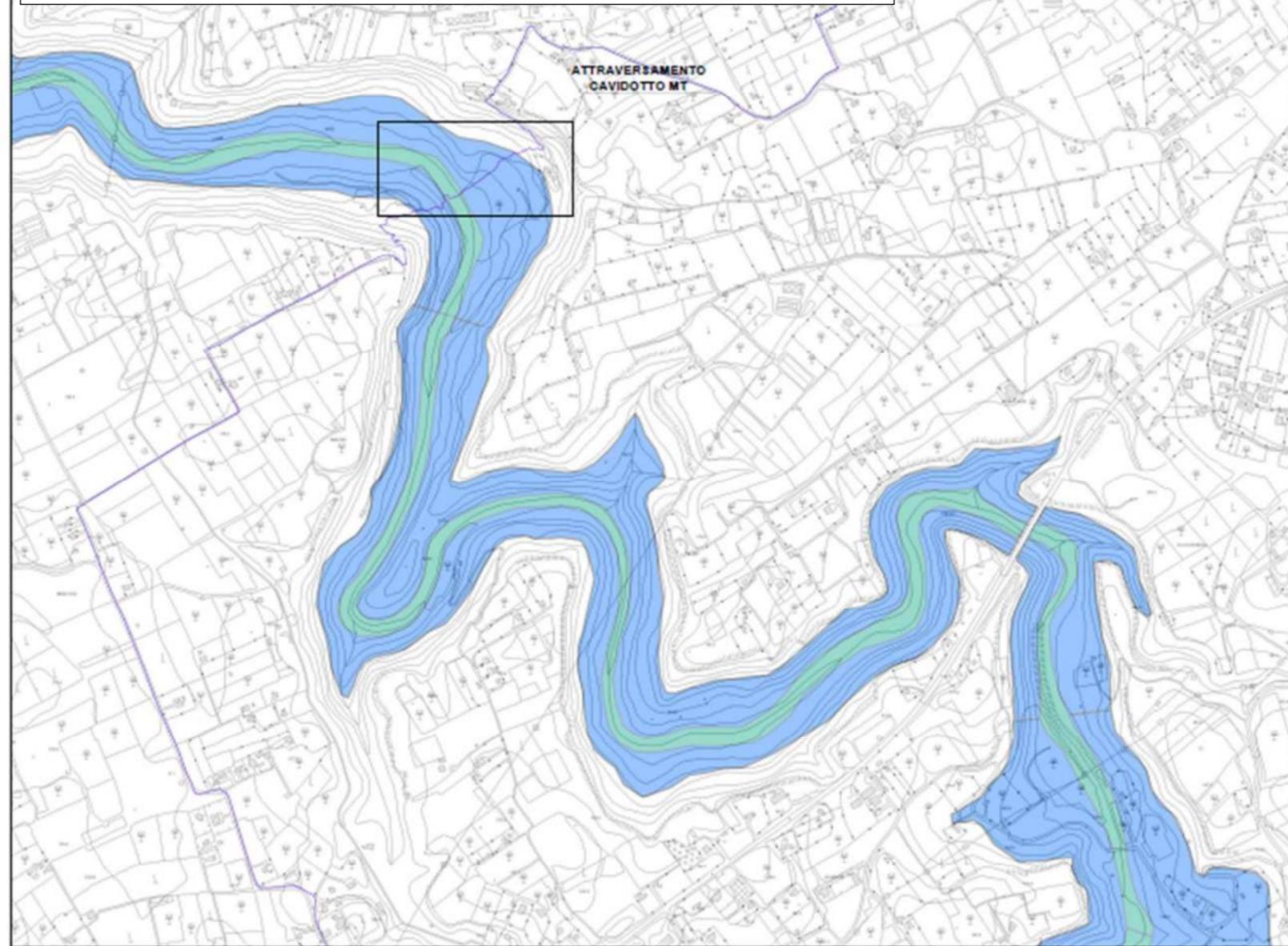
LIVELLI DI PERICOLOSITA'

- P1 Pericolosità molto alta
- P2 Pericolosità alta
- P3 Pericolosità elevata
- P4 Pericolosità molto elevata

Doc. di riferimento:
 SP16EPD028.3_01 - Carta della pericolosità idraulica

		REGIONE SICILIA CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO	
Livello Ingegnere COMUNE DI PARTITICO/CONTRADA NINICO COMUNE DI MESSALIBIA/CONTRADA CAMBIA Livello Commisario COMUNE DI PARTITICO/PA CONTRADA TABARF			
PROGETTO DEFINITIVO			
Realizzazione di impianto Eolico denominato S&P 16 di 109.40 MW			
Data: 12/04/2014 Foglio: 12/04/2014			
SP16EPD028.3_00 Carta di dettaglio PAI Carta della pericolosità idraulica			
EPD028.3	1:4.000		
Ing. Antonio Ingegnere 		SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI	
Ing. Roberto Vizzini 			
S&P 16 S.R.L. Via S. Maria Maddalena, 10 90133 Palermo, Italia Tel. 091 2311111 www.sap16.it			

NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato: SP16EPD028.4_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_del_rischio_esondazione



LEGENDA

- Aerogeneratore 5.5 MW
 - Aerogeneratore 5 MW
 - Confine Provinciale
 - Confine Comunale
 - Tracciato cavidotto MT
 - Tracciato cavidotto AT
 - Strade e piazzole di nuova realizzazione
 - Aree Impianto di produzione Idrogeno Verde altro Proponente
 - Aree nella disponibilità del Proponente
 - Aree nuove stazioni di rete Patricio 2
 - Aree stazione utenti di trasformazione
 - Aree stazione utenti
- PIANO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO**
Area di rischio esondazione
 Piano di gestione del rischio esondazione
 Piano di gestione del rischio esondazione
 Piano di gestione del rischio esondazione
- Memoria scario
 - Collasso

Doc. di riferimento : SP16EPD028.4_01 - Carta_del_rischio_esondazione

REGIONE SICILIA CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO									
Comune di Partinico (CANTINATA NUOVA) Comune di Monreale (S. AL CONFRATE CARABICA) Comune di Partinico (S. AL CONFRATE TARDI)									
PROGETTO DEFINITIVO Realizzazione di impianto Eolico denominato SAP 16 di 109.40 MW									
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2">Data: 11/04/2024</td> </tr> <tr> <td>Autore:</td> <td>SP16EPD028.4_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_del_rischio_esondazione</td> </tr> <tr> <td>Titolo:</td> <td>EPD028.4</td> </tr> <tr> <td>Scala:</td> <td>1:4.000</td> </tr> </table>		Data: 11/04/2024		Autore:	SP16EPD028.4_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_del_rischio_esondazione	Titolo:	EPD028.4	Scala:	1:4.000
Data: 11/04/2024									
Autore:	SP16EPD028.4_00 - Carta_di_dettaglio_PAI_Carta_del_rischio_esondazione								
Titolo:	EPD028.4								
Scala:	1:4.000								
Ing. Ing.									
SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI									

CARTA GEOMORFOLOGICA
Dispositivi di connessione

SCALA 1:5000
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m

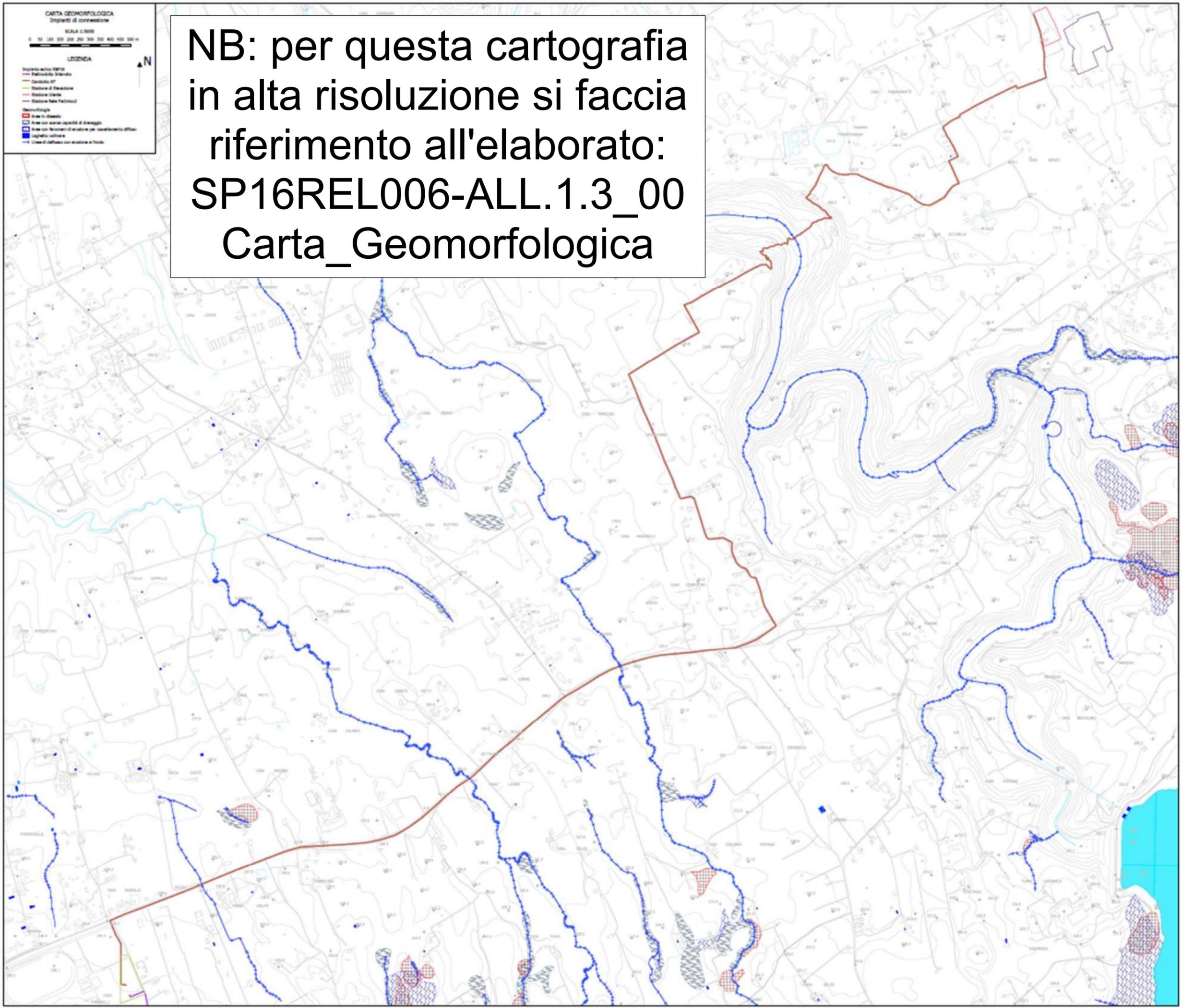
LEGENDA

- Struttura della rete idrica
- Struttura idrica
- Canali AT
- Stazione di rilevazione
- Stazione di controllo
- Stazione Rete Idrica

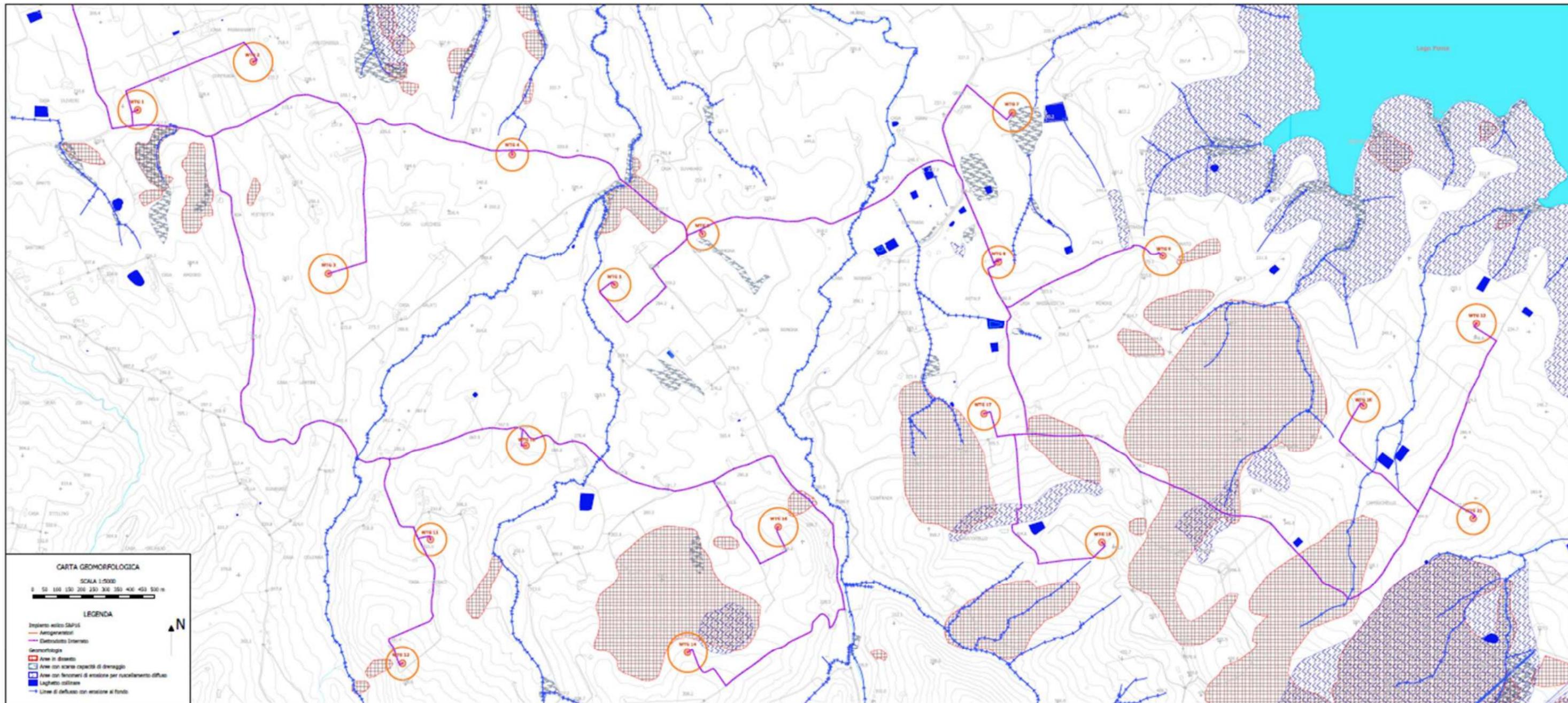
Demografia

- Area in studio
- Area con valore capacità di stoccaggio
- Area con funzione di riserva per insediamento urbano
- Loggia urbana
- Linea di difesa con esazione di fondo

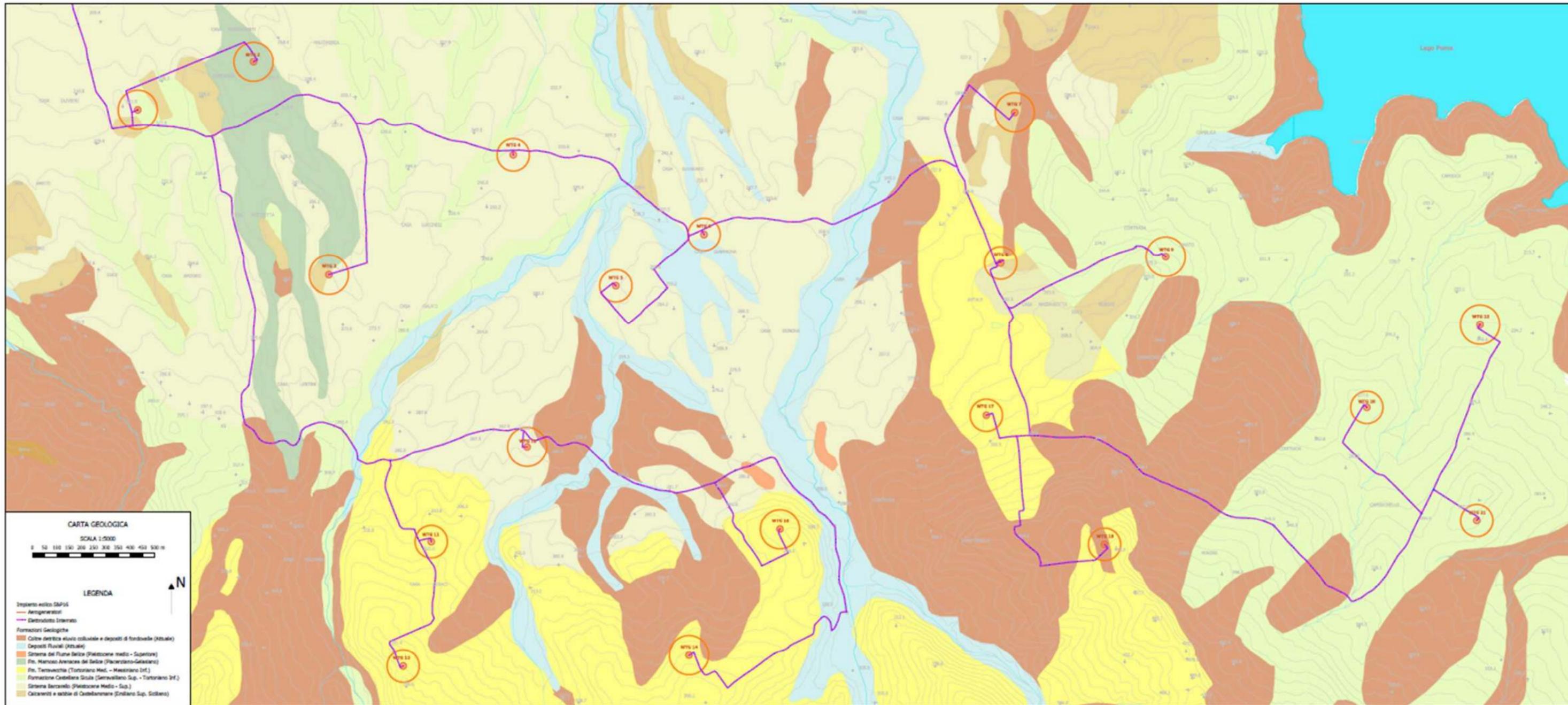
NB: per questa cartografia
in alta risoluzione si faccia
riferimento all'elaborato:
SP16REL006-ALL.1.3_00
Carta_Geomorfologica

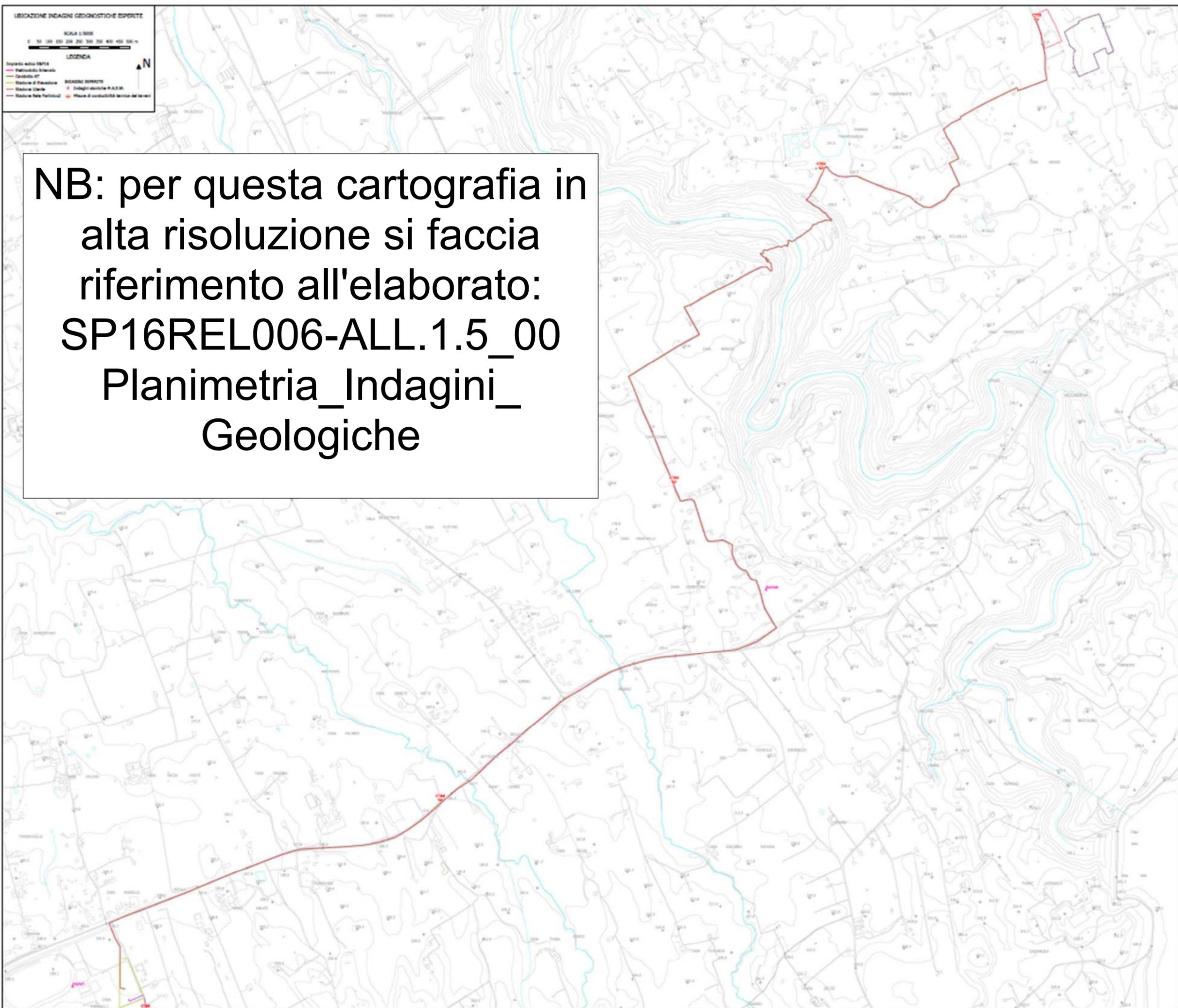


NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento
all'elaborato:
SP16REL006-ALL.1.3_00 Carta_Geomorfologica



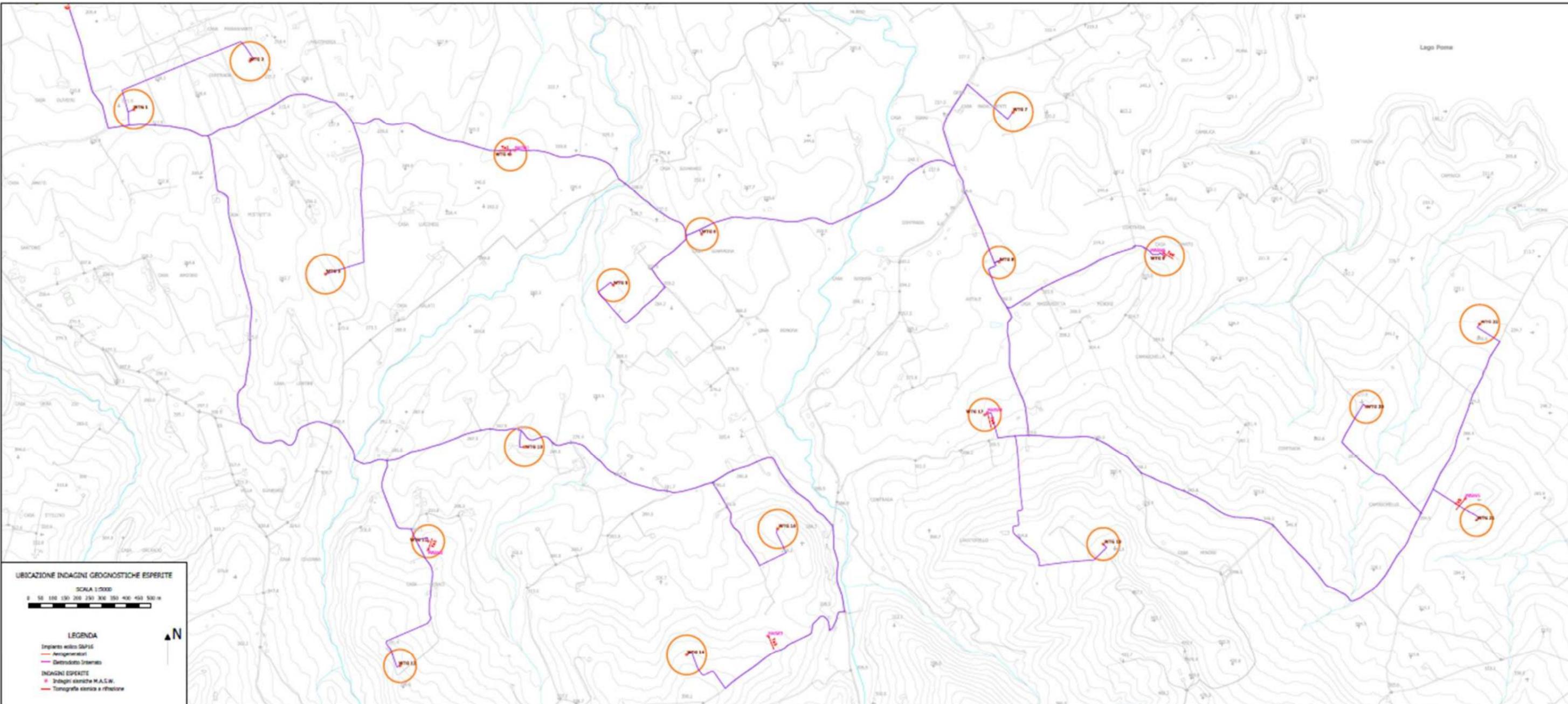
NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato: SP16REL006-ALL.1.4_00Carta_Geologica





**NB: per questa cartografia in
alta risoluzione si faccia
riferimento all'elaborato:
SP16REL006-ALL.1.5_00
Planimetria_Indagini_
Geologiche**

NB: per questa cartografia in alta risoluzione si faccia riferimento all'elaborato: SP16REL006-ALL.1.5_00 Planimetria_Indagini_Geologiche



Allegato n.2:

Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche tomografiche.

1 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

1.1 Premessa

La tomografia sismica a rifrazione analizza il sottosuolo mediante lo studio degli effetti che le onde elastiche, generate dalla percussione della mazza su un piattello di battuta, producono attraversando rocce con caratteristiche elastiche differenti. Le onde, attraversando queste discontinuità, sono sottoposte al fenomeno della rifrazione e, secondo opportune geometrie, possono risalire in superficie, essere intercettate dai geofoni e registrate dal sismografo.

1.2 Descrizione del metodo d'indagine

I sondaggi sismici a rifrazione sono stati eseguiti con un sismografo Dolang JEA Telemetry 24 bit, gestito da un computer portatile, con 24 canali di acquisizione simultanea, a elevata risoluzione e controllo automatico del guadagno indipendente per ogni canale. Peculiarità dell'attrezzatura utilizzata è che essa è dotata di 24 convertitori analogico/digitali indipendenti a 24 bit racchiusi in moduli JEA che vengono disposti lungo lo stendimento in prossimità dei geofoni e collegati tra loro con un cavo telemetrico.

Pertanto il segnale elettrico generato da ogni geofono viaggia singolarmente con un cavo schermato dedicato, lungo pochi metri, sino a raggiungere il modulo JEA più vicino. Ogni modulo JEA contiene al suo interno due convertitori analogico digitali e pertanto il segnale elettrico generato dal geofono, appena giunto nei vari moduli, viene campionato e convertito in segnale digitale e, da quel punto in poi, viaggia in digitale su cavi telemetrici sino a raggiungere il computer portatile. Il grande vantaggio di tale sistema sta nella versatilità che consente di ubicare gli stendimenti in qualsiasi configurazione anche tridimensionale. Inoltre la qualità del segnale generato dai geofoni viene preservata poichè il segnale generato da ogni geofono viene immediatamente convertito in segnale digitale nei pressi del geofono stesso.

Di seguito si riportano le caratteristiche del sistema utilizzato:

- *frequenza di campionamento (sample rate) da 0,000031 s a 0,032000 s;*
- *filtri Notch, Low cut e High cut normalmente esclusi e attivabili solo in manuale;*
- *"Automatic Gain Control" indipendente per ogni canale di acquisizione;*
- *24 convertitori A/D a 24 bit disposti lungo lo stendimento;*
- *24 geofoni del tipo verticale con frequenza naturale pari a 4.5 Hz con ampio range di risposta lineare in frequenza;*
- *energizzazione tramite mazza strumentata da 10 kg dotata di starter e piattello di battuta collegata al sismografo per la comunicazione e trasmissione del "tempo zero".*

1.3 Configurazione tipo dello stendimento utilizzato

La configurazione tipo degli stendimenti utilizzati è stata costituita da una stesa geofonica costituita da 24 geofoni verticali. Su ogni stesa geofonica sono stati eseguiti da 4 a 7 punti di energizzazione, inoltre su ogni punto di scoppio sono state eseguite numerose energizzazioni ed i segnali registrati in ogni punto di scoppio sono stati analizzati sia singolarmente che eseguendo le operazioni di "stacking". L'energizzazione è stata eseguita in senso verticale battendo la mazza verticalmente sul piattello di battuta posizionato sul piano campagna.

1.4 Elaborazione dei dati

La prima e più importante fase dell'elaborazione è consistita nel riconoscere, sulla traccia di registrazione di ogni singolo geofono, i tempi di percorrenza impiegati dai fronti d'onda per giungere dal punto di energizzazione sino ai vari geofoni. Tale tempo è stato riportato sull'asse delle ordinate di un grafico (tempo – distanze) con scale lineari, mentre, sull'asse delle ascisse dello stesso grafico è stata riportata l'ubicazione dei singoli geofoni sulla progressiva dello stendimento con indicazione del suo codice identificativo. Il diagramma così ottenuto, è chiamato dromocrona. L'analisi delle spezzate costituenti la dromocrona ha permesso di modellizzare l'andamento degli orizzonti rifrattori e le velocità che le onde sismiche assumono percorrendoli.

Le dromocrone sono state elaborate con l'interpretazione tomografica utilizzando l'algoritmo di inversione tomografica SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) che è in grado di gestire qualsiasi geometria di stendimento, situazioni topografiche complesse e forti anisotropie nel sottosuolo.

Tale algoritmo è un algoritmo iterativo, ovvero il sottosuolo al di sotto dello stendimento viene suddiviso in celle elementari chiamate pixel, ad ognuna delle quali viene assegnato un valore iniziale di velocità generando così il modello di partenza. Il modello di inversione calcola quindi la dromocrona associata a tale modello e la confronta con quella sperimentale. A questo punto l'algoritmo di elaborazione modifica i valori di velocità associati inizialmente ad ogni pixel per ottenere, per iterazioni successive, una dromocrona che si adatti al meglio alla dromocrona sperimentale basata sui dati acquisiti. Peculiarità di tale algoritmo è la totale indipendenza del modello generato dal modello iniziale.

Inoltre, tale algoritmo tiene in considerazione il reale percorso dell'onda sismica nell'attraversare il sottosuolo e pertanto fornisce una sezione tomografica a mappe di colore che evidenzia soltanto la zona realmente attraversata dalle onde sismiche generate dalla superficie.

1.4.1 Presentazione dei risultati

I risultati di tale processo di elaborazione sono di seguito riportati tramite due schede per ogni sondaggio. Pertanto, per ogni sondaggio esperito, la prima scheda riporta i dati geometrici dello stendimento, alcune fotografie dello stendimento, la curva tempi – distanze (dromocrona) e la relativa orientazione rispetto ai punti cardinali. La seconda scheda riporta invece la sezione sismostratigrafica ottenuta con l'elaborazione tomografica eseguita utilizzando l'algoritmo di inversione tomografica SIRT. Su tale seconda scheda sono riportati i valori numerici che descrivono la qualità dell'inversione e una scala colore con i range di velocità delle onde "P" modellizzati.

La posizione dei geofoni e dei punti di scoppio è stata rilevata in situ con tecniche topografiche e tali dati sono stati inseriti in tutti i processi di elaborazione.

Gli assi delle ordinate di tutti i grafici di seguito rappresentati riportano le profondità da piano campagna. Gli assi delle ascisse di tutte le sismosezioni elaborate riportano invece le progressive in pianta lungo la linea dello stendimento.

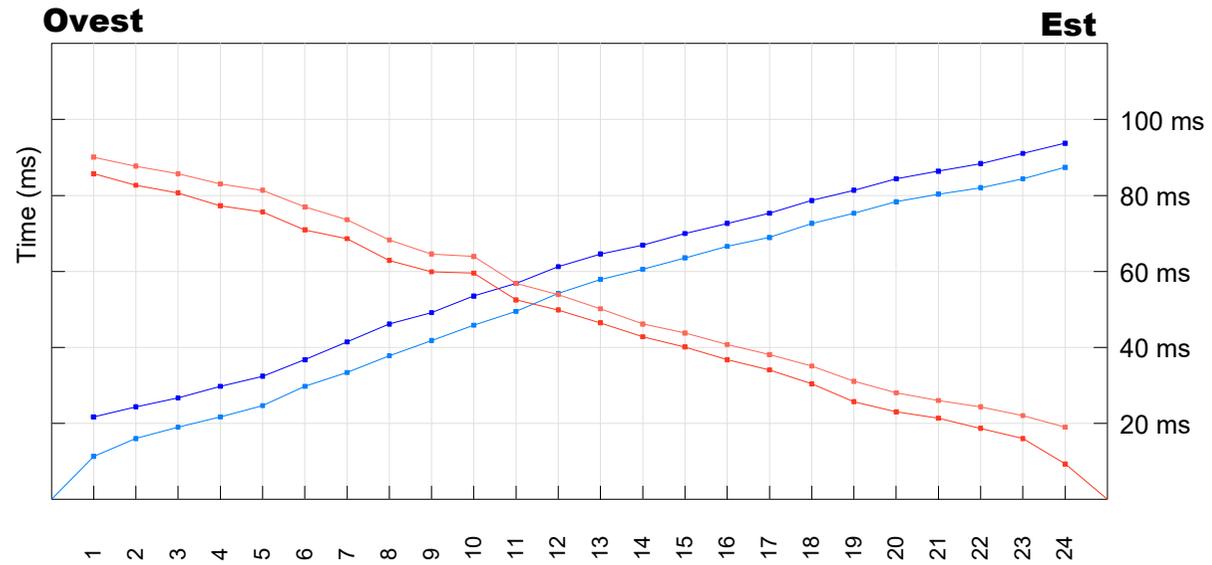
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS1

Distanza intergeofonica media: 2.5 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 62.5 m
Offset shot - Offset shot: 72.5 m

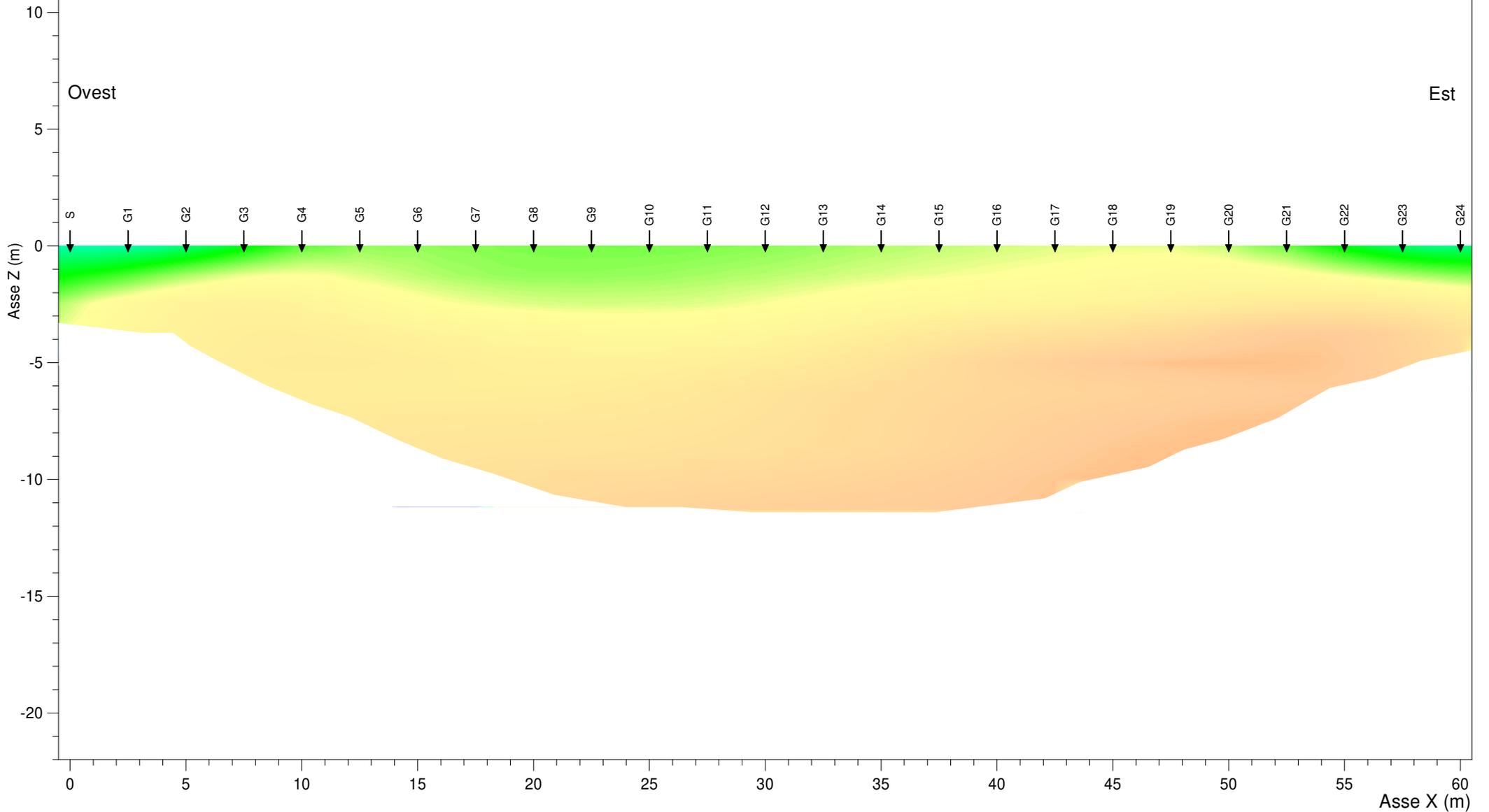
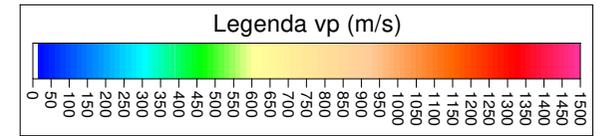


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts1

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.42 ms
Total timedifference: -0.05 ms
RMS deviation: 1.80
nr. of identical positions: 96 of max. 96



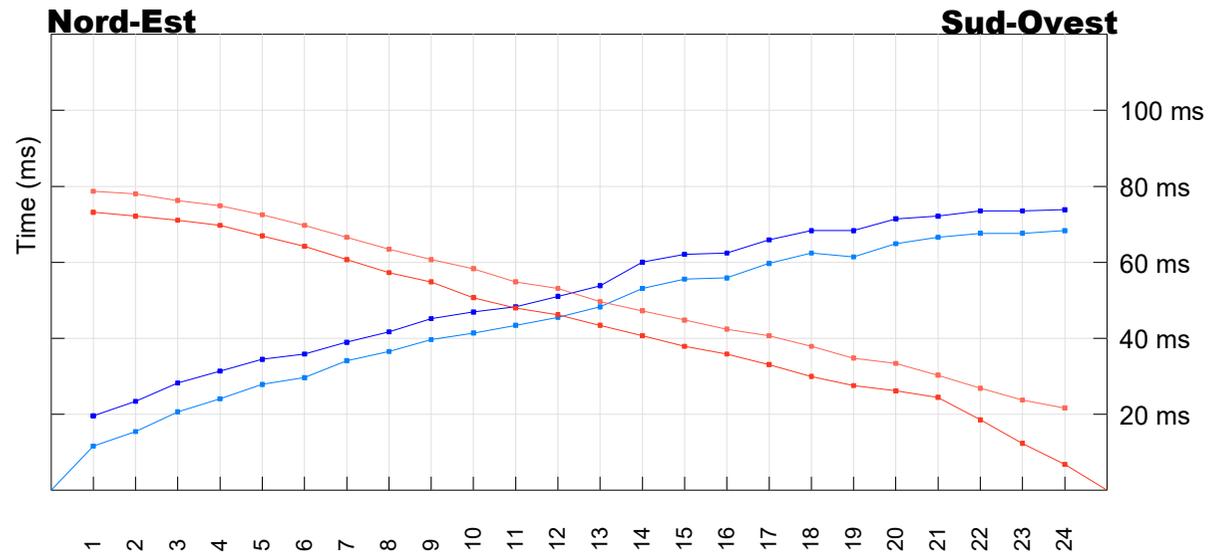
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS2

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 48 m
Offset shot - Offset shot: 60 m

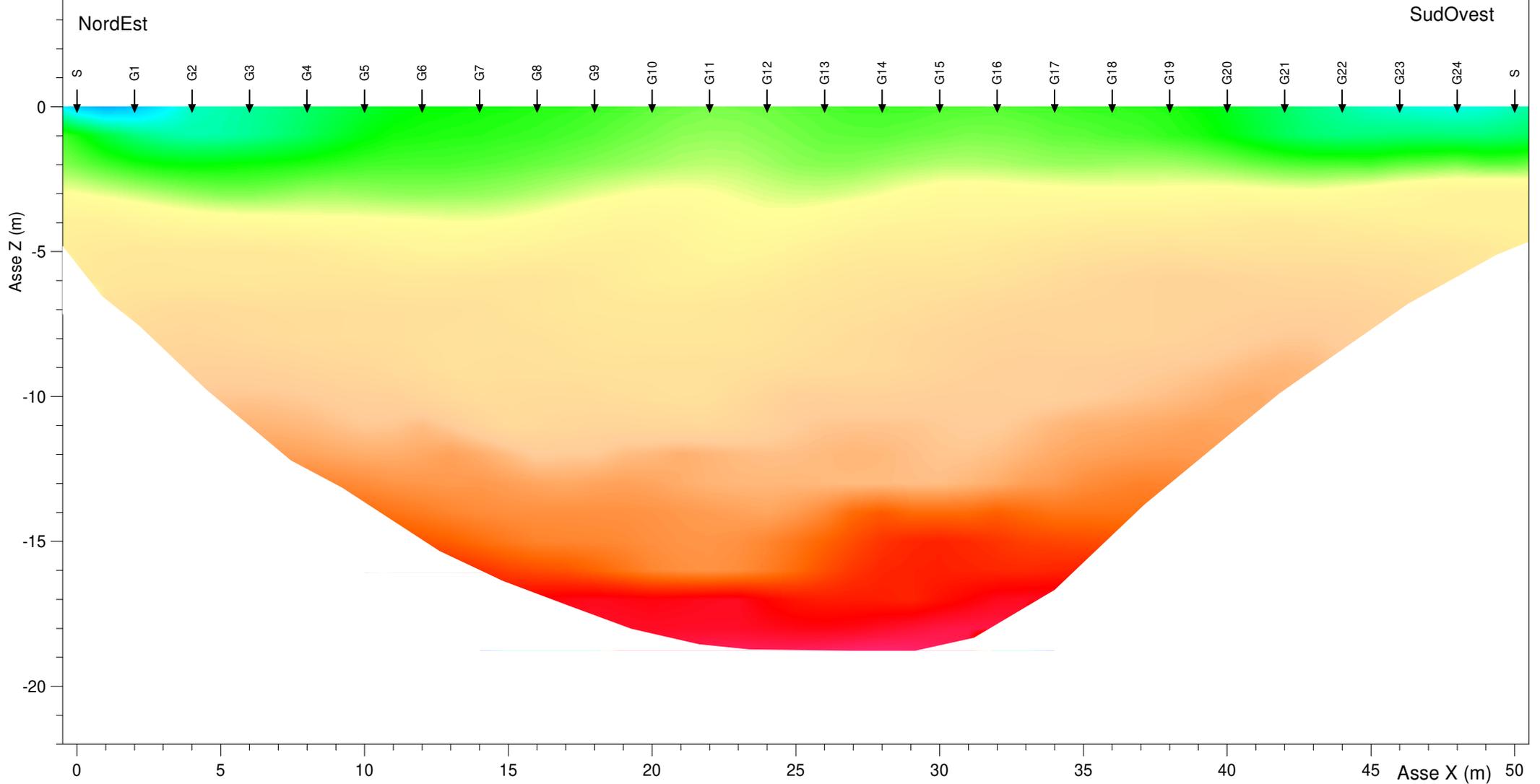
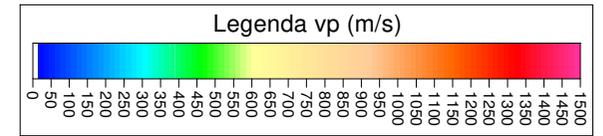


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts2

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.54 ms
Total timedifference: 0.06 ms
RMS deviation: 1.80
nr. of identical positions: 96 of max. 96



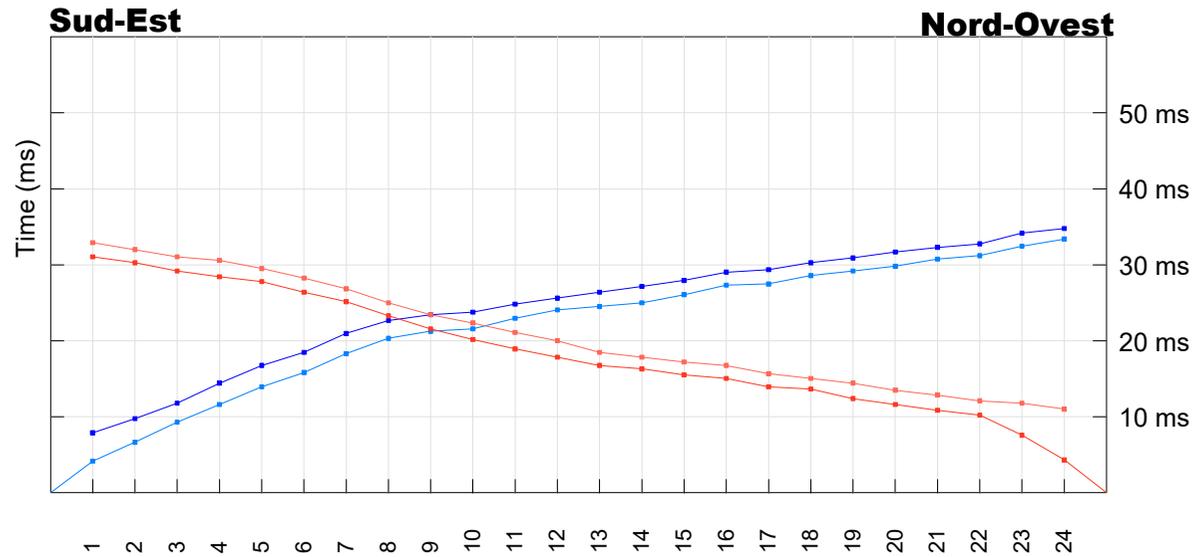
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS3

Distanza intergeofonica media: 2.5 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 62.5 m
Offset shot - Offset shot: 71.5 m

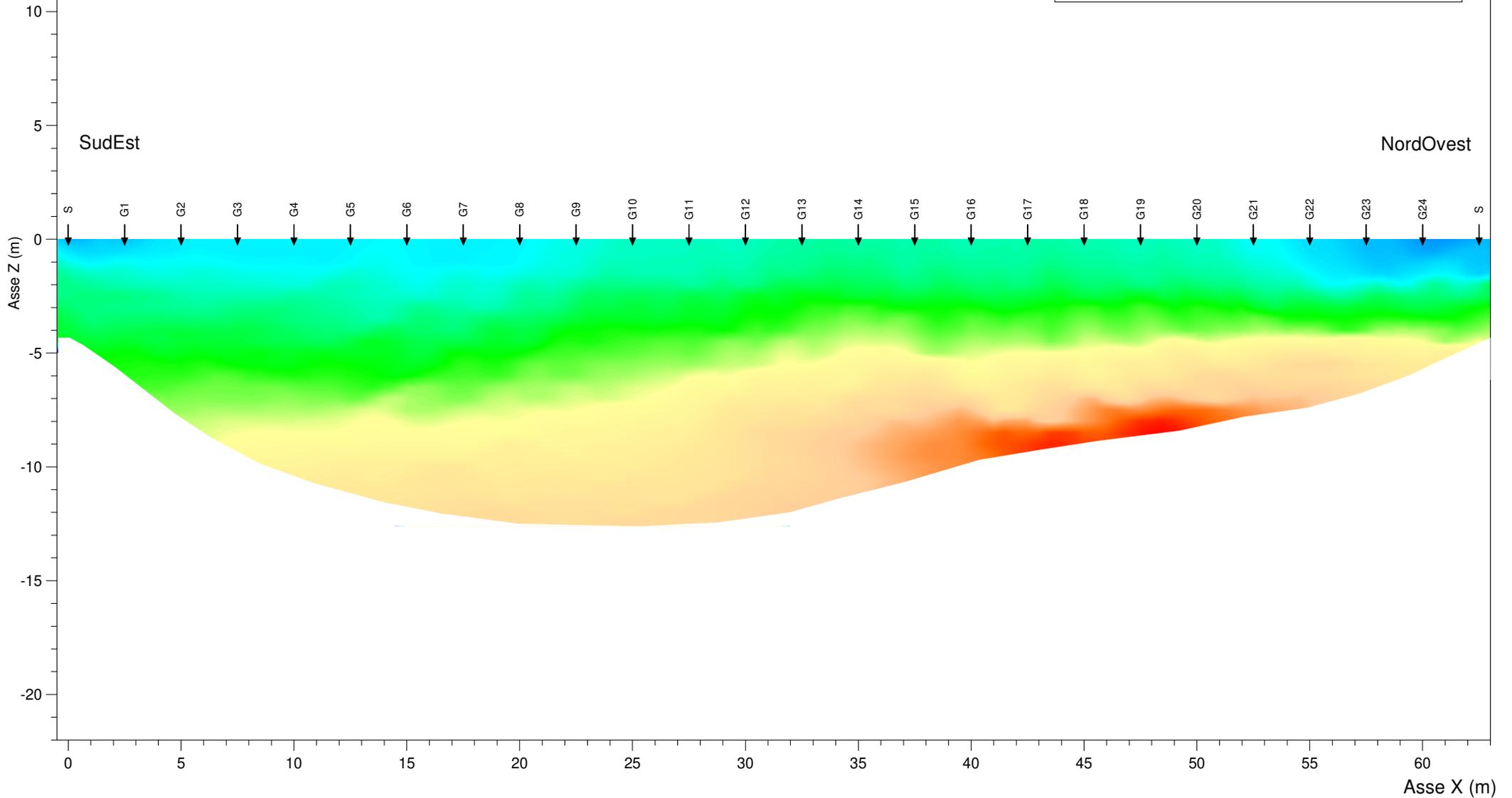
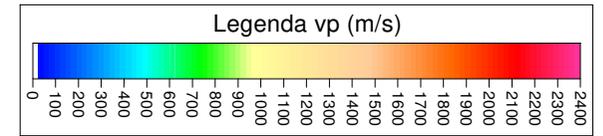


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts3

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.17 ms
Total timedifference: 0.33 ms
RMS deviation: 1.44
nr. of identical positions: 96 of max. 96



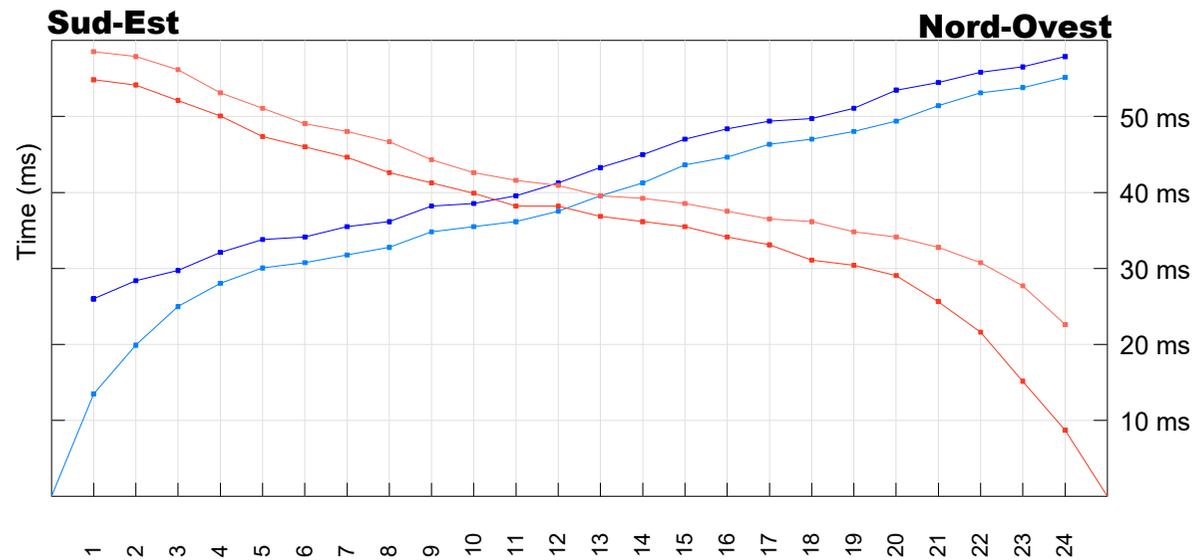
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS4

Distanza intergeofonica media: 2.5 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 62.5 m
Offset shot - Offset shot: 72.5 m

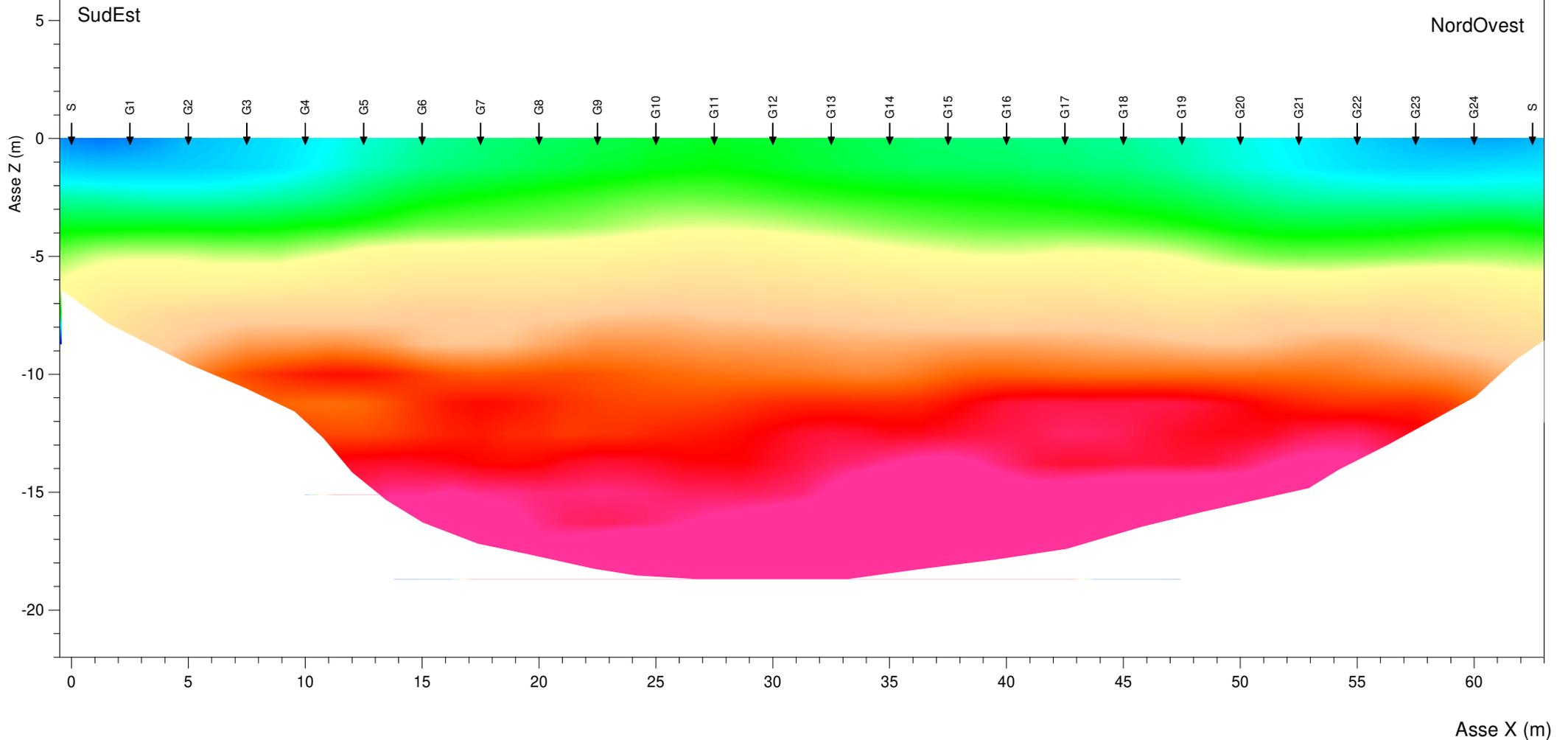
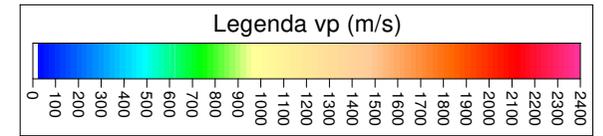


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts4

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 0.99 ms
Total timedifference: -0.12 ms
RMS deviation: 1.25
nr. of identical positions: 96 of max. 96



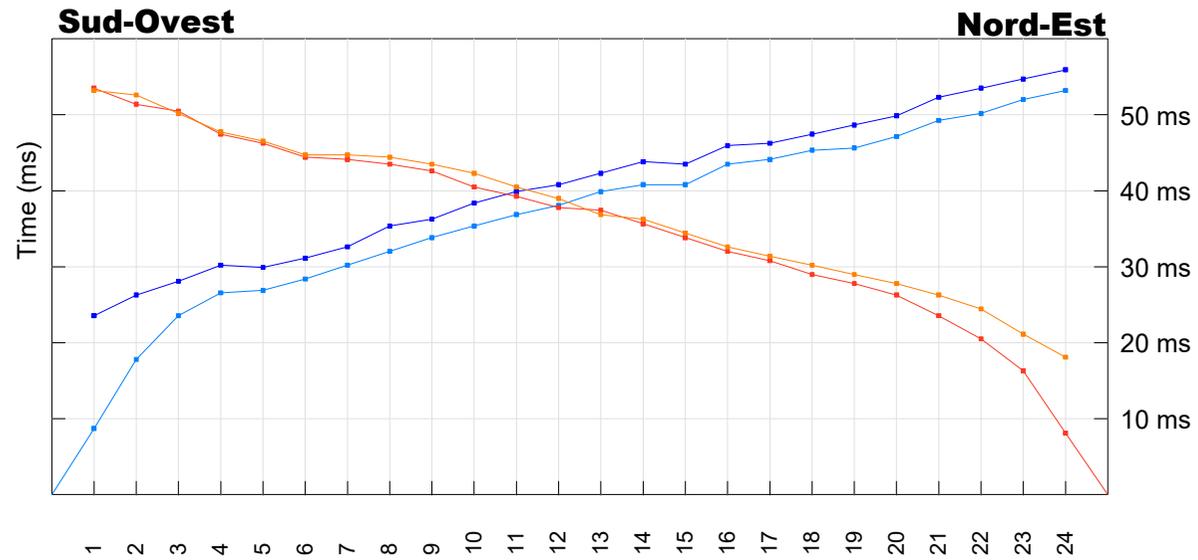
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS5

Distanza intergeofonica media: 2.5 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 62.5 m
Offset shot - Offset shot: 72.5 m

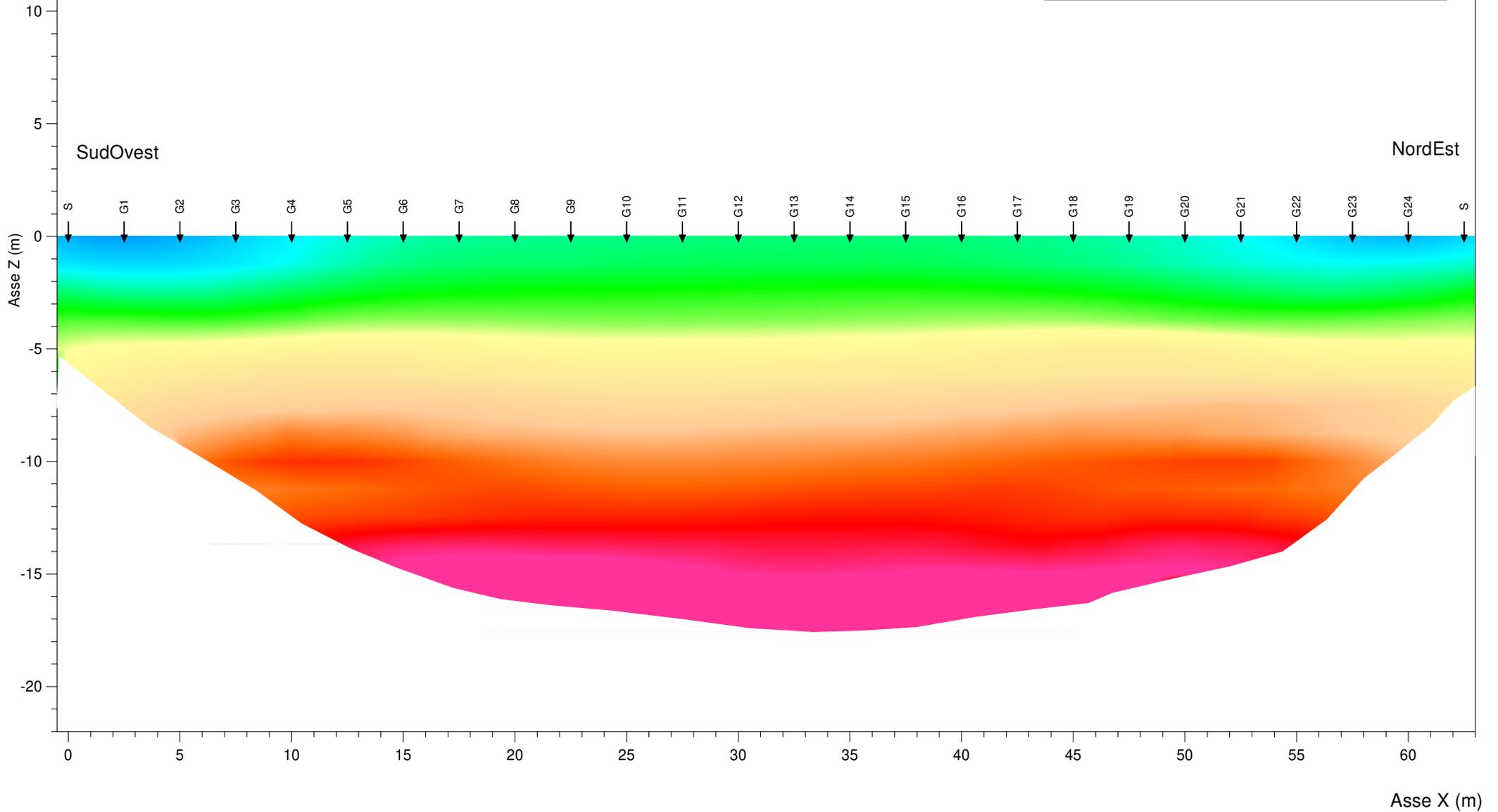
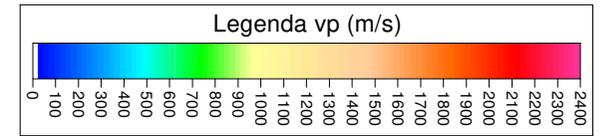


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts5

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 0.78 ms
Total timedifference: 0.17 ms
RMS deviation: 1.14
nr. of identical positions: 96 of max. 96



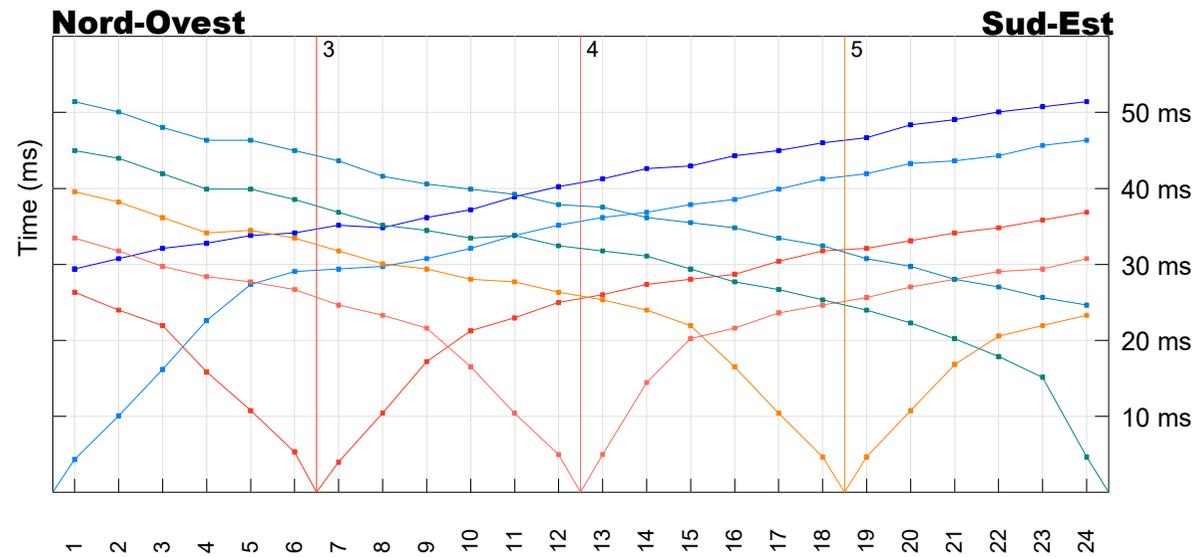
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS6

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 48 m
Offset shot - Offset shot: 60 m

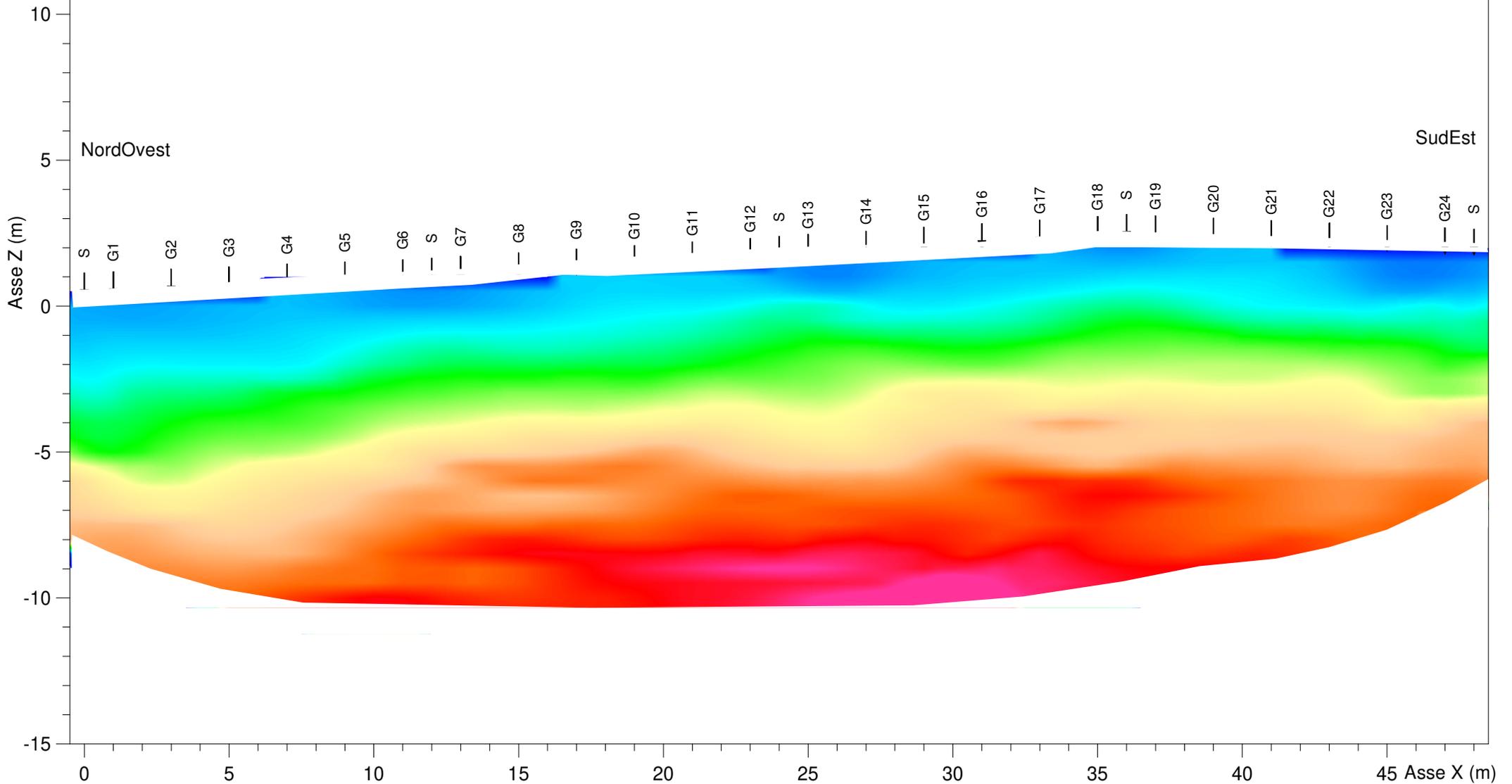
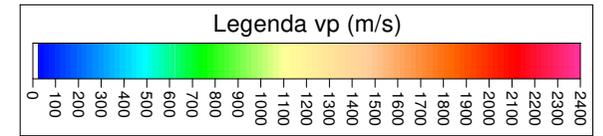


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts6

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.12 ms
Total time difference: 0.51 ms
RMS deviation: 1.49
nr. of identical positions: 168 of max. 168



Allegato n.3:

Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche M.A.S.W..

1 INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

1.1 Premessa

La metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di modellizzare la velocità delle onde S con la profondità sfruttando la correlazione che le stesse hanno con le onde superficiali che, a differenza delle S, posseggono molta più energia e risultano essere quindi molto più facili da campionare.

1.2 Descrizione del metodo d'indagine

La tecnica M.A.S.W. rientra tra le tecniche di sismica attiva, ovvero il sottosuolo viene energizzato dalla superficie generando onde sismiche che si propagano nell'interfaccia suolo aria con diverse frequenze. Maggiore è la lunghezza dell'onda generata e campionata maggiore sarà la profondità d'indagine raggiunta. Il range di frequenze analizzato è abbastanza ampio e quindi la frequenza di campionamento deve essere sufficientemente elevata e la registrazione sufficientemente lunga ecco perché i sismografi di ultima generazione con convertitori analogico digitali a 24 bit indipendenti per ogni canale risultano essere l'ideale per l'acquisizione dei sismogrammi.

L'acquisizione è stata eseguita con un sismografo Dolang Jea Telemetry 24 bit, gestito da un computer portatile, con 24 canali di acquisizione simultanea, a elevata risoluzione e con convertitori analogico digitale sincronizzati ed indipendenti per ogni canale. I geofoni utilizzati sono stati del tipo verticale a 4,5 Hz e l'energizzazione è stata ottenuta tramite una mazza da 10 kg dotata di starter e piattello di battuta. I dati acquisiti sono stati, in una prima fase, pretrattati per diminuire i disturbi e migliorare il rapporto segnale rumore, successivamente sono stati analizzati contemporaneamente nel dominio spettrale FK (Dominio Frequenza – Numero d'onda). Il fatto di non avere utilizzato una sorgente monocromatica ha permesso di poter determinare un modello di velocità di propagazione delle onde superficiali. Dal quale è stato poi ricavato, per iterazioni successive, il modello di velocità delle onde di superficie che meglio fitta i dati sperimentali cui è legato un modello di velocità delle onde S nel sottosuolo.

I modelli di calcolo oggi disponibili permettono di poter estrapolare il modo fondamentale dai modi superiori permettendo in questo modo, di superare anche i problemi di risonanza che, sino a poco tempo fa, nascondendo il modo fondamentale, portavano a gravi errori nell'interpretazione dei dati. Inoltre, in fase di elaborazione, è stato anche possibile inserire, nel modello di elaborazione, i dati ricavati dalla sismica a rifrazione eseguita sullo stesso stendimento migliorando di molto il dettaglio dell'indagine. Nelle schede di seguito riportate è visibile il sismogramma analizzato, lo spettro FK su cui è stato riconosciuto il modo fondamentale (in giallo) ed i modi superiori (in azzurro), la curva di

dispersione frequenza – velocità dei dati sperimentali (in magenta) con sovrapposta la curva del modello (in blu) ed i modi superiori (in azzurro).

Infine, più a destra è stata riportata la rappresentazione grafica del modello del sottosuolo che descrive lo spessore e la velocità delle onte S di ogni singolo sismostrato.

1.3 calcolo del velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$

Secondo l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/1/2018, NTC2018, il primo passo per la determinazione dell'azione sismica locale consiste nell'ascrivere, secondo l'approccio semplificato, il terreno di fondazione ad una delle "categorie del suolo di fondazione" definite nella tabella 3.2.II al capitolo 3.2.2 della stessa Norma.

Tali categorie sono state definite in funzione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ tale parametro è calcolato secondo la seguente espressione:

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

Dove H è la profondità del substrato mentre h_i e $V_{s,i}$ sono rispettivamente lo spessore ed il valore di velocità delle onde di taglio dello strato -iesimo. Si fa rilevare che il parametro $V_{s,eq}$ rappresenta una grandezza equivalente, il cui valore risulta, pertanto, diverso da quello che si otterrebbe dalla media ponderata delle velocità dei singoli strati riferita ai rispettivi spessori. L'espressione (1) consente, invece, più appropriatamente, di privilegiare il contributo dei litotipi maggiormente deformabili.

Tramite i modelli di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo, ottenuti grazie alle indagini M.A.S.W. eseguite, è stato calcolato il V_s equivalente riportato nella seguente tabella n. 1 ed utilizzato per la caratterizzazione sismica preliminare del sottosuolo trattata nel capitolo 6.2.

Tabella n. 1 calcolo del V_s equivalente	
M.A.S.W. 1	$V_{s,eq} = 323 \text{ m/s}$
M.A.S.W. 2	$V_{s,eq} = 359 \text{ m/s}$
M.A.S.W. 3	$V_{s,eq} = 234 \text{ m/s}$
M.A.S.W. 4	$V_{s,eq} = 277 \text{ m/s}$
M.A.S.W. 5	$V_{s,eq} = 322 \text{ m/s}$
M.A.S.W. 6	$V_{s,eq} = 273 \text{ m/s}$

M.A.S.W. 1

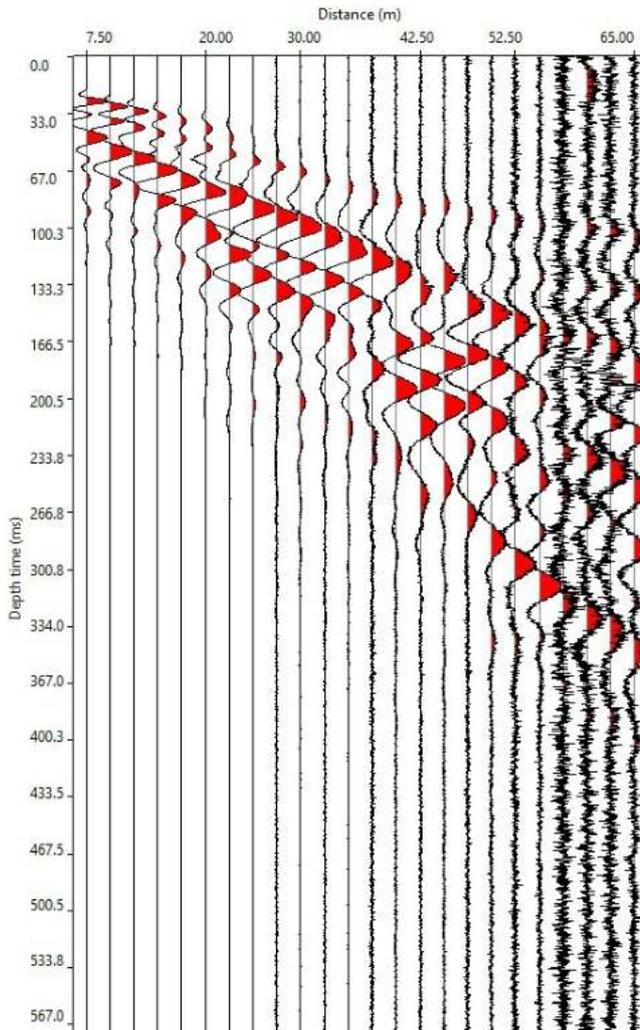
Distanza punto d'energizzazione: 7.5 m

Lunghezza stendimento: 57.5 m

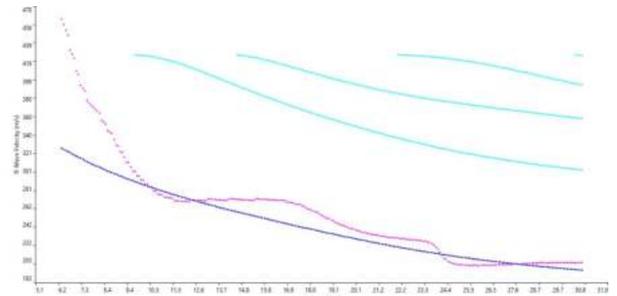
Distanza intergeofonica: 2.5 m



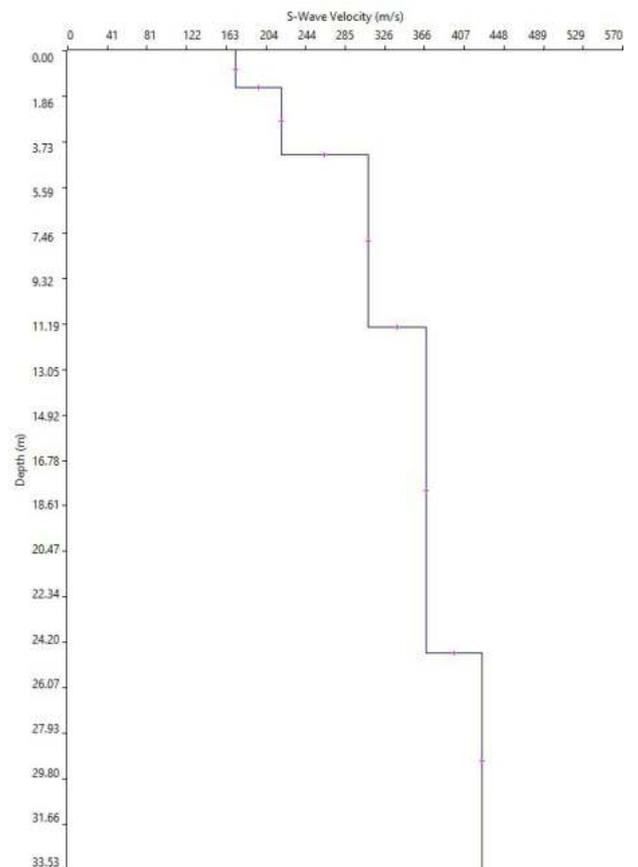
Sismogramma



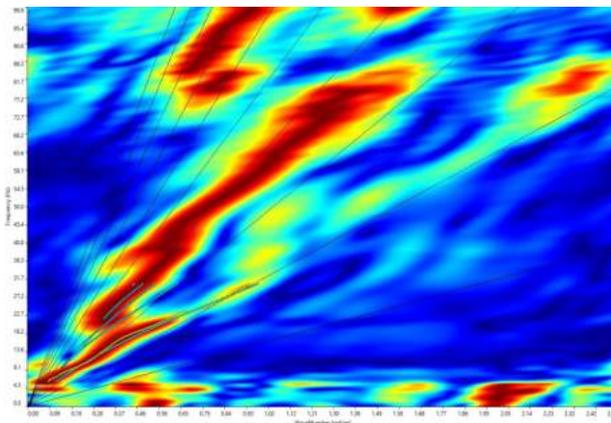
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K

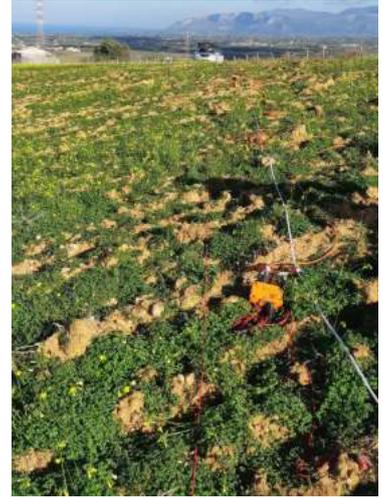


M.A.S.W. 2

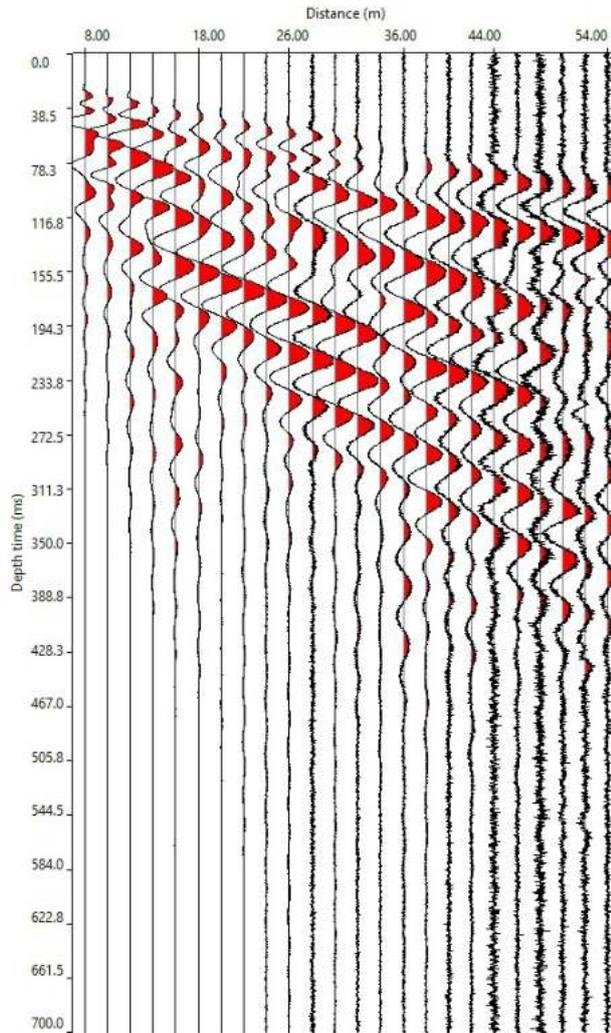
Distanza punto d'energizzazione: 8 m

Lunghezza stendimento: 46 m

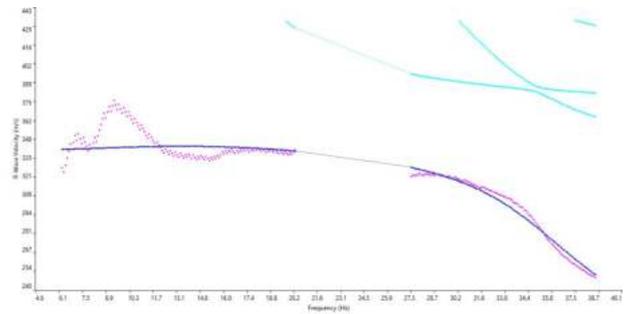
Distanza intergeofonica: 2 m



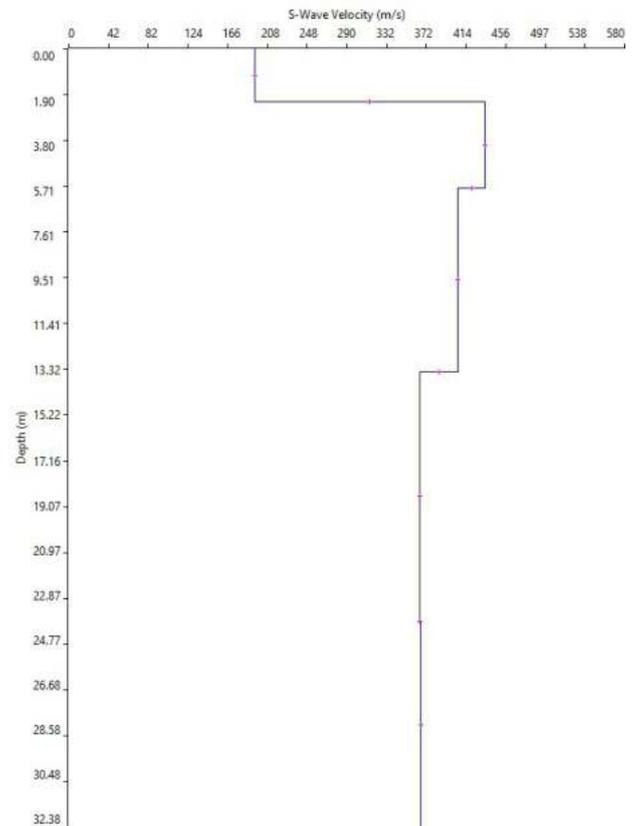
Sismogramma



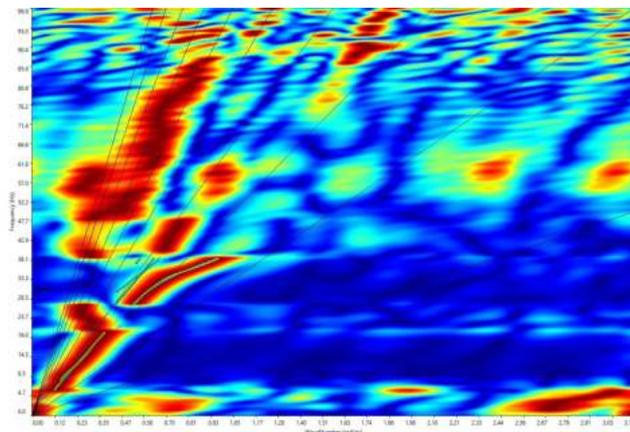
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 3

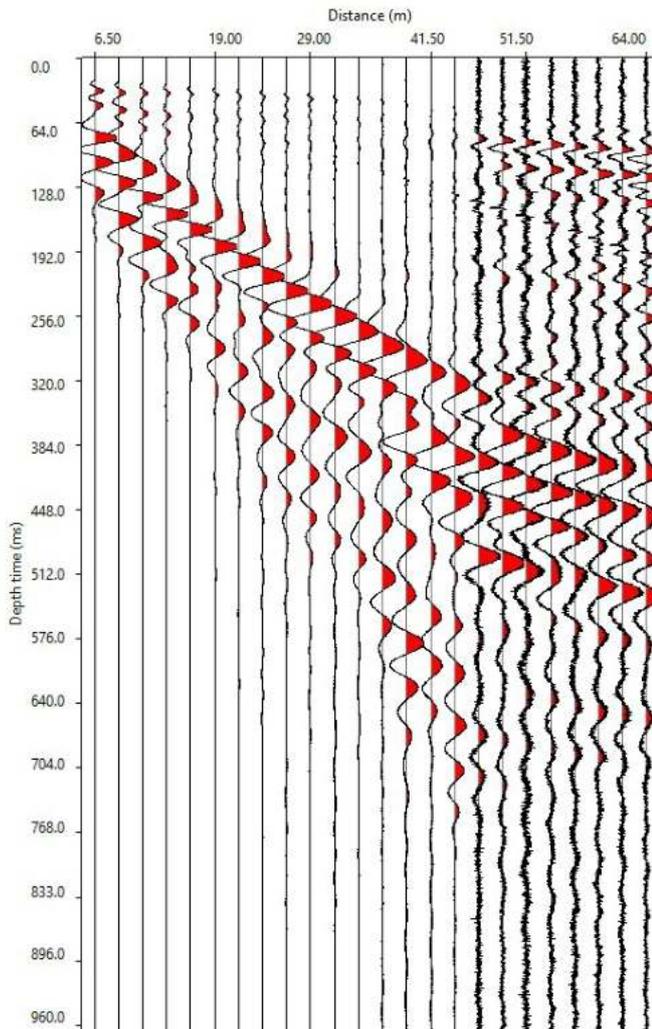
Distanza punto d'energizzazione: 6.5 m

Lunghezza stendimento: 57.5 m

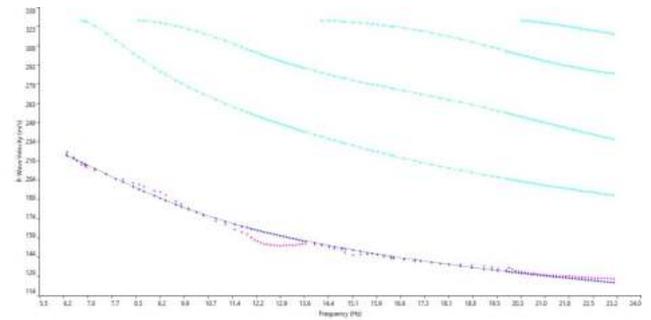
Distanza intergeofonica: 2.5 m



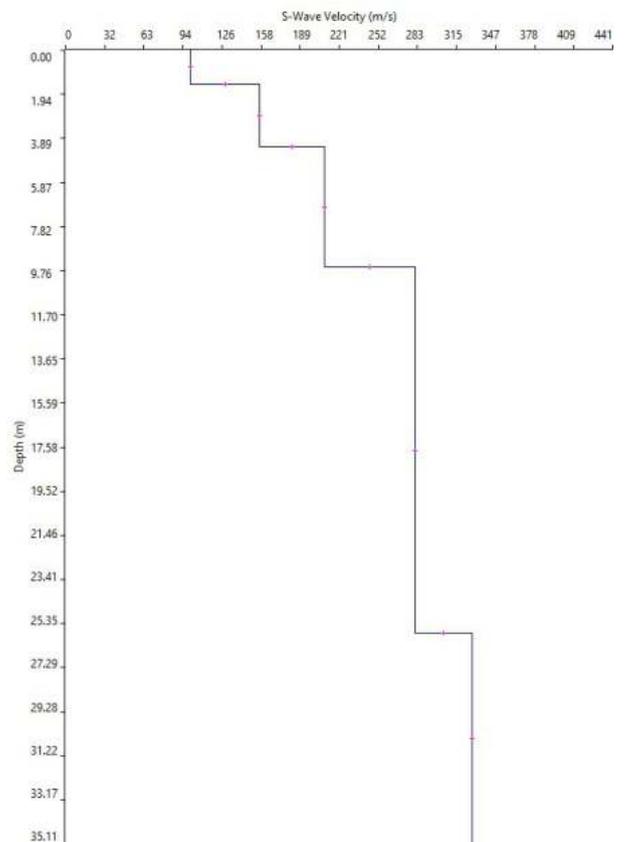
Sismogramma



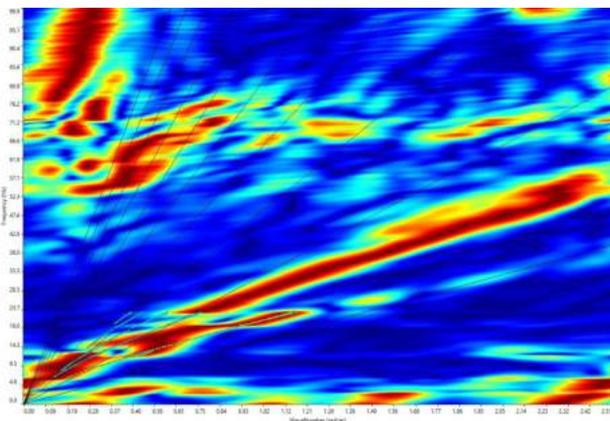
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 4

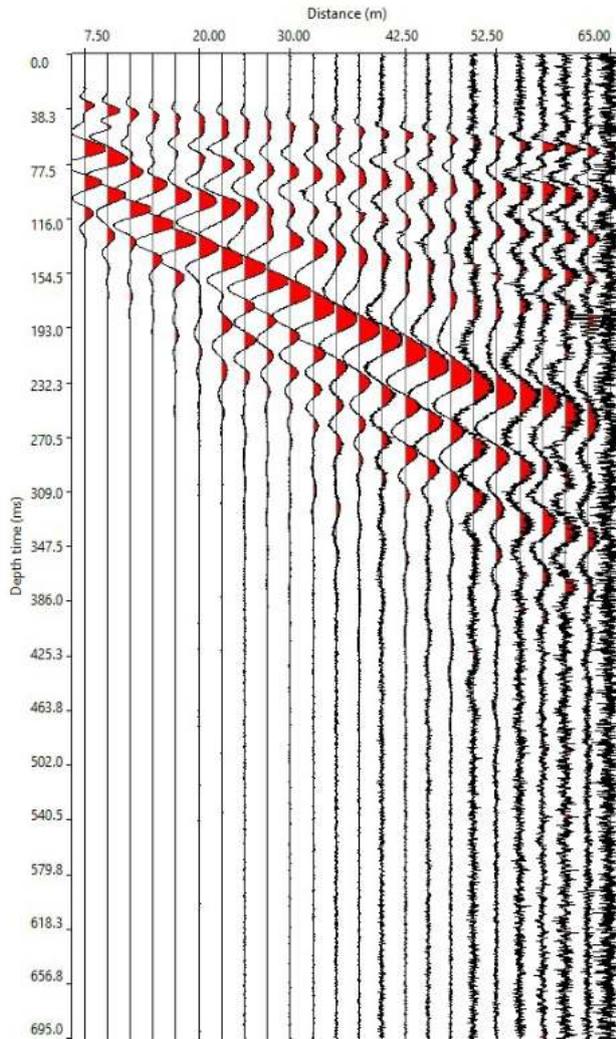
Distanza punto d'energizzazione: 7.5 m

Lunghezza stendimento: 57.5 m

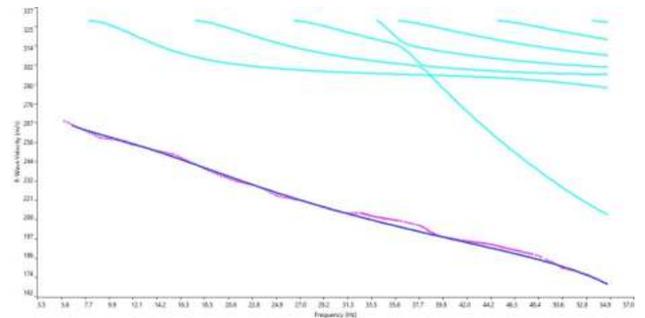
Distanza intergeofonica: 2.5 m



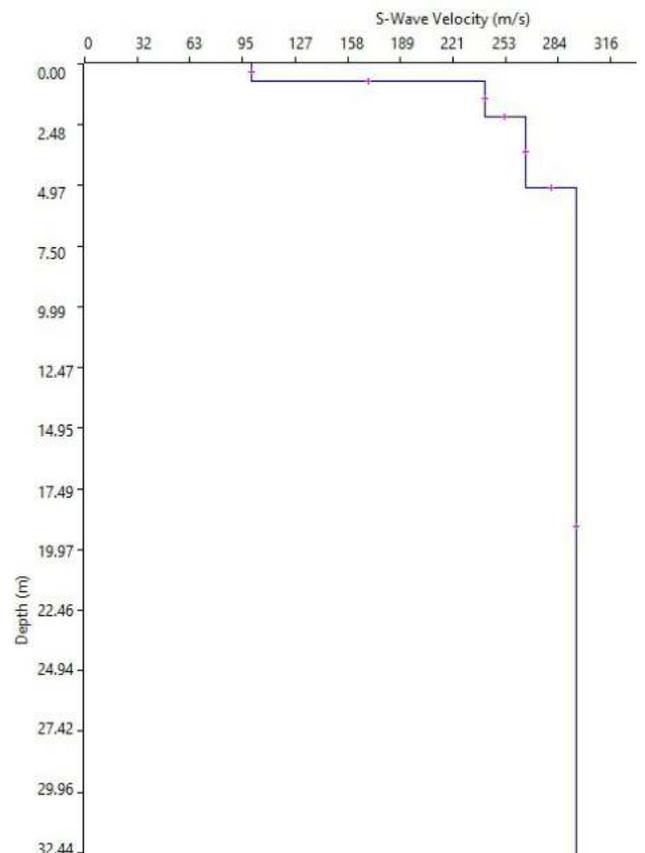
Sismogramma



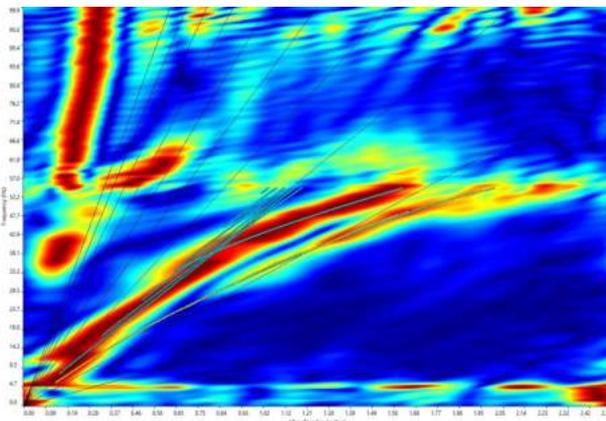
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 5

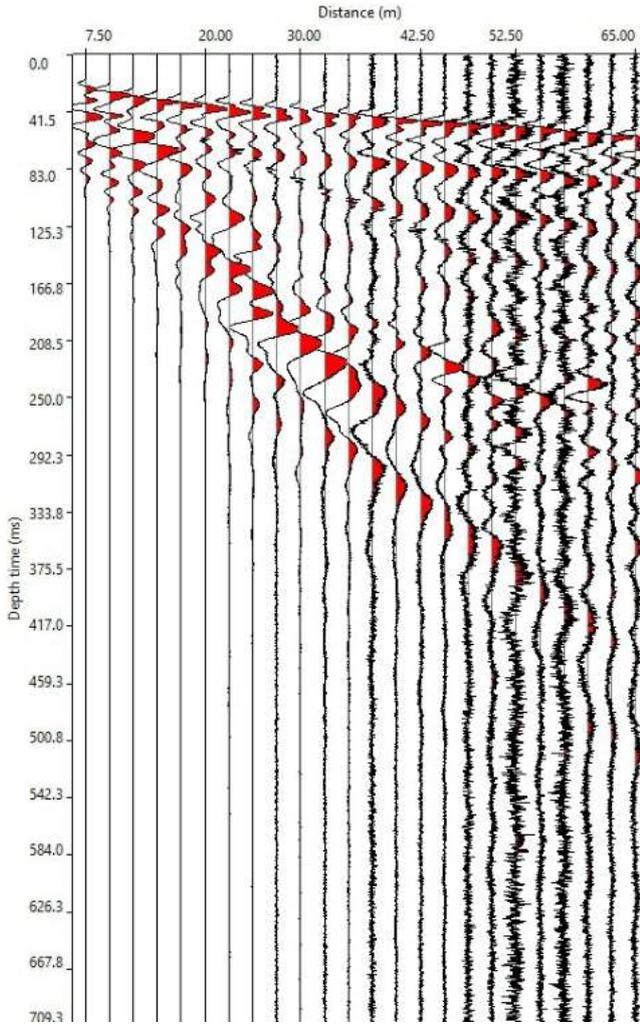
Distanza punto d'energizzazione: 7.5 m

Lunghezza stendimento: 57.5 m

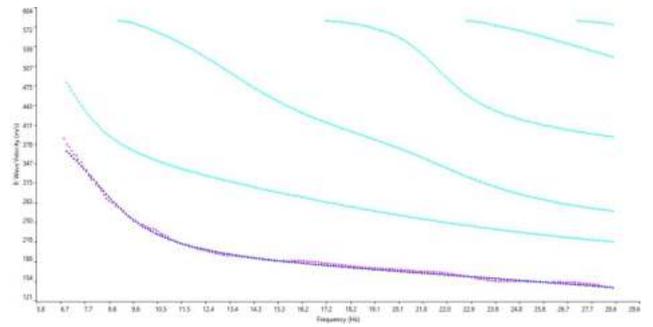
Distanza intergeofonica: 2.5 m



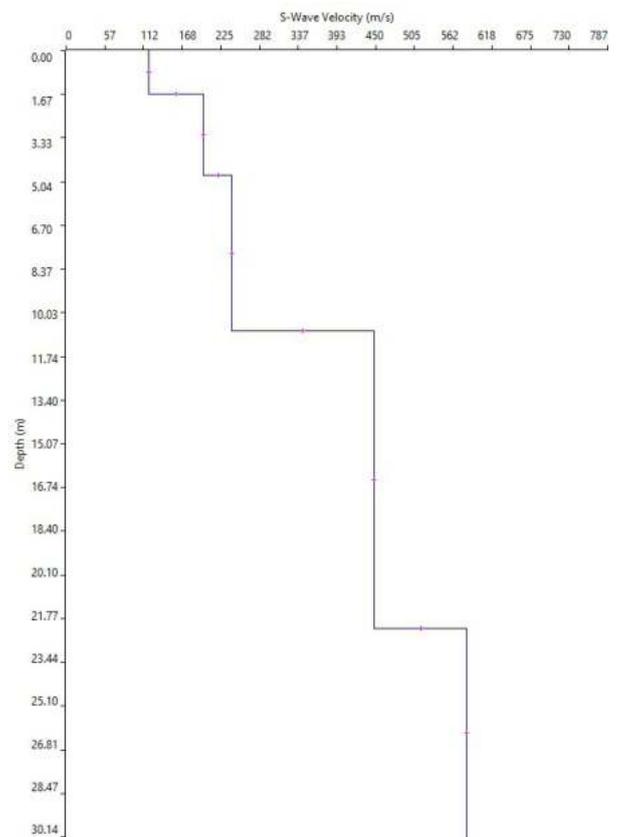
Sismogramma



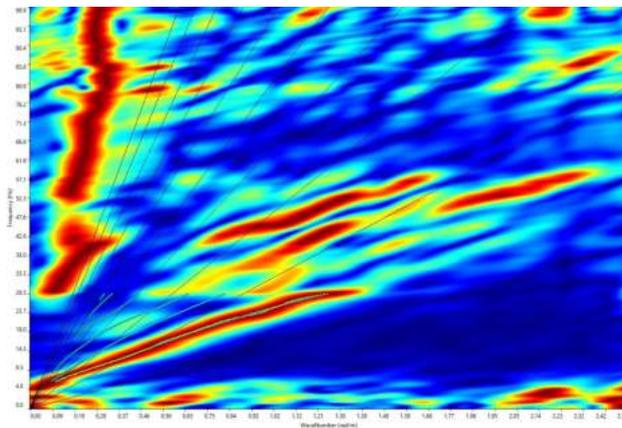
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 6

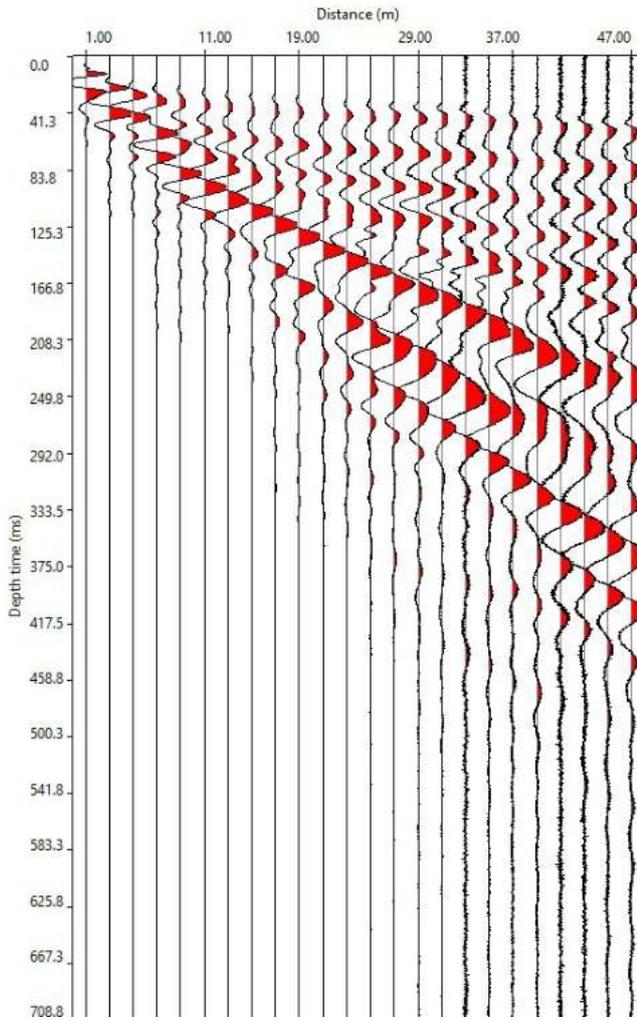
Distanza punto d'energizzazione: 1 m

Lunghezza stendimento: 46 m

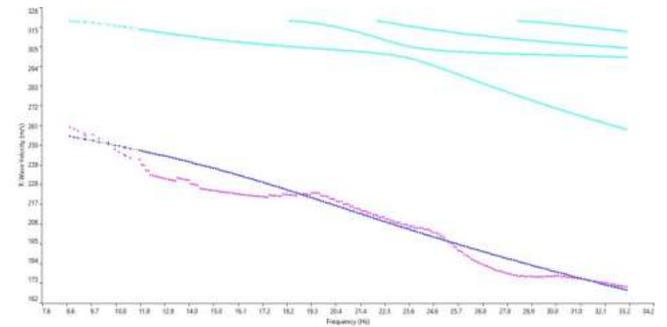
Distanza intergeofonica: 2 m



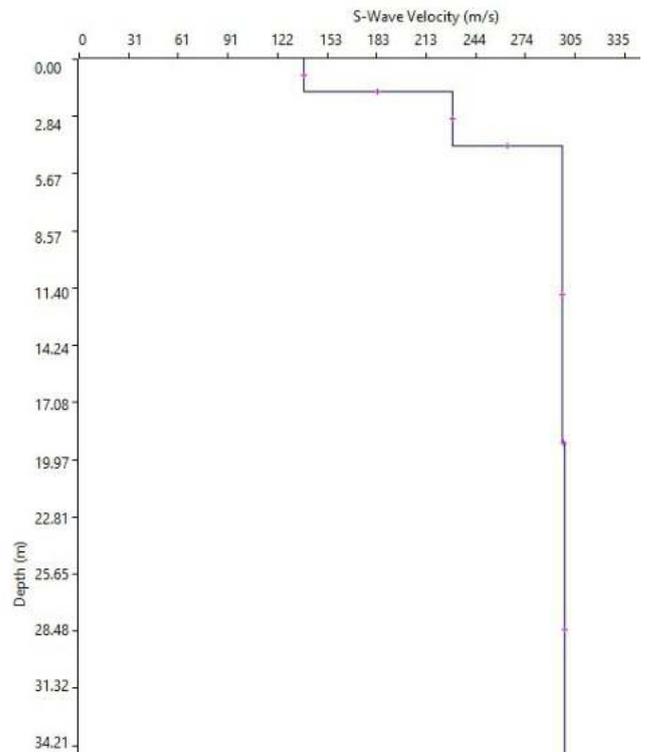
Sismogramma



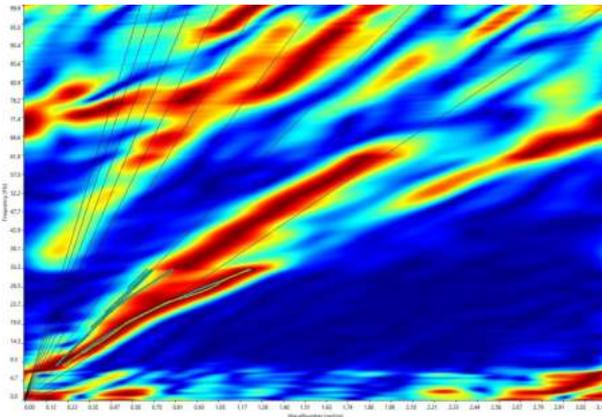
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



Allegato n. 4:

Elaborato tecnico e allegati grafici misure di conducibilità termica dei terreni

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DEL METODO	3
3	ACQUISIZIONE DELLE MISURE	4
4	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	5
5	CONCLUSIONI.....	6

Appendice n. 1: Schede misure acquisite e relative elaborazioni

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica espone i risultati di una serie di misure di conducibilità termica eseguite lungo il percorso dei cavidotti di collegamento dell'impianto eolico S&P16 alla stazione di connessione "Partinico 2". In particolare le misure sono state eseguite a partire dalla Contrada Tammì del territorio comunale di Partinico (PA) ove verrà realizzata la stazione "Partinico 2" sino alla stazione di trasformazione da realizzarsi nella contrada Bosco del territorio comunale di Partinico seguendo il percorso dell'elettrodotto interrato. Tale indagine ha avuto lo scopo di misurare in situ ed in maniera puntuale i valori di conducibilità termica e di resistività termica del terreno.

2 DESCRIZIONE DEL METODO

La conducibilità termica dei terreni è legata alla capacità del terreno di condurre il calore. Questa caratteristica trova notevoli risvolti pratici nella progettazione di elettrodotti o comunque di infrastrutture interrate che necessitano di disperdere calore nel sottosuolo o che, al contrario, necessitano di un isolamento termico. Nei mezzi omogenei e isotropi la conducibilità termica è facilmente misurabile in laboratorio o calcolabile a priori nei mezzi artificiali mentre nei materiali naturali o ancor peggio nei terreni naturali essa varia in un ampio range ed il suo valore dipende da numerosi fattori quali la tessitura del terreno, la sua granulometria, il contenuto d'acqua, il contenuto di sostanza organica, ecc... Pertanto, al fine di restringere il range di valori di progetto risulta necessario eseguire una serie di misurazioni in situ con una apposita sonda termica.

Inoltre considerando che si tratta di misure puntuali per ottenere un risultato statisticamente significativo risulta necessario eseguire un abbondante numero di misure generalmente nell'intorno della profondità di posa prevista per le strutture da installare al fine di avere una base statistica di misure. Pertanto maggiore è il numero di misurazioni effettuate e maggiore sarà l'affidabilità del valore medio o del range di valori individuati. Mentre un basso numero di misure può portare a risultati fuorvianti nei casi in cui si misurino valori estremi della Gaussiana.

3 ACQUISIZIONE DELLE MISURE

Le misure sono state eseguite utilizzando una sonda termica TCR24 prodotta dalla MAE Srl. Tale sonda è costituita da un elemento tubolare che termina con un ago che costituisce la sonda vera e propria. All'interno di quest'ago metallico è racchiuso un elemento riscaldante situato nella sua estremità inferiore e una termocoppia situata alcuni centimetri più in alto.

La misura viene eseguita praticando nel terreno un preforo sino alla profondità di misura. Una volta infissa la parte sensibile della sonda nel fondo del preforo, si attende il tempo necessario per fare raggiungere l'equilibrio termico tra la sonda ed il terreno. Tale tempo è variabile ma viene comunque monitorato in tempo reale dallo stesso strumento.

Solo dopo aver avuto certezza che è stato stabilito l'equilibrio termico tra la sonda di misura ed il terreno, viene avviata la misura che consiste nell'energizzare l'elemento riscaldante della sonda misurando dalla termocoppia le variazioni di temperatura del terreno indotte dall'elemento riscaldante. L'intero processo viene controllato dall'unità digitale di acquisizione che contemporaneamente registra i dati e traccia sul monitor un grafico rappresentante la variazione della temperatura in funzione del tempo.

Sulla base del grafico ricavato, in studio viene calcolata la conducibilità termica del terreno e il suo reciproco: resistività termica.

Purtroppo, indipendentemente dalla capacità dell'operatore, a volte la misura appare rumorosa o il grafico non risulta sempre crescente. Questi effetti generalmente sono legati ad anisotropie del terreno lungo l'ago della sonda o alla evaporazione della fase liquida contenuta nel terreno per effetto del riscaldamento della sonda.

CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Convertitore analogico digitale a 24 bit

Range di misura Conducibilità Termica: da 0.1 W/mK a 6 W/mK

Range di misura Resistività Termica: da 0.17 mK/W a 10 mK/W

Accuratezza: +/- 6%

Durata della misura da 300 s a 900 s

Normative di riferimento:

ASTM D 5334-14 Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure

IEEE 442-1981

4 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I dati acquisiti sono stati elaborati per calcolare, per ogni misura, i valori di conducibilità e resistività termica. I risultati di tale elaborazione sono in dettaglio riportati nell'appendice 1 dove sono riportate le schede delle misurazioni eseguite. Su ogni scheda è riportata una fotografia della postazione di misura, i parametri di acquisizione impostati e i risultati della elaborazione.

La seguente tabella n.1 mostra le coordinate (espresse nel sistema di riferimento UTM WGS84 fuso 33N) di ogni sito di misura, la profondità della prova rispetto al piano campagna e i valori di conducibilità e resistività termica elaborati.

Tabella n. 1					
ID misura	Coordinate UTM WGS84 33N		Profondità misura (m)	Conducibilità Termica (W/mK)	Resistività Termica (mK/W)
	X (m)	Y (m)			
CT01	331057	4211651	0.8	5.246	0.191
CT02	329986	4210913	0.8	4.632	0.216
CT03	329255	4209351	1.2	1.384	0.722
CT04	328092	4207768	0.8	2.875	0.348
CT05	326628	4206730	0.8	3.200	0.313

5 CONCLUSIONI

Dall'osservazione dei valori di conducibilità termica riportati nelle schede elaborate emerge che le misure effettuate variano in un range compreso tra 1.384 W/mK e 5.246 W/mK, e sono quindi compatibili con i valori caratteristici dei terreni di prova.

In ogni caso i valori di conducibilità termica misurati sono risultati compatibili con la realizzazione dell'elettrodotto interrato e delle stazioni elettriche di elevazione e connessione.

In fase esecutiva è consigliabile effettuare ulteriori misure per ottimizzare il dimensionamento delle strutture da realizzare eventualmente ripetendo a campione, durante l'anno alcune delle misure effettuate in modo da verificare l'entità della variabilità stagionale della conducibilità termica dei litotipi attraversati dall'elettrodotto.

Termini Imerese, 26/01/2024

Il geologo

Dott. Salvatore Carrubba



Appendice n. 1
Schede misure acquisite
e relative elaborazioni

Misura di Conducibilità Termica CT1

Profondità della misura: 0.8 m da p.c.

Impostazioni misura

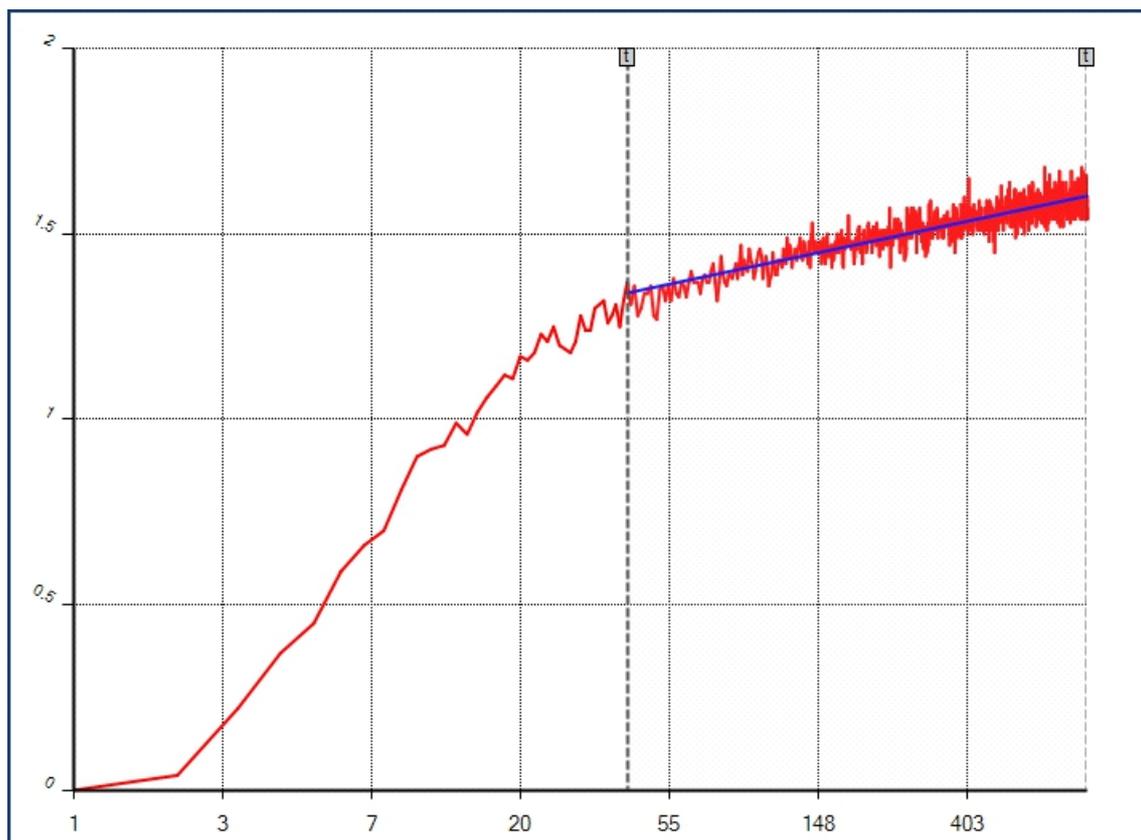
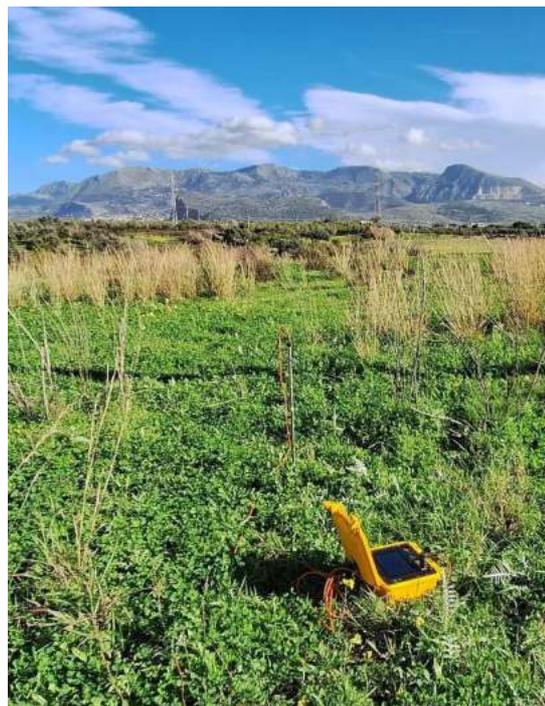
Resistenza sonda : **83.2** Ohm/m
Tensione riscaldatore : **4.5** V
Potenza riscaldatore : **5.58976** W/m
Durata : **900** s

Parametri di calcolo

t1 : **41** s
t2 : **899** s
T1 : **9.78** °C
T2 : **9.95** °C

Risultati

Conducibilità termica : **5.246** W/mK
Resistività termica : **0.191** mK/W
Temperatura iniziale : **8.41** °C
Temperatura finale : **9.98** °C



Misura di Conducibilità Termica CT2

Profondità della misura: 0.8 m da p.c.

Impostazioni misura

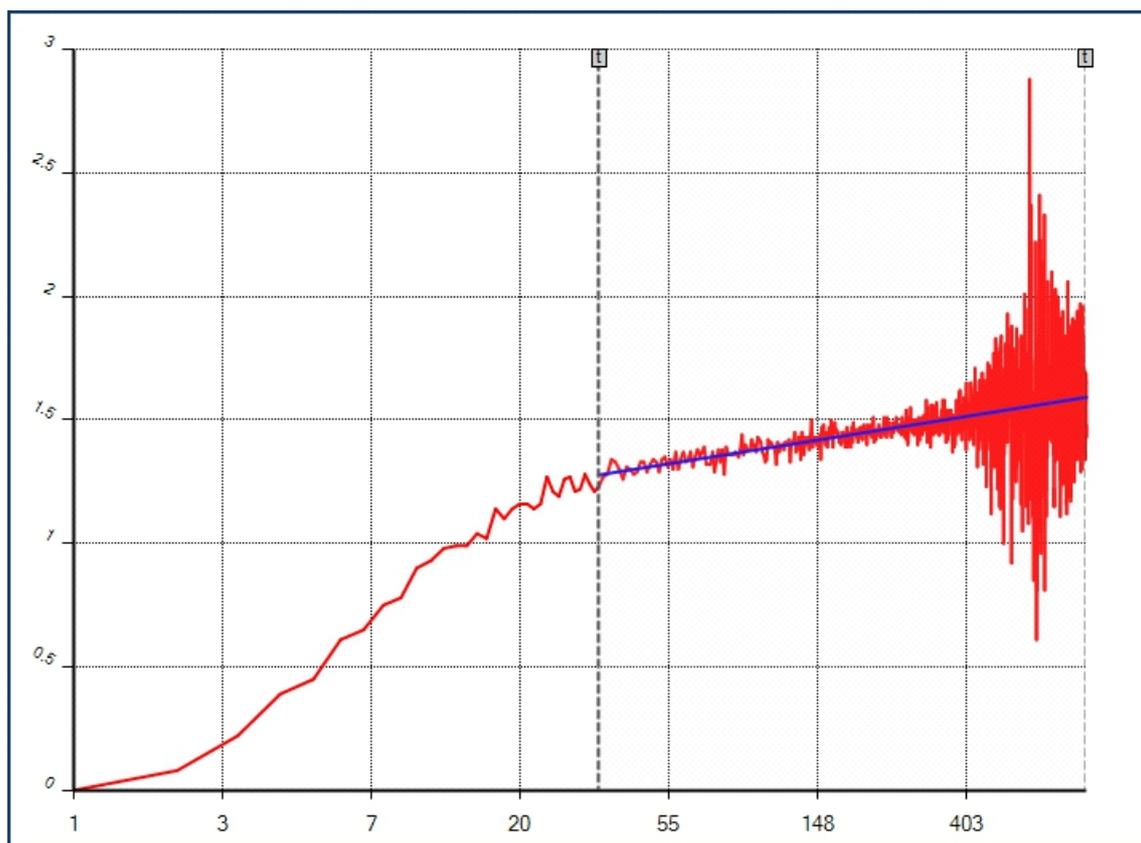
Resistenza sonda : **83.2 Ohm/m**
Tensione riscaldatore : **4.5 V**
Potenza riscaldatore : **5.58976 W/m**
Durata : **900 s**

Parametri di calcolo

t1 : **34 s**
t2 : **900 s**
T1 : **9.55 °C**
T2 : **9.80 °C**

Risultati

Conducibilità termica : **4.632 W/mK**
Resistività termica : **0.216 mK/W**
Temperatura iniziale : **8.32 °C**
Temperatura finale : **9.80 °C**



Misura di Conducibilità Termica CT3

Profondità della misura: 1.2 m da p.c.

Impostazioni misura

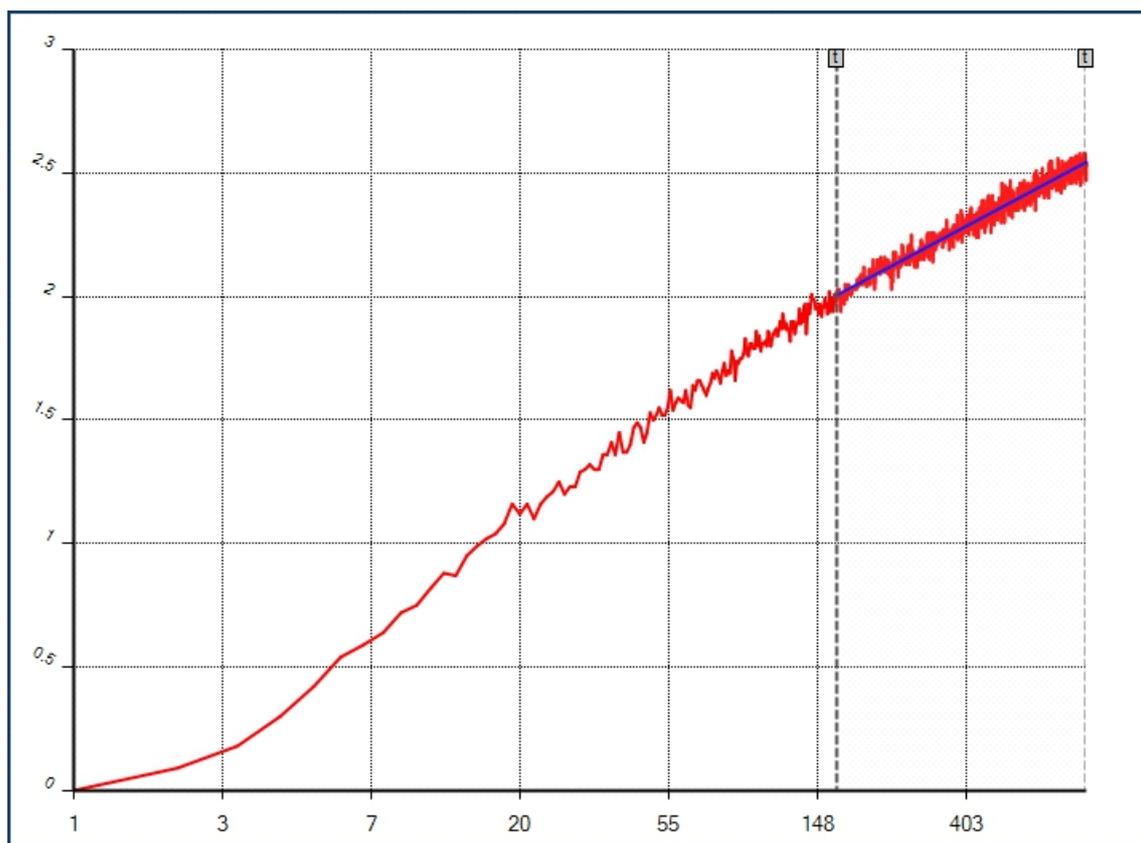
Resistenza sonda : 83.2 Ohm/m
Tensione riscaldatore : 4.5 V
Potenza riscaldatore : 5.58976 W/m
Durata : 900 s

Parametri di calcolo

t1 : 168 s
t2 : 899 s
T1 : 10.37 °C
T2 : 10.93 °C

Risultati

Conducibilità termica : 1.384 W/mK
Resistività termica : 0.722 mK/W
Temperatura iniziale : 8.39 °C
Temperatura finale : 10.86 °C



Misura di Conducibilità Termica CT4

Profondità della misura: 0.8 m da p.c.

Impostazioni misura

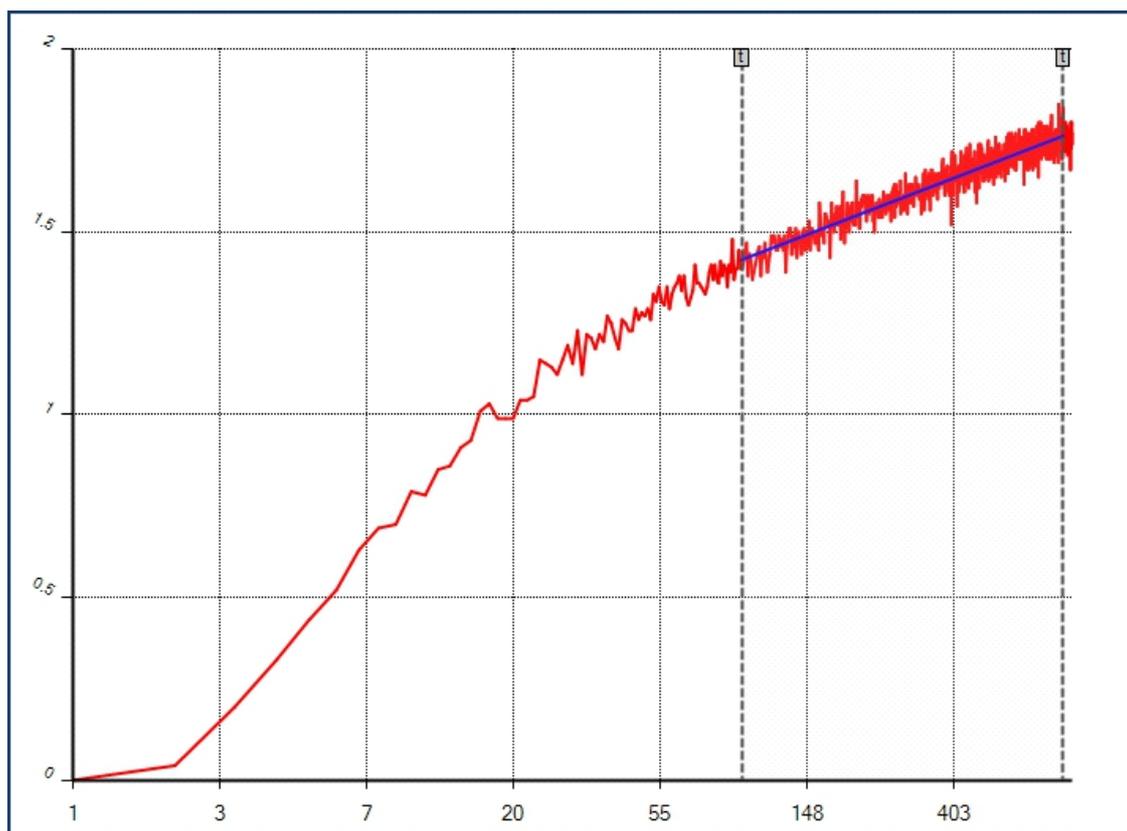
Resistenza sonda : 83.2 Ohm/m
Tensione riscaldatore : 4.5 V
Potenza riscaldatore : 5.58976 W/m
Durata : 900 s

Parametri di calcolo

t1 : 95 s
t2 : 844 s
T1 : 9.80 °C
T2 : 10.24 °C

Risultati

Conducibilità termica : 2.875 W/mK
Resistività termica : 0.348 mK/W
Temperatura iniziale : 8.40 °C
Temperatura finale : 10.17 °C



Misura di Conducibilità Termica CT5

Profondità della misura: 0.8 m da p.c.

Impostazioni misura

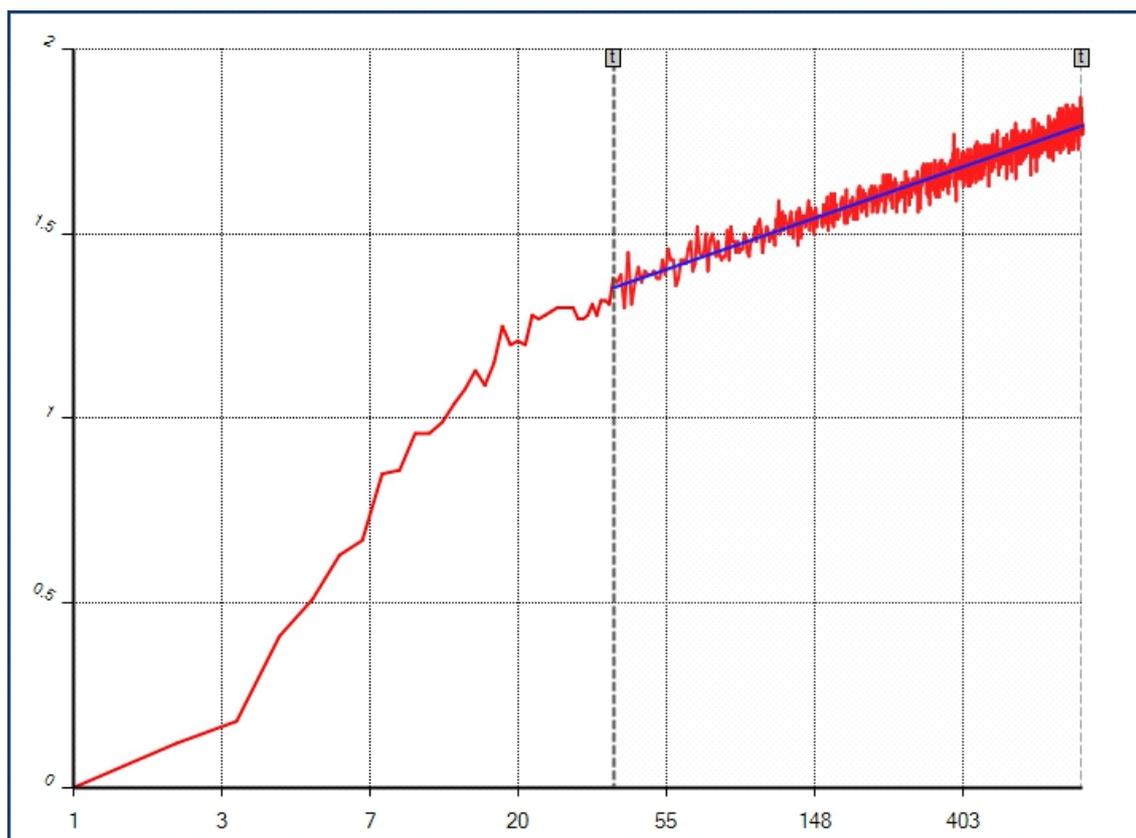
Resistenza sonda : **83.2** Ohm/m
Tensione riscaldatore : **4.5** V
Potenza riscaldatore : **5.58976** W/m
Durata : **900** s

Parametri di calcolo

t1 : **38** s
t2 : **899** s
T1 : **9.41** °C
T2 : **9.80** °C

Risultati

Conducibilità termica : **3.200** W/mK
Resistività termica : **0.313** mK/W
Temperatura iniziale : **8.03** °C
Temperatura finale : **9.82** °C



Allegato n.5:

Elaborato tecnico e allegati grafici indagini sismiche M.A.S.W.
lungo il percorso del cavidotto e nel sito della stazione elettrica

1 PREMESSA

La metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di modellizzare la velocità delle onde S con la profondità sfruttando la correlazione che le stesse hanno con le onde superficiali che, a differenza delle S, posseggono molta più energia e risultano essere quindi molto più facili da campionare.

In particolare nel sito della stazione elettrica di elevazione e lungo il cavidotto sono state eseguite le presenti indagini sismiche integrative per approfondire già in questa fase il comportamento sismico anche di questo settore Nord dell'area in studio.

2 DESCRIZIONE DEL METODO D'INDAGINE

La tecnica M.A.S.W. rientra tra le tecniche di sismica attiva, ovvero il sottosuolo viene energizzato dalla superficie generando onde sismiche che si propagano nell'interfaccia suolo aria con diverse frequenze. Maggiore è la lunghezza dell'onda generata e campionata maggiore sarà la profondità d'indagine raggiunta. Il range di frequenze analizzato è abbastanza ampio e quindi la frequenza di campionamento deve essere sufficientemente elevata e la registrazione sufficientemente lunga ecco perché i sismografi di ultima generazione con convertitori analogico digitali a 24 bit indipendenti per ogni canale risultano essere l'ideale per l'acquisizione dei sismogrammi.

L'acquisizione è stata eseguita con un sismografo Dolang Jea Telemetry 24 bit, gestito da un computer portatile, con 24 canali di acquisizione simultanea, a elevata risoluzione e con convertitori analogico digitale sincronizzati ed indipendenti per ogni canale. I geofoni utilizzati sono stati del tipo verticale a 4,5 Hz e l'energizzazione è stata ottenuta tramite una mazza da 10 kg dotata di starter e piattello di battuta. I dati acquisiti sono stati, in una prima fase, pretrattati per diminuire i disturbi e migliorare il rapporto segnale rumore, successivamente sono stati analizzati contemporaneamente nel dominio spettrale FK (Dominio Frequenza – Numero d'onda). Il fatto di non avere utilizzato una sorgente monocromatica ha permesso di poter determinare un modello di velocità di propagazione delle onde superficiali. Dal quale è stato poi ricavato, per iterazioni successive, il modello di velocità delle onde di superficie che meglio fitta i dati sperimentali cui è legato un modello di velocità delle onde S nel sottosuolo.

I modelli di calcolo oggi disponibili permettono di poter estrapolare il modo fondamentale dai modi superiori permettendo in questo modo, di superare anche i problemi di risonanza che, sino a poco tempo fa, nascondendo il modo fondamentale, portavano a gravi errori nell'interpretazione dei dati. Inoltre, in fase di elaborazione, è stato anche possibile inserire, nel modello di elaborazione, i dati ricavati dalla sismica a rifrazione eseguita sullo stesso stendimento migliorando di molto il dettaglio dell'indagine. Nelle schede di seguito riportate è visibile il sismogramma analizzato, lo spettro FK su cui è stato riconosciuto il modo fondamentale (in giallo) ed i modi superiori (in azzurro), la curva di

dispersione frequenza – velocità dei dati sperimentali (in magenta) con sovrapposta la curva del modello (in blu) ed i modi superiori (in azzurro).

Infine, più a destra è stata riportata la rappresentazione grafica del modello del sottosuolo che descrive lo spessore e la velocità delle onte S di ogni singolo sismostrato.

3 CALCOLO DEL VELOCITÀ EQUIVALENTE DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO $V_{s,eq}$

Secondo l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/1/2018, NTC2018, il primo passo per la determinazione dell'azione sismica locale consiste nell'ascrivere, secondo l'approccio semplificato, il terreno di fondazione ad una delle "categorie del suolo di fondazione" definite nella tabella 3.2.II al capitolo 3.2.2 della stessa Norma.

Tali categorie sono state definite in funzione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ tale parametro è calcolato secondo la seguente espressione:

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

Dove H è la profondità del substrato mentre h_i e $V_{s,i}$ sono rispettivamente lo spessore ed il valore di velocità delle onde di taglio dello strato -iesimo. Si fa rilevare che il parametro $V_{s,eq}$ rappresenta una grandezza equivalente, il cui valore risulta, pertanto, diverso da quello che si otterrebbe dalla media ponderata delle velocità dei singoli strati riferita ai rispettivi spessori. L'espressione (1) consente, invece, più appropriatamente, di privilegiare il contributo dei litotipi maggiormente deformabili.

Tramite i modelli di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo, ottenuti grazie alle indagini M.A.S.W. eseguite, è stato calcolato il V_s equivalente riportato nella seguente tabella n. 1 ed utilizzato per la caratterizzazione sismica preliminare del sottosuolo trattata nel capitolo 6.2.

Tabella n. 1 calcolo del V_s equivalente	
M.A.S.W. 7	$V_{s,eq} = 219$ m/s
M.A.S.W. 8	$V_{s,eq} = 211$ m/s

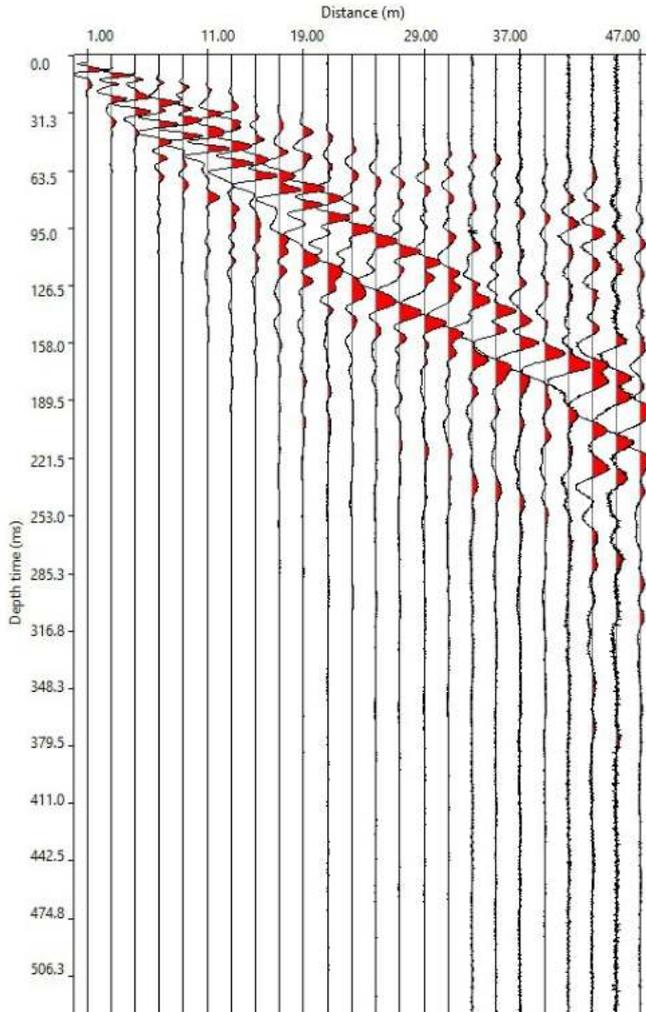
M.A.S.W. 7

Distanza punto d'energizzazione: 1 m

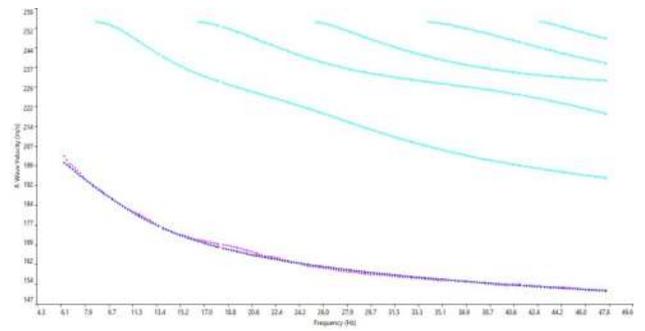
Lunghezza stendimento: 46 m

Distanza intergeofonica: 2 m

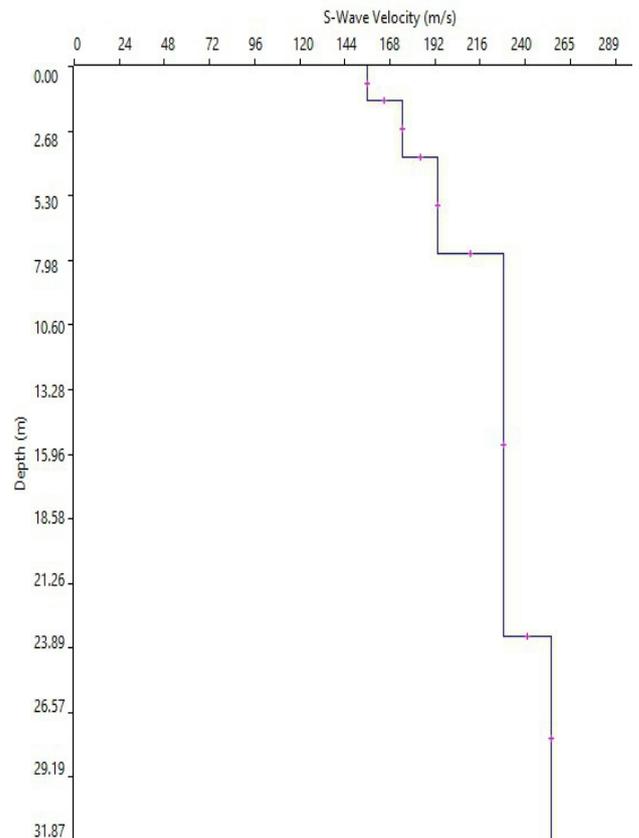
Sismogramma



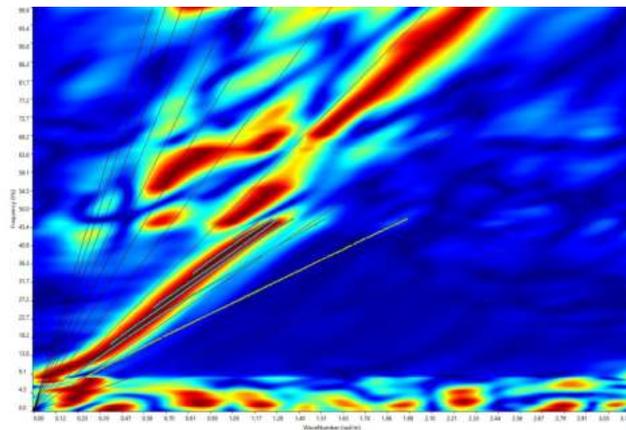
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 8

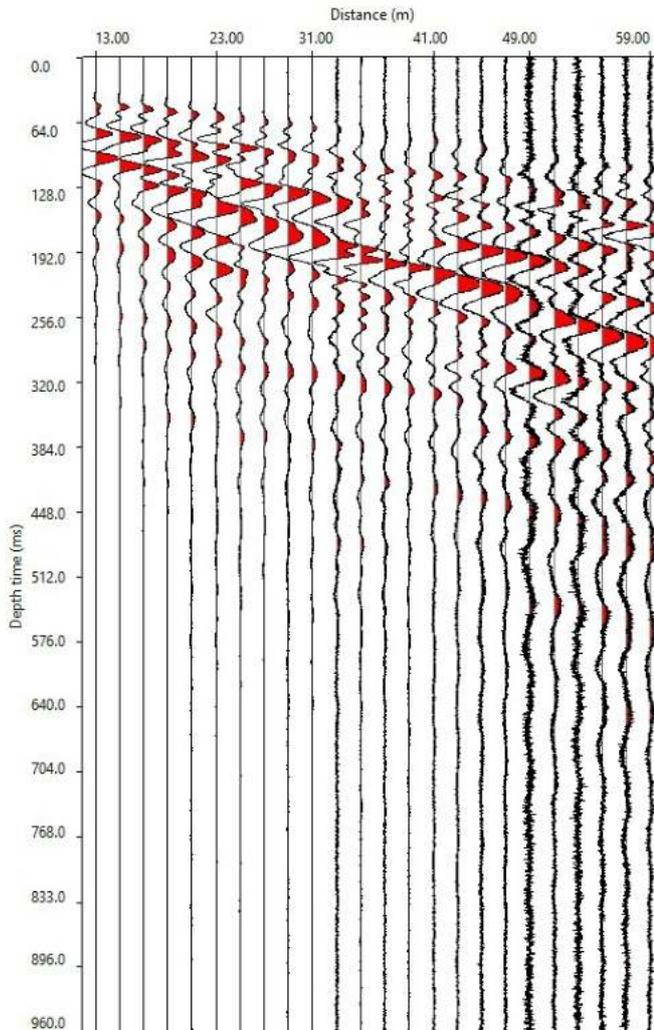
Distanza punto d'energizzazione: 13 m

Lunghezza stendimento: 46 m

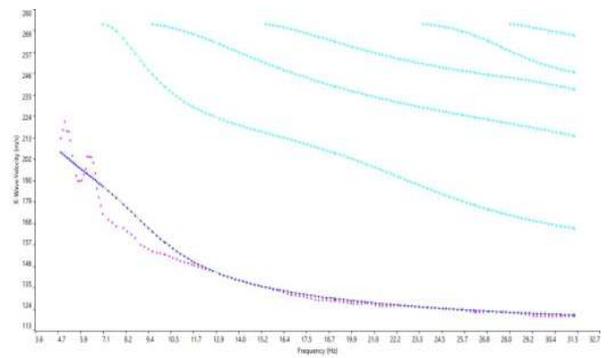
Distanza intergeofonica: 2 m



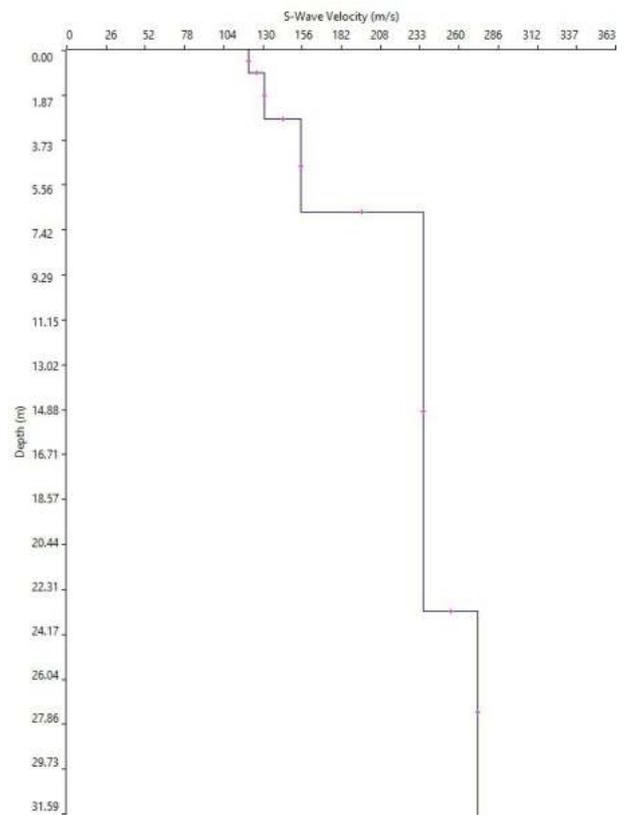
Sismogramma



Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K

