



REGIONE SICILIA

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

PROGETTO:

Località Impianto
COMUNE DI MONREALE (PA)
CONTRADA KAGGIO
Località Connessione
COMUNE DI MONREALE (PA)
CONTRADA AQUILA

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO

Realizzazione impianto eolico denominato "S&P 15" con potenza di picco 50.000 kWp e potenza nominale 50.000 kW

CODICE ELABORATO:

| PROPONENTE | TIPOLOGIA DOCUMENTO | PROGRESSIVO | REV |
|------------|---------------------|-------------|-----|
| SP15 | REL | 006 | 00 |

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

DATA: 19/01/2023

ELABORATO:

SP15REL006_00-SeP15-RELAZIONE GEOLOGICA

| Rev. | Data Rev. | Data Rev. |
|------|-----------|-----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

TAV:

REL006

PAGINE N.:

50

PROGETTISTI:

Ing. Sapienza Angelo



Ing. Rizzuto Vincenzo



Geol. Carrubba Salvatore

SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI

SOCIETA':

S&P 15 S.R.L.
SICILIA E PROGRESSO
sede legale: Corso dei Mille 312, 90047 Partinico (PA)
C.F.: 07035630826 tel.: 0919865917 - fax: 0918902855
email: svilupposep15@gmail.com
pec: svilupposep15@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 | 5 |
| 2.2 | ANALISI DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI RELATIVI AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)..... | 6 |
| 3 | CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE | 7 |
| 4 | CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE | 9 |
| 4.1 | CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEI LITOTIPI IN AFFIORAMENTO..... | 9 |
| 4.2 | DESCRIZIONE DEGLI ACQUIFERI, PROFONDITÀ DELLA FALDA IDRICA..... | 10 |
| 5 | 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. | 11 |
| 5.1 | 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. | 11 |
| 5.2 | 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..... | 11 |
| 5.3 | 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. | 12 |
| 7 | GESTIONE DELLE INTERFERENZE E DELLE CRITICITÀ' | 14 |
| • | <i>CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE</i> | 14 |
| • | <i>CRITICITÀ GEOLOGICHE</i> | 14 |
| • | <i>CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE</i> | 15 |
| 8 | INDAGINI GEOGNOSTICHE | 16 |
| 8.1 | PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREVISTE | 16 |
| 8.2 | INDAGINI GEOGNOSTICHE ESPERITE | 17 |
| 8.3 | INDAGINI M.A.S.W. (DESCRIZIONE DEL METODO D'INDAGINE)..... | 19 |
| | <i>Indagine M.A.S.W. 1</i> | 20 |
| | <i>Indagine M.A.S.W. 2</i> | 21 |
| | <i>Indagine M.A.S.W. 3</i> | 22 |
| | <i>Indagine M.A.S.W. 4</i> | 23 |
| | <i>Indagine M.A.S.W. 5</i> | 24 |
| 8.4 | TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE | 25 |
| 8.4.1 | <i>Descrizione del metodo d'indagine</i> | 25 |
| 8.4.2 | <i>Configurazione tipo dello stendimento utilizzato</i> | 26 |
| 8.4.3 | <i>Elaborazione dei dati</i> | 26 |
| 8.4.4 | <i>Presentazione dei risultati</i> | 27 |
| | <i>Indagine Sismica Tomografica Ts1</i> | 28 |
| | <i>Indagine Sismica Tomografica Ts2</i> | 30 |
| | <i>Indagine Sismica Tomografica Ts3</i> | 32 |
| | <i>Indagine Sismica Tomografica Ts4</i> | 34 |
| 9 | ANALISI DEI RISULTATI | 36 |
| 9.1 | MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE | 36 |
| 9.2 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO | 37 |
| 9.3 | SOLUZIONI PROGETTUALI PRELIMINARI..... | 38 |
| 10 | CONCLUSIONI | 39 |

1 PREMESSA

Su incarico della S&P 15 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 15" con potenza di picco 50.000 kWp e potenza nominale 50.000 kW da realizzarsi nella contrada Kaggio del territorio comunale di Monreale (PA).

Il suddetto impianto sarà connesso alla Stazione Elettrica di connessione denominata "Monreale 3" da realizzarsi nella Contrada Aquila del territorio comunale di Monreale (PA) tramite un elettrodotto interrato.

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 e dei siti che verranno attraversati dal cavidotto interrato e del sito ove verrà installata la stazione elettrica di connessione.

Inoltre, nell'ambito del presente studio, sono state eseguite quattro tomografie sismiche e cinque 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.

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 sulla Carta Tecnica Regionale n. 607070 e n. 607080. Le suddette carte sono riprodotte nell'allegato A in calce al presente studio. Le aree in studio si trovano nella contrada Kaggio del territorio comunale di Monreale (PA) mentre il cavidotto di collegamento si spinge sino alla contrada Aquila dove verrà realizzata la stazione elettrica di connessione "Monreale 3".

Le suddette aree 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 più facilmente erodibili, mentre i terreni più competenti formano gli alti topografici.

I siti si trovano nella parte alta del bacino idrografico del Fiume Grande Belice (Destro) e le loro acque superficiali vengono drenate dai diversi affluenti presenti.

A causa delle differenze reologiche dei terreni in affioramento e a causa dei fenomeni di erosione differenziale, che si manifestano soprattutto per la cattiva regimazione delle acque, si riscontrano bruschi salti di quota e scarpate instabili specie in prossimità delle aste fluviali. Infatti il reticolo idrografico è piuttosto giovane ed è continuamente costretto a riadattarsi ai continui apporti dovuti alla instabilità dei versanti che ne deviano il percorso.

Dal canto loro, le aste fluviali presentano tutte fenomeni di erosione al fondo che, a loro volta, generano instabilità delle sponde. Tale instabilità si trasferisce, per evoluzione retrograda, ai versanti che sono pertanto interessati da fenomeni di dissesto di varia entità. I fenomeni di dissesto rilevati interessano generalmente la coltre di alterazione superficiale delle stesse argille, che detiene generalmente discreti 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 di tempo, 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 (allegato B) redatte alla scala 1:10000.

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.

Il sito ove sarà realizzata la stazione di connessione si trova su un'area lievemente pendente verso NordEst 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..

Nell'allegato C, riportato in calce al presente studio, sono state riportate le "Carte dei Dissesti", le "Carte della Pericolosità e del Rischio Geomorfológico" allegare al Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Su tali carte sono stati evidenziati con dei simboli rossi i siti dove verranno realizzati gli aerogeneratori mentre il cavidotto di collegamento è indicato con un tratteggio verde infine l'area della stazione di connessione è contornata con un tratto arancione.

Come precedentemente descritto i siti ricadono nel bacino idrografico del Fiume Belice e dall'osservazione delle carte del PAI (riportate nell'allegato C riprodotto in calce al presente studio) si evince che non saranno installati impianti nelle aree dove il PAI ha cartografato dissesti ma anzi gli stessi sono già in questa fase studiati con indagini geofisiche e verranno più in dettaglio studiati in fase esecutiva con opportune indagini geognostiche dirette ed indirette per individuare la soluzione progettuale più efficace per la loro stabilizzazione o comunque per evitare che, nella loro evoluzione, possano interessare le aree occupate dagli impianti.

L'unico dissesto che si sviluppa nei pressi dell'aerogeneratore WTG-3 è il dissesto censito dal PAI con il codice 057-6MO-152. Si tratta di un colamento lento, quiescente, con pericolosità moderata. La zona di coronamento di tale dissesto è stata studiata già in questa fase con una tomografia sismica a rifrazione ed una indagine M.A.S.W. per verificare la compatibilità geomorfologica dell'aerogeneratore stesso e del tratto di cavidotto di connessione tra gli aerogeneratori WTG-3 e WTG-4.

Da tali indagini più ampiamente descritte nei successivi capitoli è emersa la compatibilità delle opere da realizzare con i dissesti cartografati dal PAI e inoltre, gli interventi in progetto, quali la stabilizzazione del profilo di base dei corsi d'acqua e la regimazione di deflussi, influiranno positivamente sulla generale stabilizzazione della coltre e dei versanti.

Inoltre l'interferenza sulla planimetria di tale dissesto 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 del dissesto cartografato dal PAI consentendo di progettare la quota altimetrica della perforazione ove verrà installato il cavidotto.

3 CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

Le ricerche bibliografiche ed il rilevamento di superficie, esteso ad un intorno significativo, hanno permesso cartografare, nella carta geologica riportata in calce al presente studio nell'allegato D, i depositi della formazione Tavernola, della Formazione Castellana Sicula e del Flysch Numidico. In parte ricoperti da spessori, a volte potenti, di coltre detritica eluvio colluviale che ricolma le zone di fondovalle o le zone in dissesto. Nelle aree studiate si individuano anche i depositi alluvionali attuali e depositi fluviali. Di seguito sono descritte tali Formazioni Geologiche:

● **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.

● **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.

● **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 rinvencono 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.

● **Fm. Tavernola. (Aquitano Sup. Langhiano).** Marne e peliti grigio verdastre con intercalati banchi di diversi metri di arenarie quarzose giallastre e verdastre con abbondante frazione glauconitica. Sono presenti foraminiferi planctonici e nanofossili calcarei. L'ambiente di deposizione è di scarpata e di conoidi torbiditica.

● **Flysch Numidico (Oligocene Sup. – Miocene Inf.).** In affioramento sono state rilevate le alternanze di peliti ed argilliti brune manganesifere con rari banchi di arenarie quarzose. In tale formazione possono rinvenirsi megabrecce carbonatiche e megaconglomerati arenacei mentre, specie nella parte bassa della formazione, è possibile rinvenire anche calcareniti e calciruditi con macroforaminiferi rimaneggiati. L'ambiente di deposizione è quello di scarpata e lo spessore massimo della formazione è di 300 m.

● **Marne di San Cipirrello (Burdigaliano – Tortoniano Medio).** In affioramento sono state rilevate alternanze di calcari marnosi, arenarie e marne stratificate o sottilmente laminate della Formazione delle Marne di San Cipirrello del Burdigaliano – Tortoniano Medio. La Formazione è costituita da un'alternanza di marne passanti ad argille grigio verdi o marrone alternate a banchi o lenti di arenarie o brecce calcaree come quelle in affioramento a Case Vescovo.

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. La zona in esame inserita quindi in un contesto regionale è stata interessata 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 più periodi e con varie direzioni di movimento provocando da un canto i sovrascorrimenti tra varie formazioni 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 ed il dislocamento dei terrazzi marini e fluviali.

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, che possono essere osservati negli affioramenti marnosi. 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 il sito in esame.

4 CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

Secondo quanto descritto nei precedenti paragrafi, i siti in esame sono caratterizzati dalla presenza di formazioni geologiche estremamente eterogenee costituite da vari litotipi a disposizione difficilmente prevedibile. Ciò determina una notevole variabilità nel comportamento idrodinamico dei complessi sedimentari costituenti i siti in esame.

4.1 Caratteristiche idrogeologiche dei litotipi in affioramento

In particolare, volendo schematizzare i diversi litotipi che costituiscono il sottosuolo dei siti 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 per fratturazione, quali i calcari e calcari marnosi e le quarzareniti che costituiscono dei livelli, talora di notevole spessore, intercalati nelle argille;
- litotipi permeabili per porosità primaria quali le sabbie, le ghiaie e i conglomerati.

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.

Inoltre, la coltre di alterazione superficiale delle stesse argille, che nei siti in esame è presente con spessori variabili, detiene generalmente buoni valori di permeabilità e può favorire una discreta circolazione idrica superficiale specie in concomitanza con gli eventi piovosi.

Parimenti i depositi fluviali possono avere permeabilità variabile in funzione della granulometria che può spaziare dalle sabbie, ai limi ai conglomerati. Pertanto nelle aree a maggior permeabilità possono instaurarsi condizioni per la formazione di piccole falde di subalveo che comunque sono molto limitate sia in termini di estensione che di spessore.

4.2 Descrizione degli acquiferi, profondità della falda idrica.

I litotipi in affioramento su tutta l'area in studio sono stati in dettaglio descritti nel precedente capitolo considerazioni Geologiche mentre il precedente paragrafo ne descrive il comportamento idrodinamico.

Volendo sintetizzare quanto più ampiamente prima descritto, risulta che le formazioni geologiche in affioramento sono estremamente eterogenee ovvero costituite da vari litotipi a disposizione difficilmente prevedibile. Ciò determina una notevole variabilità nel comportamento idrodinamico dei complessi sedimentari costituenti il sito in esame.

Più nello specifico, nelle aree in studio prevalgono litotipi a bassa permeabilità quali le argille e i limi frammisti ai quali è possibile rinvenire inclusioni carbonatiche stratificate o tipo 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 tuttalpiù 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 o al sopraggiungere della stagione secca.

A conferma di quanto sopra descritto e della bassa permeabilità dei litotipi in affioramento si osservano su tutta l'area numerosi laghetti artificiali privi di alcun tipo di impermeabilizzazione e aree che si impantanano facilmente al minimo evento piovoso.

5 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.

5.1 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 e della stazione di elevazione 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.

5.2 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 ininfluente 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.

5.3 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 o tipo 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 tuttal 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, 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 che sono dotate quindi di bassissima permeabilità e che costituiscono una sufficiente garanzia contro la dispersione nel sottosuolo di fluidi di circolazione.

7 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 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.

8 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.

8.1 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 le superfici di distacco dei movimenti franosi 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.

8.2 Indagini geognostiche esperite

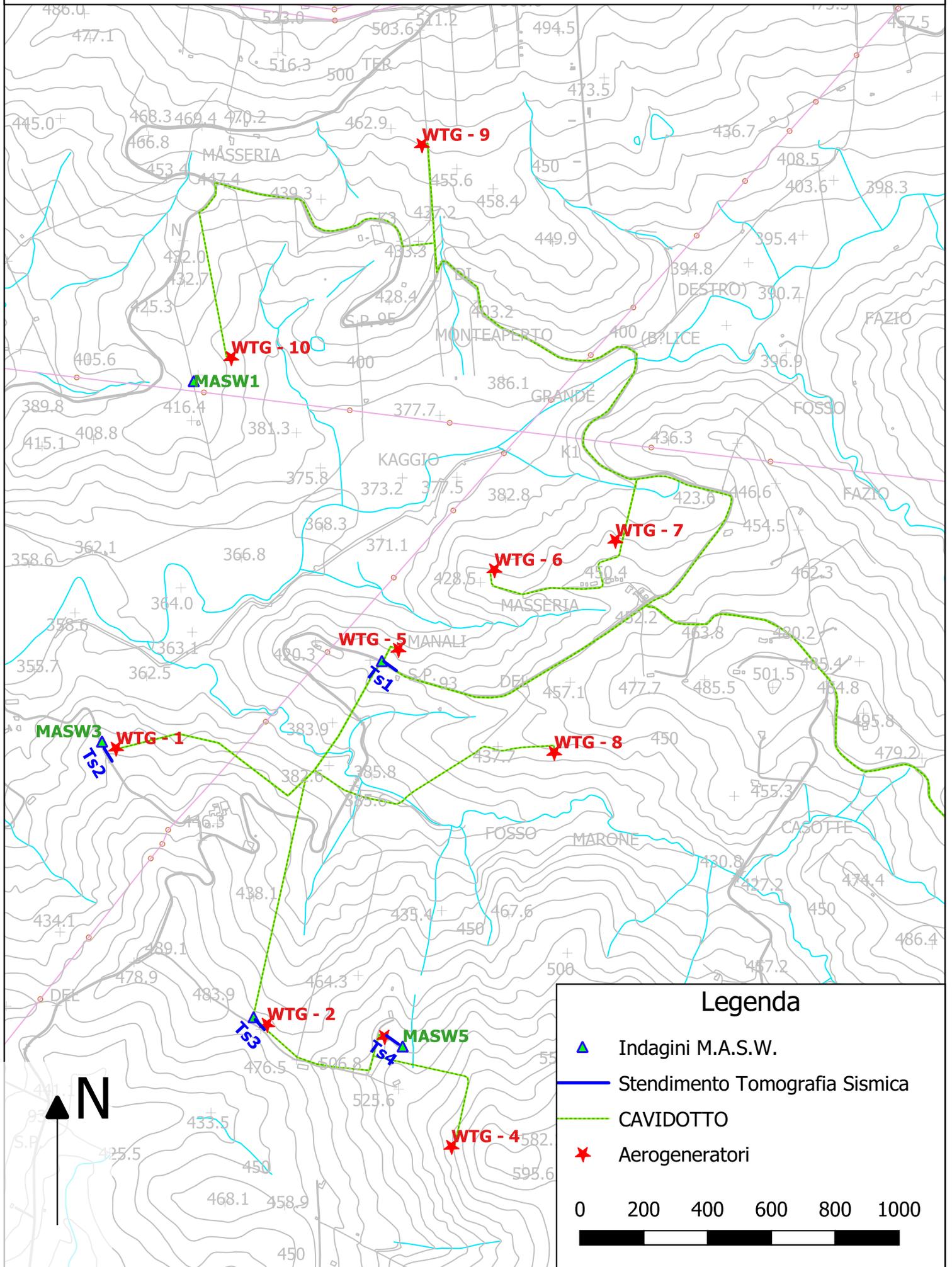
Con lo scopo di conoscere, già in questa fase di studio, le caratteristiche elastiche e sismiche dei terreni di fondazione con lo scopo di accertare la compatibilità geomorfologica e geologica delle strutture da realizzare, si è provveduto ad eseguire parte delle indagini sismiche previste nel programma delle indagini di cui al paragrafo precedente. In particolare sono state eseguite cinque indagini M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) e quattro 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 quattro 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 di tali elaborazioni sono di seguito esposti mentre la planimetria seguente consente di individuare l'ubicazione delle indagini esperite.

Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche esperite



8.3 Indagini M.A.S.W. (Descrizione del metodo d'indagine)

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.

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 seguenti schede, 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 mentre in basso lo stesso modello è stato rappresentato in maniera tabellare descrivendo profondità, spessore e velocità delle onde S di ogni singolo sismostrato.

M.A.S.W. 1

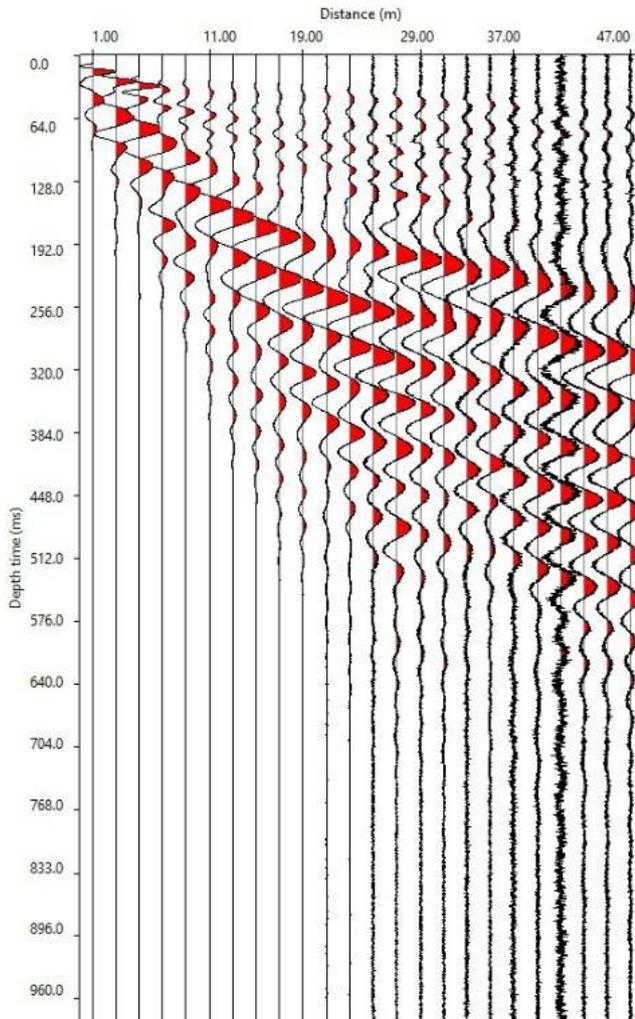
Distanza punto d'energizzazione: 1 m

Lunghezza stendimento: 46 m

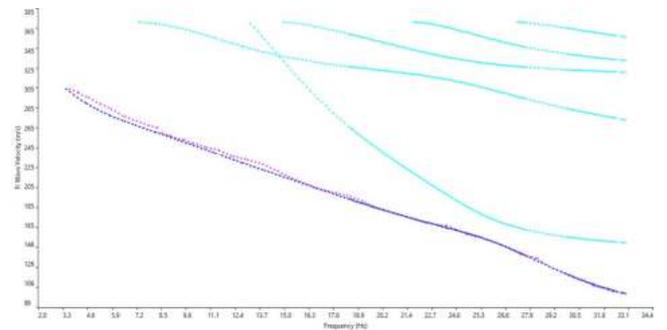
Distanza intergeofonica: 2 m



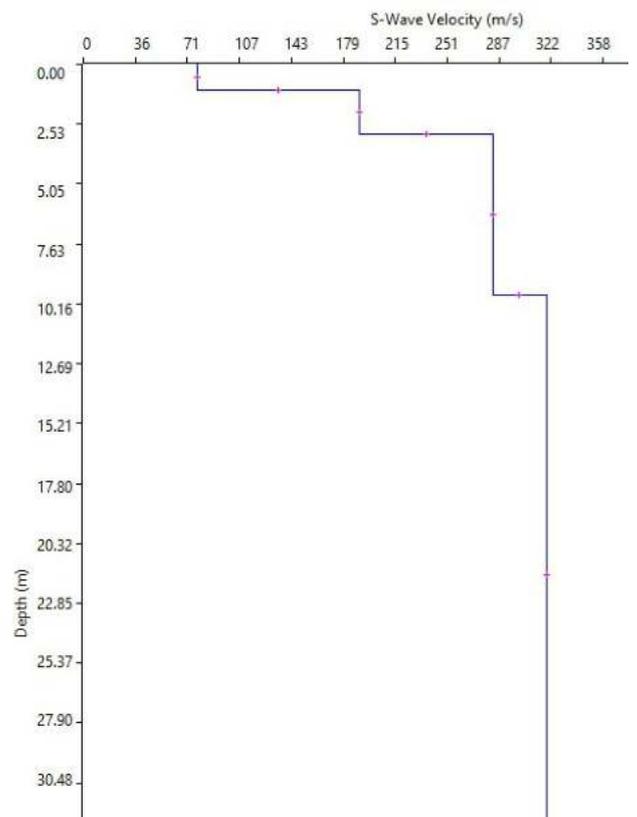
Sismogramma



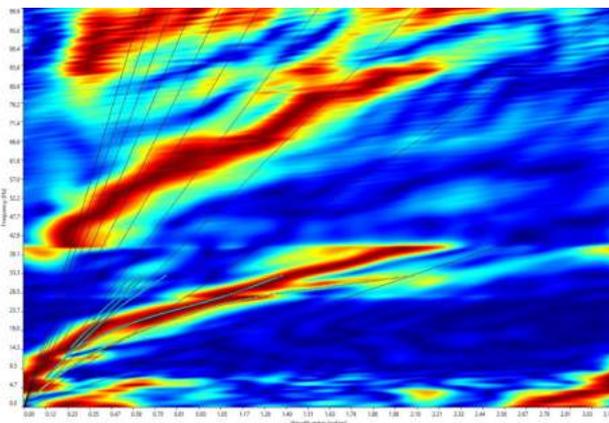
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 2

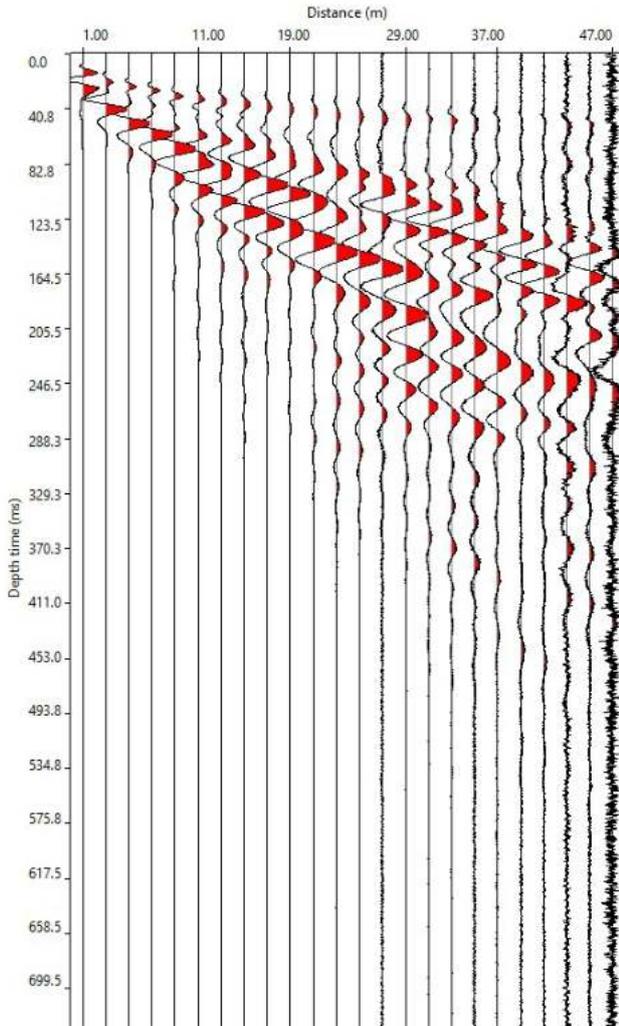
Distanza punto d'energizzazione: 1 m

Lunghezza stendimento: 46 m

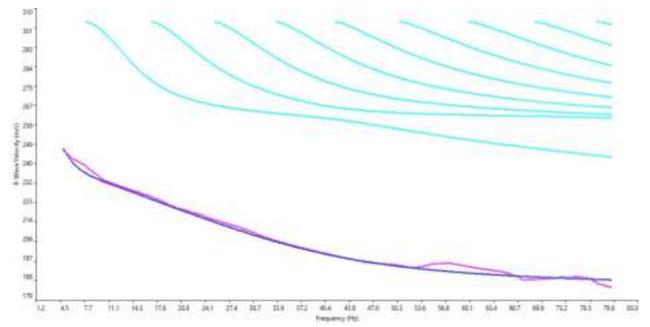
Distanza intergeofonica: 2 m



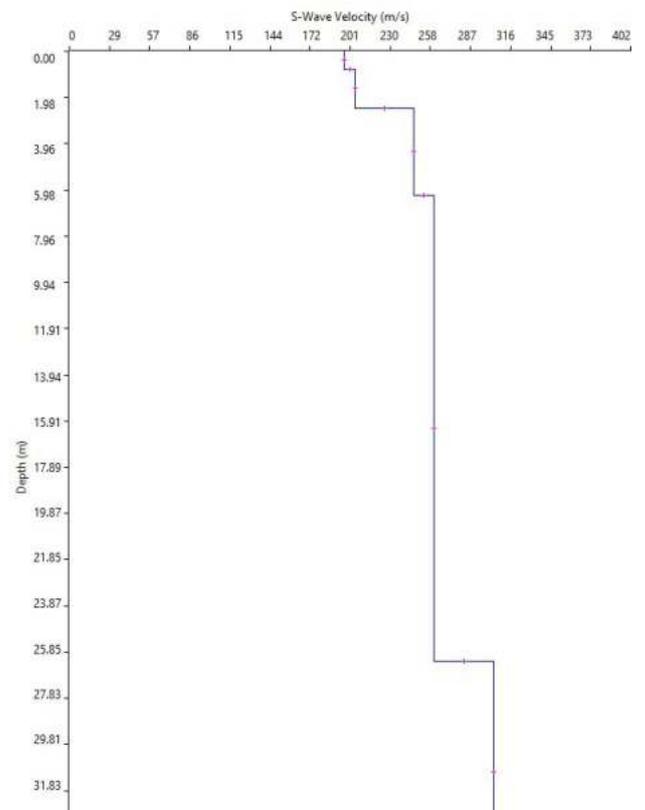
Sismogramma



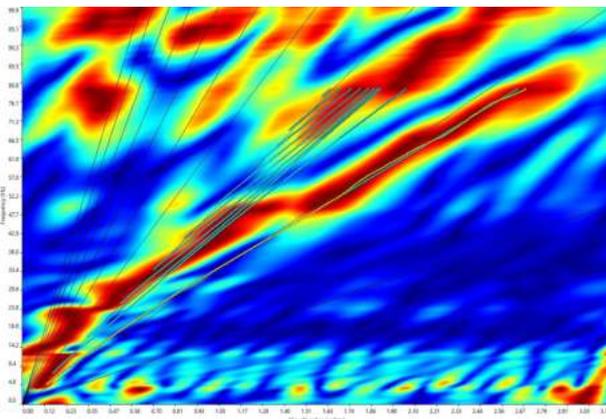
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 3

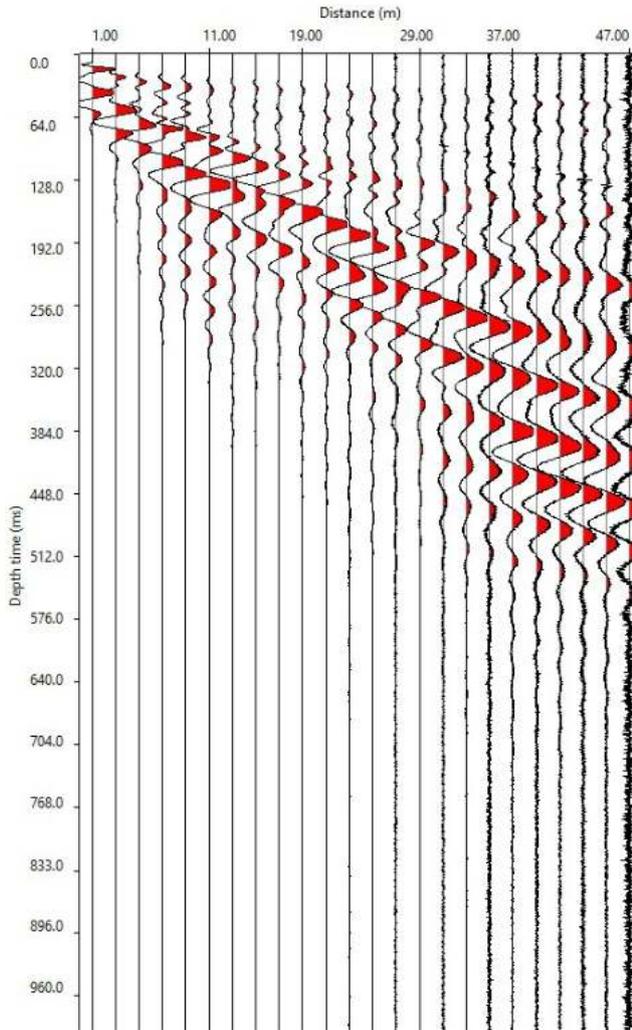
Distanza punto d'energizzazione: 1 m

Lunghezza stendimento: 46 m

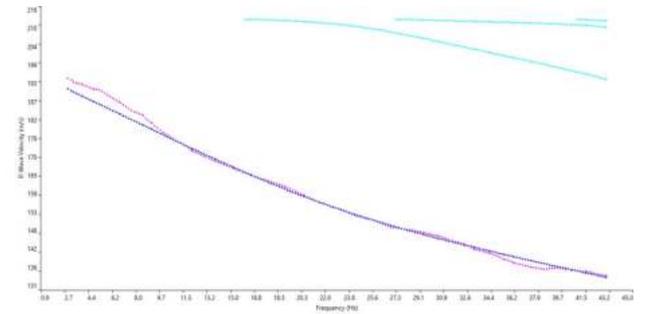
Distanza intergeofonica: 2 m



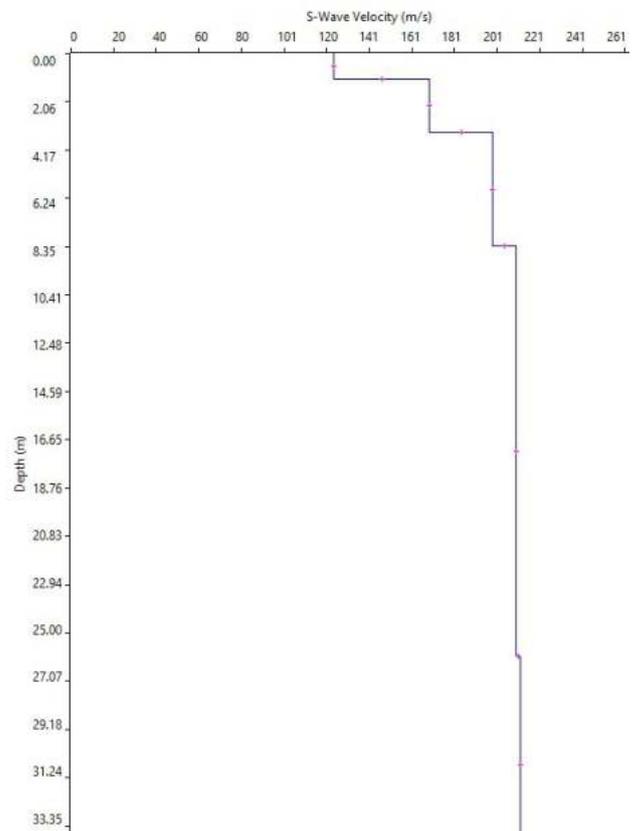
Sismogramma



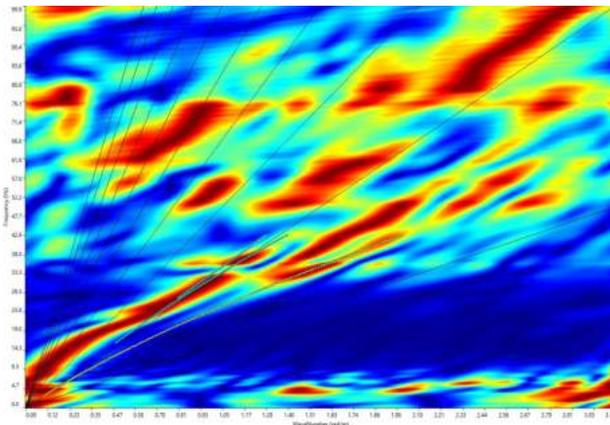
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



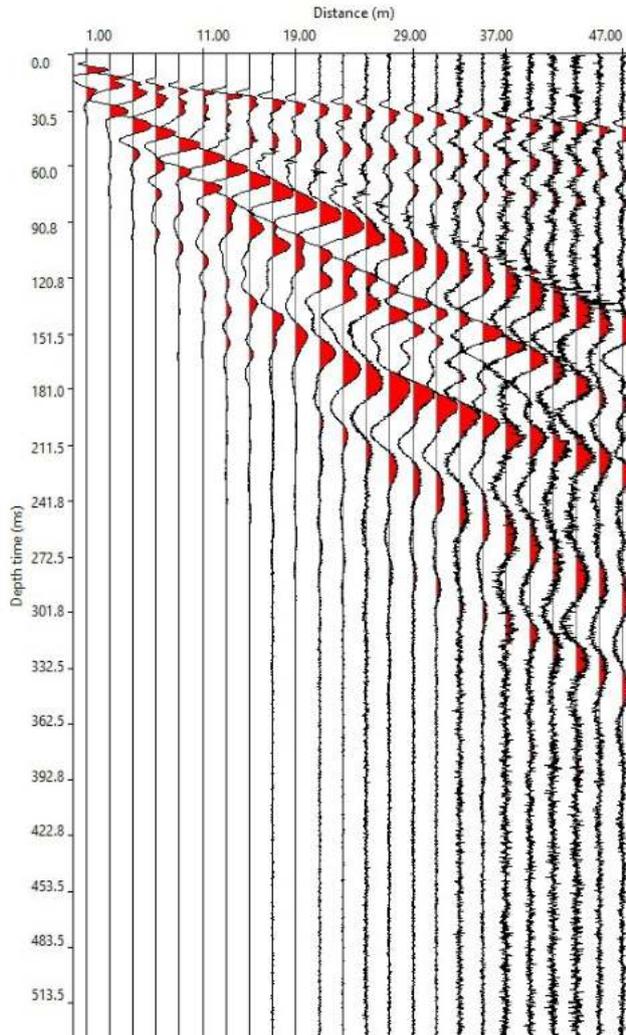
M.A.S.W. 4

Distanza punto d'energizzazione: 1 m

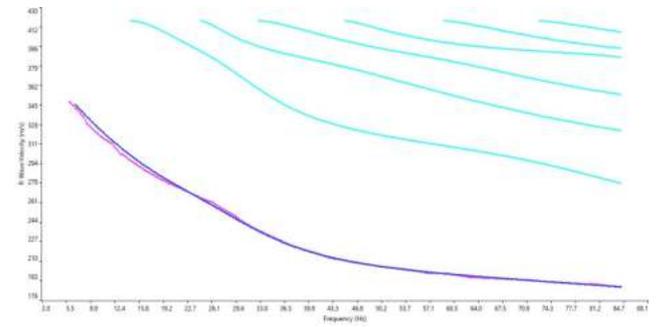
Lunghezza stendimento: 46 m

Distanza intergeofonica: 2 m

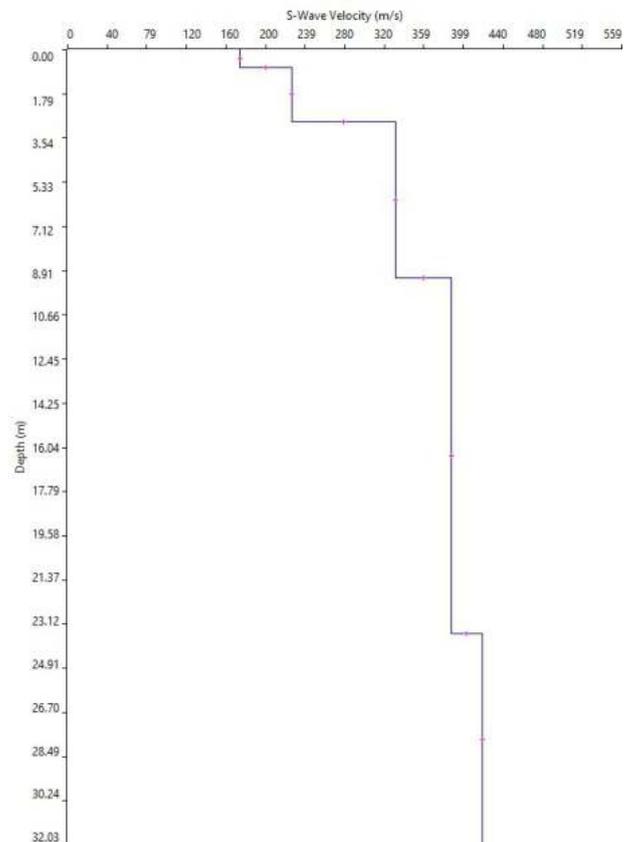
Sismogramma



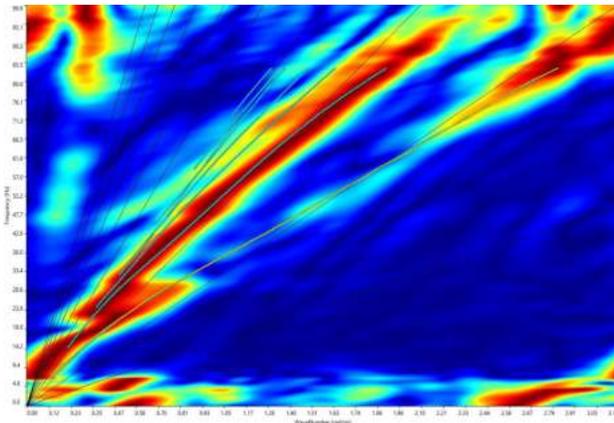
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



M.A.S.W. 5

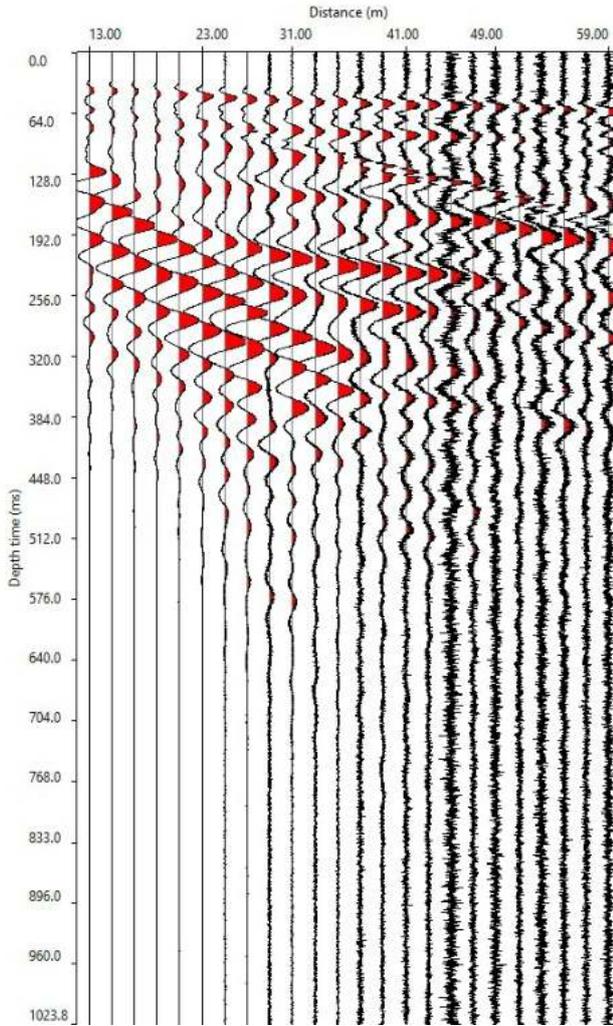
Distanza punto d'energizzazione: 13 m

Lunghezza stendimento: 46 m

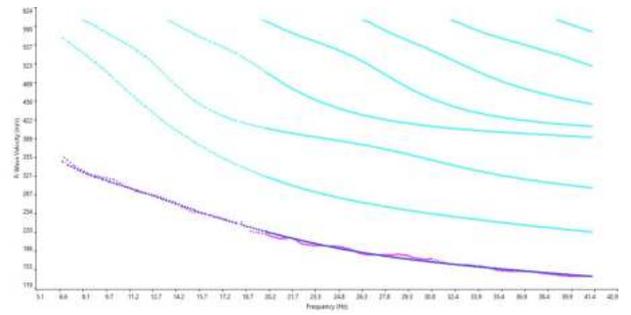
Distanza intergeofonica: 2 m



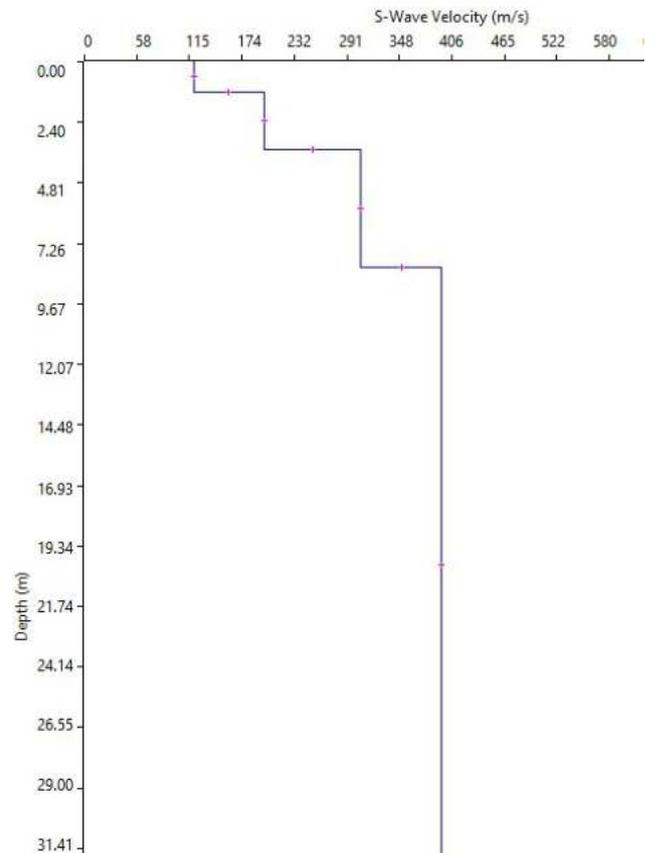
Sismogramma



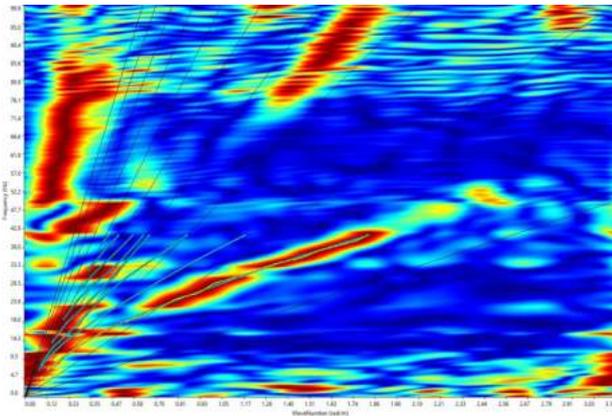
Curva di dispersione F - v



Modello d'inversione



Spettro F-K



8.4 Tomografia sismica a rifrazione

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.

8.4.1 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".*

8.4.2 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 7 punti di energizzazione o di scoppio di cui due (detti "Offset Shot") opportunamente distanti dai geofoni ed allineati lungo la linea, che sono serviti per ottenere maggiori informazioni più in profondità, due agli estremi dello stendimento chiamati "end shot" e 3 lungo la linea tra i geofoni. 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.

8.4.3 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.

In particolare, le tomografie sismiche sono state eseguite con sette punti di energizzazione per le onde "P", di conseguenza, sono state ottenute dromocrone costituite da sette curve che hanno permesso di poter modellizzare il sottosuolo studiando le variazioni laterali e verticali di velocità delle onde di pressione.

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.

8.4.4 Presentazione dei risultati

I risultati di tale processo di elaborazione sono riportati nelle seguenti schede. 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 è presente 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, mentre gli assi delle ascisse riportano le progressive in pianta lungo la linea dello stendimento. Lo zero di tale asse delle ascisse è ubicato al di sotto dell'endshot più vicino al geofono 1, mentre la sezione illustra il modello di distribuzione dei valori con cui le onde di pressione percorrono il sottosuolo al di sotto dello stendimento e compreso tra i due endshot.

Le seguenti tavole mostrano le dromocrone acquisite e i risultati delle elaborazioni. Sulle tavole con i modelli interpretativi sono anche riportati i valori numerici che descrivono la qualità delle elaborazioni eseguite.

TOMOGRAFIA SISMICA

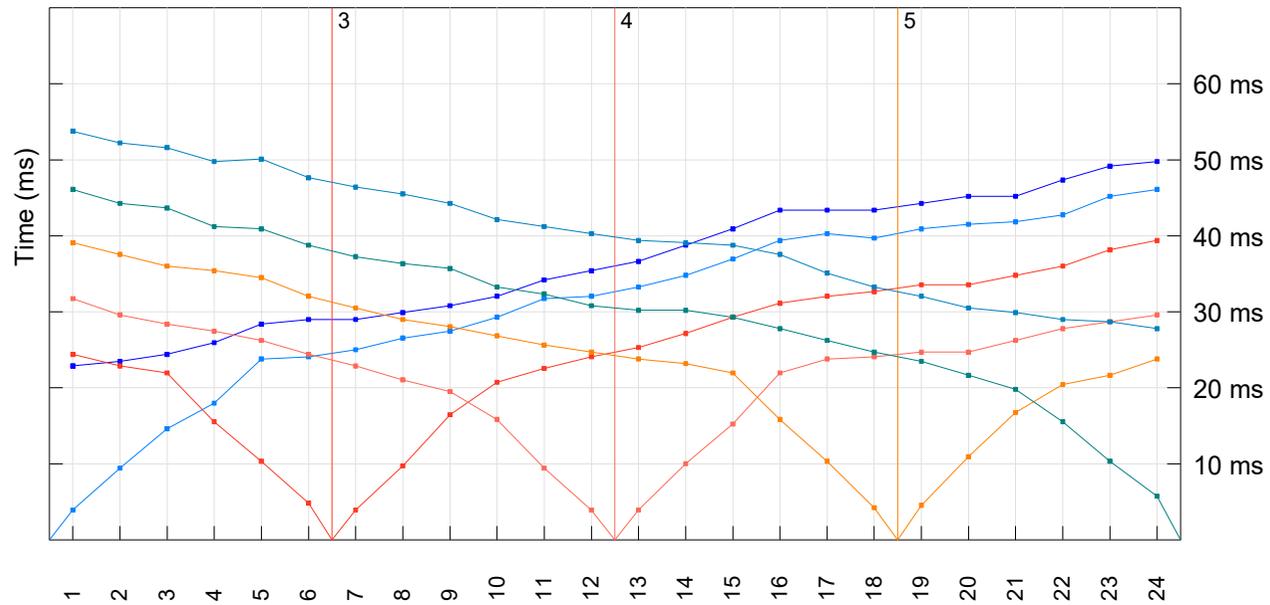
Stendimento TS1

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 46 m
Offset shot - Offset shot: 72 m



DROMOCRONA onde di pressione

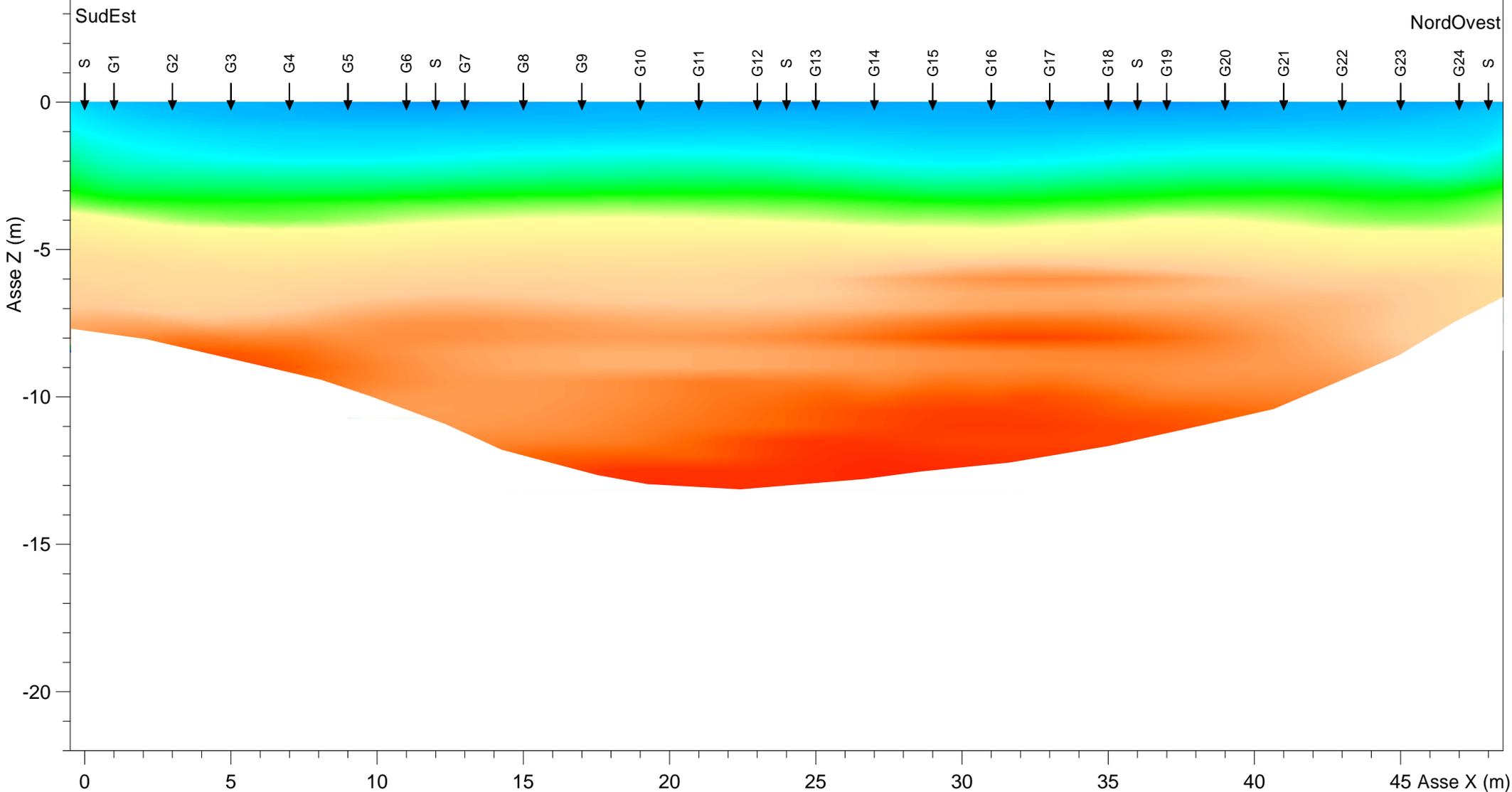
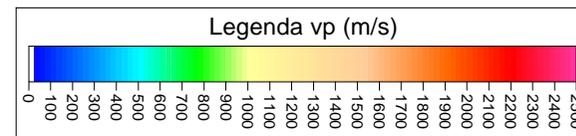
Sud-Est



Nord-Ovest

Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts1

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.18 ms
Total timedifference: 0.17 ms
RMS deviation: 1.46
nr. of identical positions: 168 of max. 168



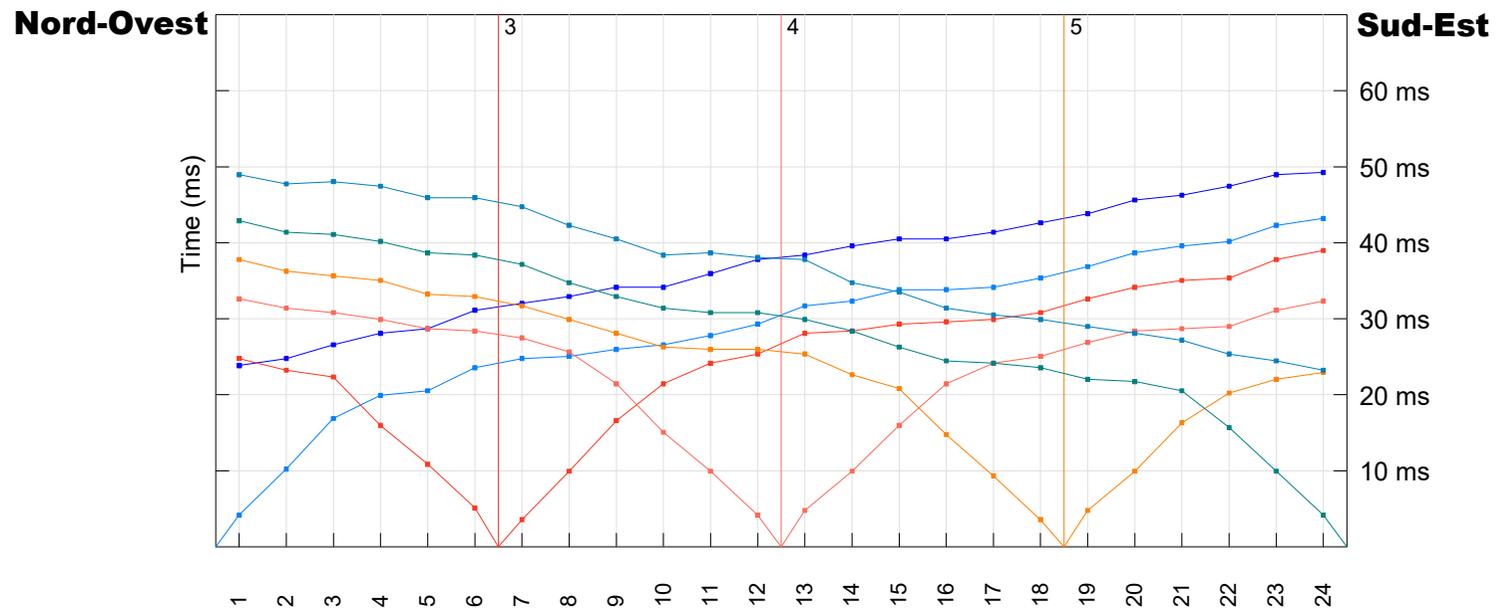
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS2

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 46 m
Offset shot - Offset shot: 72 m

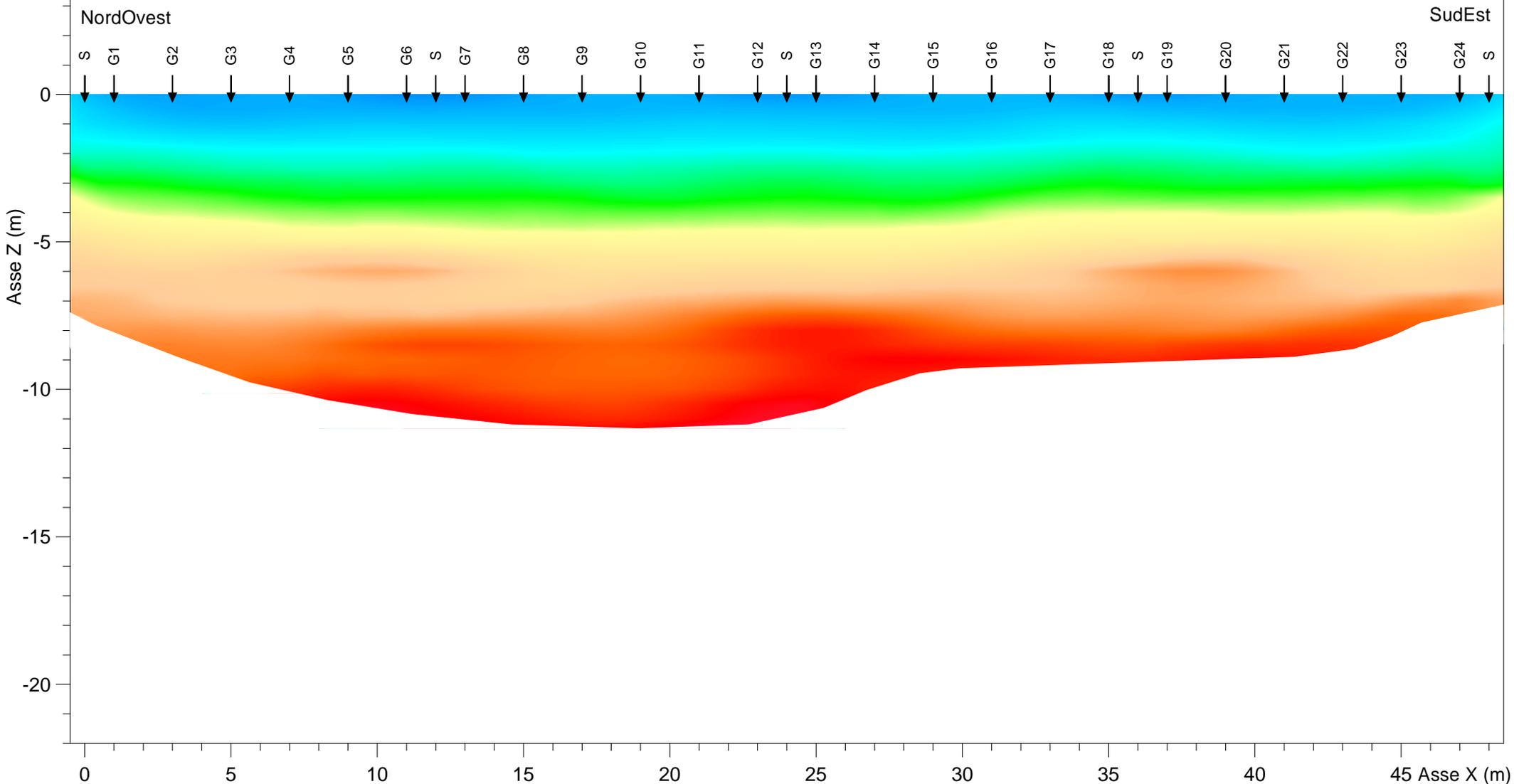
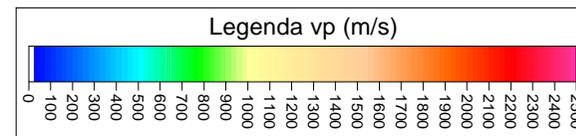


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts2

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 1.09 ms
Total timedifference: 0.12 ms
RMS deviation: 1.37
nr. of identical positions: 168 of max. 168



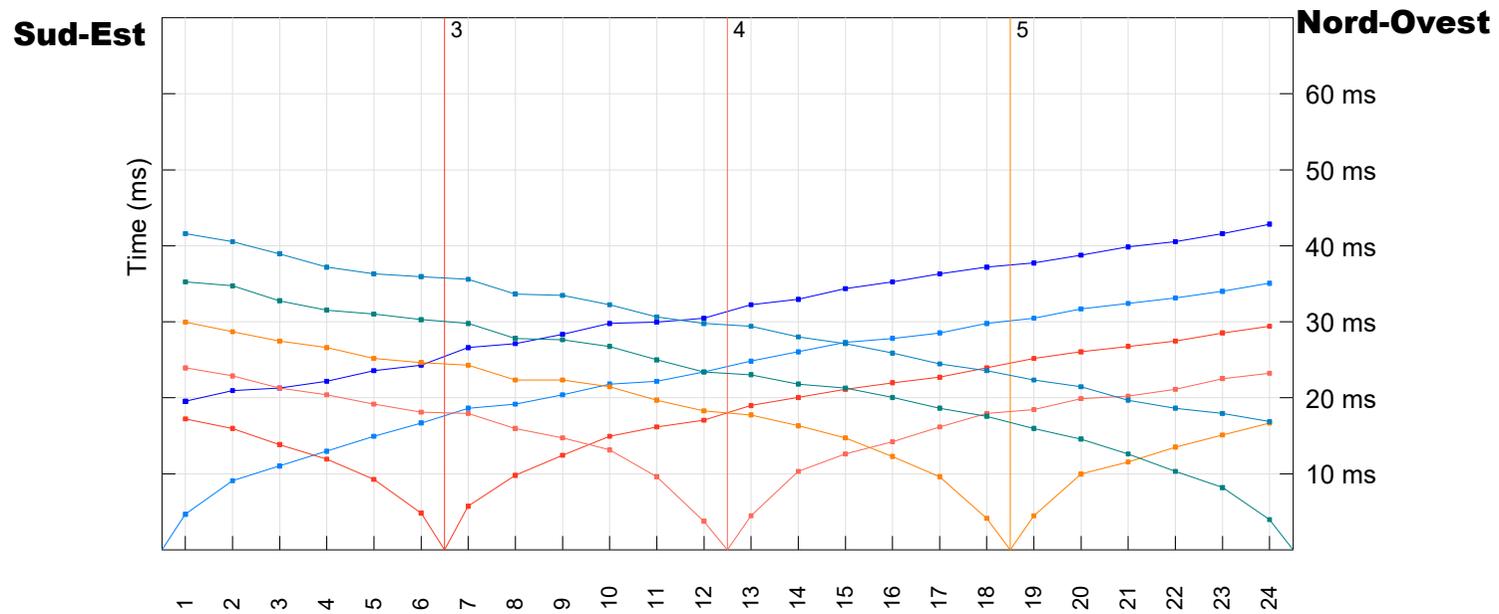
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS3

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 46 m
Offset shot - Offset shot: 72 m

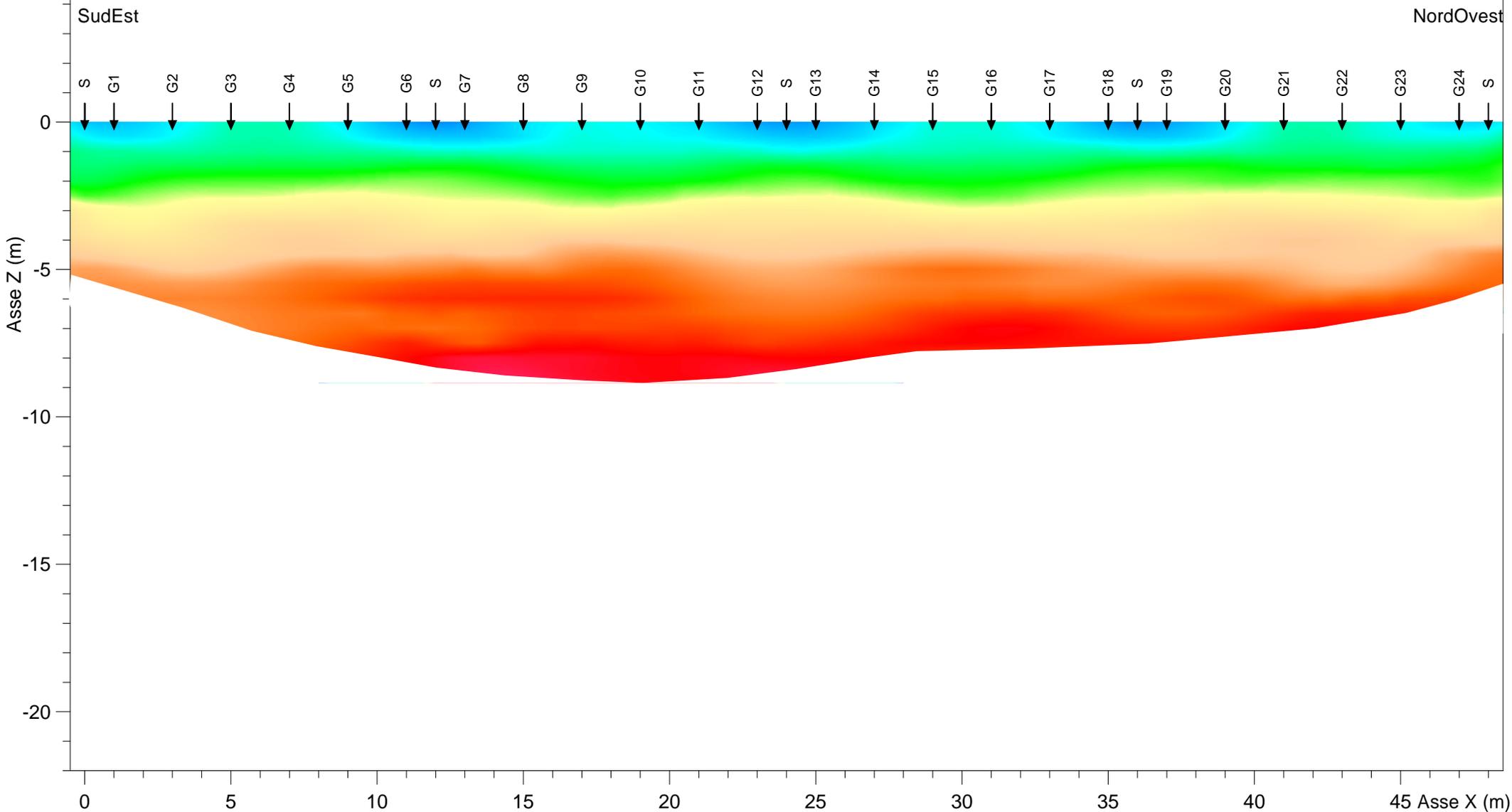
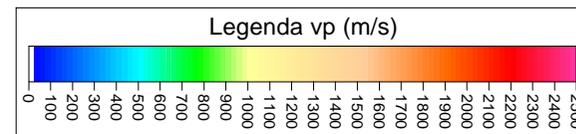


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts3

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 0.64 ms
Total timedifference: 0.24 ms
RMS deviation: 0.89
nr. of identical positions: 168 of max. 168



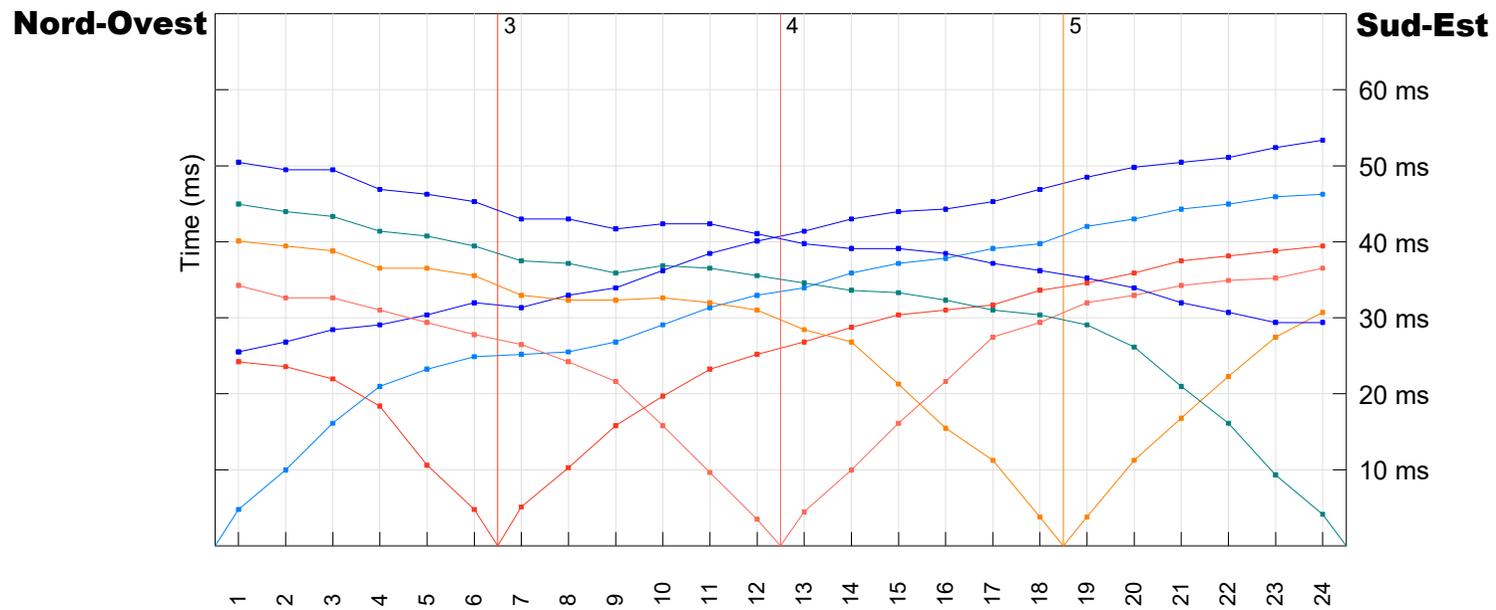
TOMOGRAFIA SISMICA

Stendimento TS4

Distanza intergeofonica media: 2 m
Lunghezza stendimento su p.c.:
End shot - End shot: 46 m
Offset shot - Offset shot: 72 m

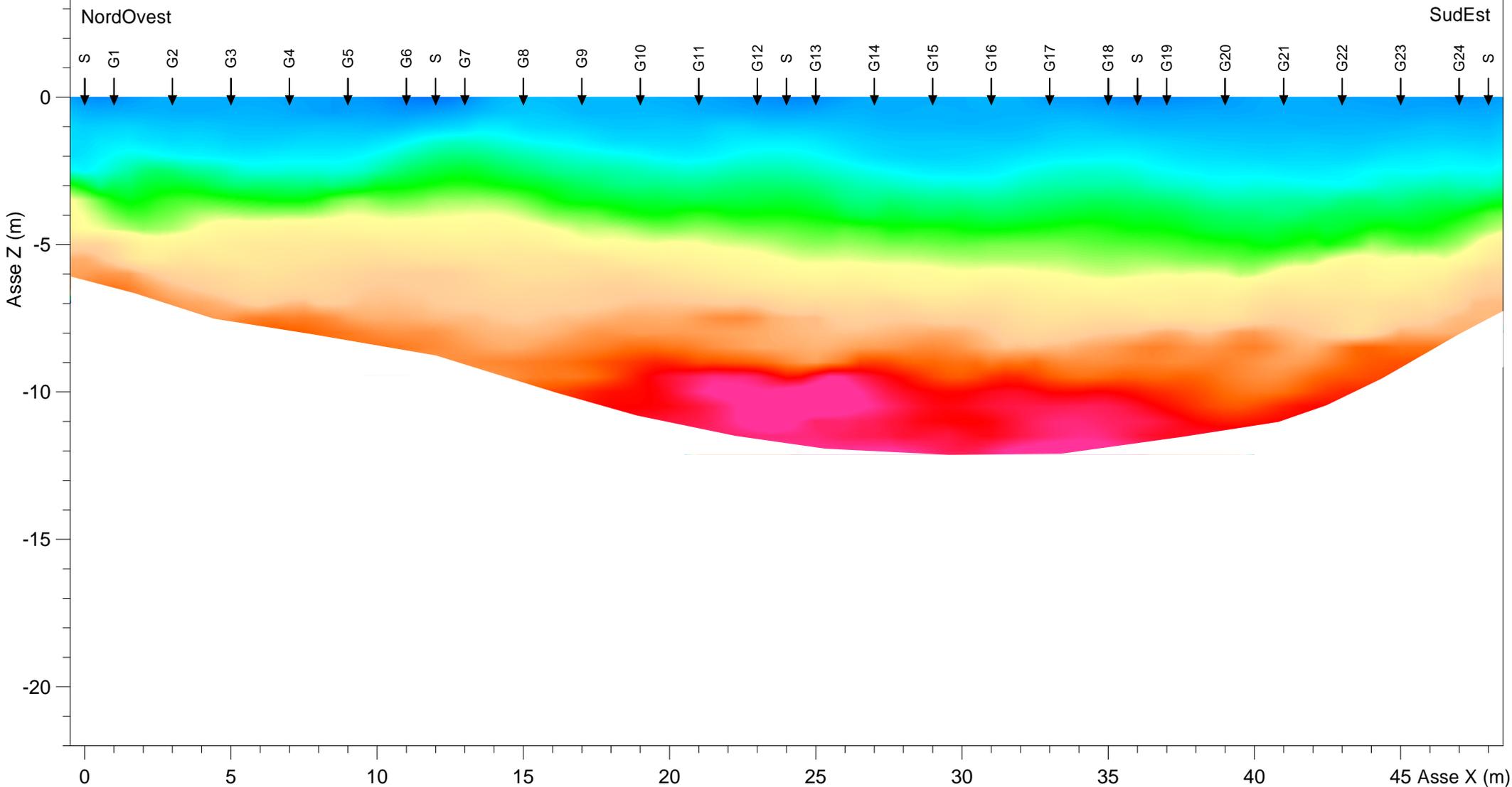
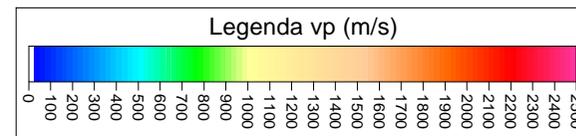


DROMOCRONA onde di pressione



Interpretazione tomografica dromocrona stendimento sismico Ts4

Algoritmo interpretativo utilizzato: SIRT
Total absolute timedifference 0.89 ms
Total timedifference: 0.03 ms
RMS deviation: 1.10
nr. of identical positions: 168 of max. 168



9 ANALISI DEI RISULTATI

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

9.1 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 da 3 a 6 m 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 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 9.3 si individuano, già in questa fase, le soluzioni progettuali più indicate.

9.2 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 un modello di distribuzione della velocità media delle onde di taglio S in senso verticale descritto nelle precedenti schede. Grazie a tali dati è stato possibile calcolare il $V_{s,eq}$ per ogni stendimento MASW eseguito, tali valori sono di seguito elencati:

MASW1 $V_{s,eq}$ = 270 m/s

MASW2 $V_{s,eq}$ = 258 m/s

MASW3 $V_{s,eq}$ = 200 m/s

MASW4 $V_{s,eq}$ = 352 m/s

MASW5 $V_{s,eq}$ = 326 m/s

Pertanto ai sensi delle NTC 2018, secondo i risultati del presente studio, il terreno di fondazione può essere ascritto alla categoria C della tabella 3.2.II e 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 nella parte alta di pendii con inclinazione media 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.

9.3 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 tale 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 saranno scavati 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.

10 CONCLUSIONI

Dai rilievi di superficie del sito e del suo intorno, dall'esame critico 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 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.

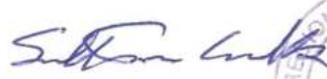
In fase esecutiva dovranno essere immancabilmente esperite le indagini geognostiche indirette e dirette e le prove geotecniche in situ ed in laboratorio per la definizione del modello geotecnico di dettaglio indispensabile per il corretto dimensionamento delle strutture fondali delle opere in progetto.

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, 19/01/2023

Il geologo
Dott. Salvatore Carrubba



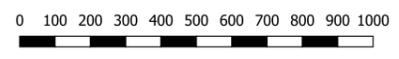
Allegato A

Stralcio Topografico



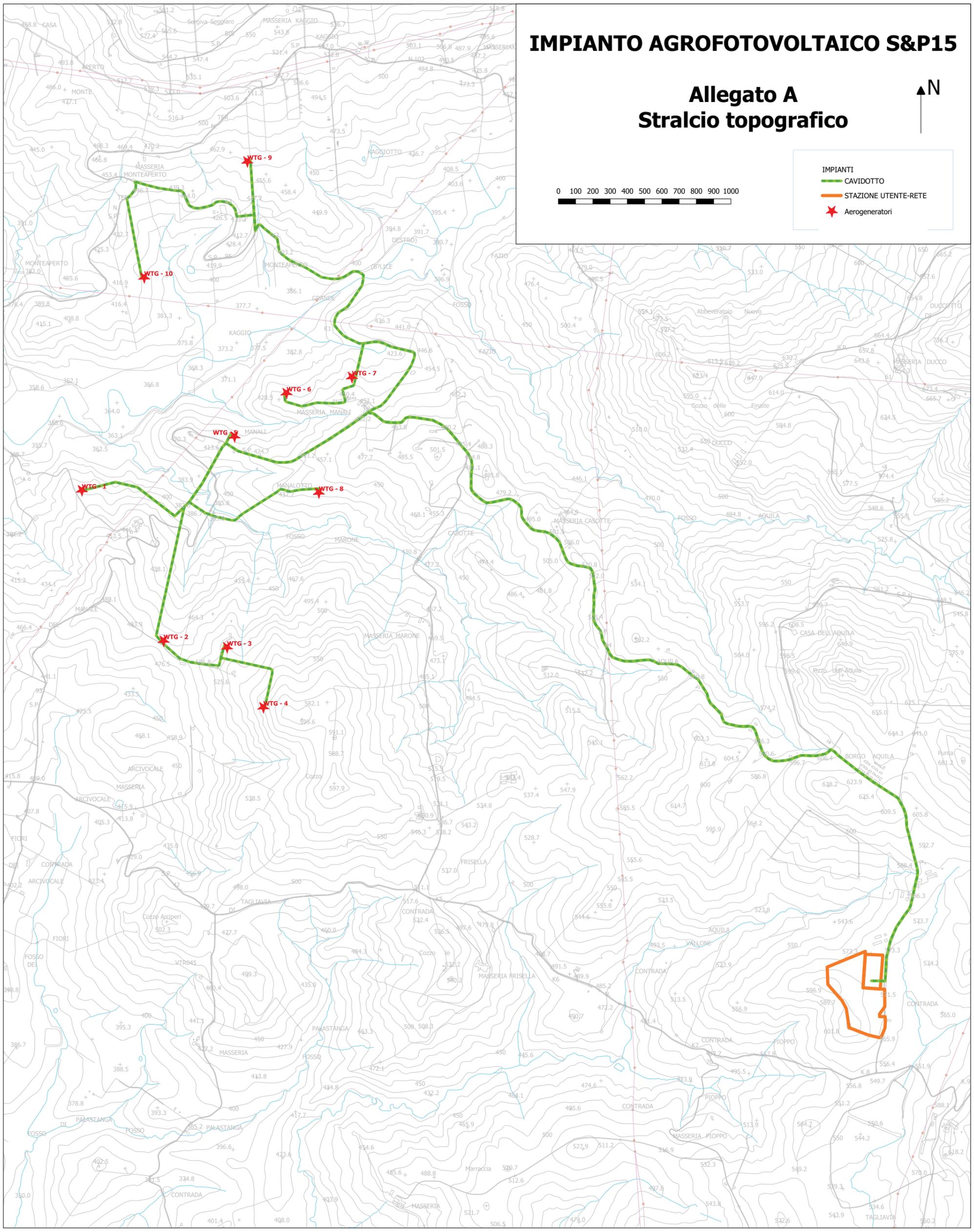
IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO S&P15

Allegato A Stralcio topografico



IMPIANTI

- CAVIDOTTO
- STAZIONE UTENTE-RETE
- Aerogeneratori



Allegato B

Carta Geomorfologica

IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO S&P15

Allegato B Carta Geomorfológica

N

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

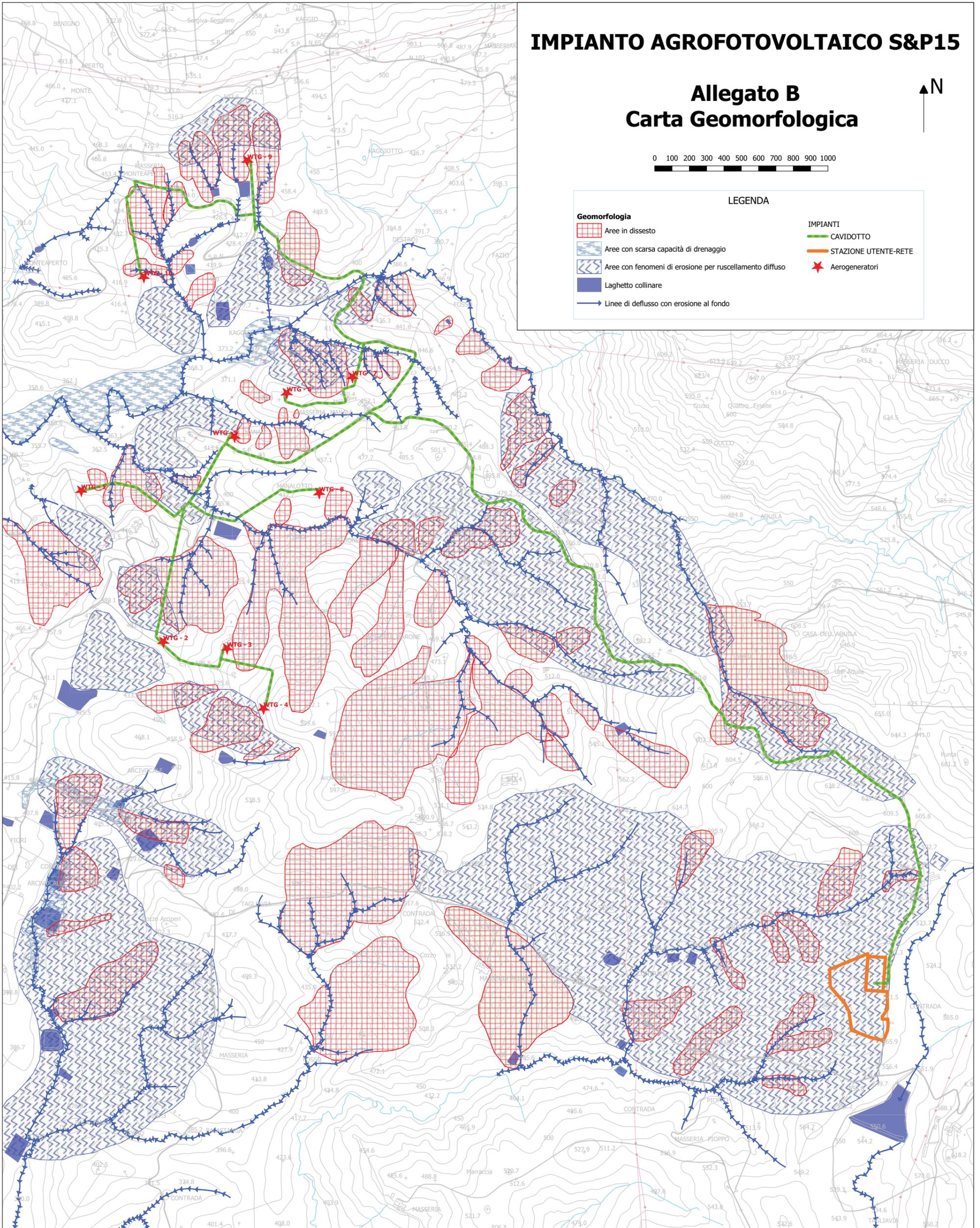
LEGENDA

Geomorfologia

-  Aree in dissesto
-  Aree con scarsa capacità di drenaggio
-  Aree con fenomeni di erosione per ruscellamento diffuso
-  Laghetto collinare
-  Linee di deflusso con erosione al fondo

IMPIANTI

-  CAVIDOTTO
-  STAZIONE UTENTE-RETE
-  Aerogeneratori



Allegato C
“Carte dei Dissesti”
“Carte della Pericolosità e del Rischio Geomorfologico”

ESTRATTO FUORI SCALA DELLA "CARTA DEI DISSESTI" ALLEGATA AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

REPUBBLICA ITALIANA



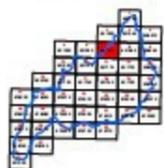
Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
(ART. 10 L. 18/06/2003 N. 30 CON LA LEGGE 3/08/2005 N. 151)

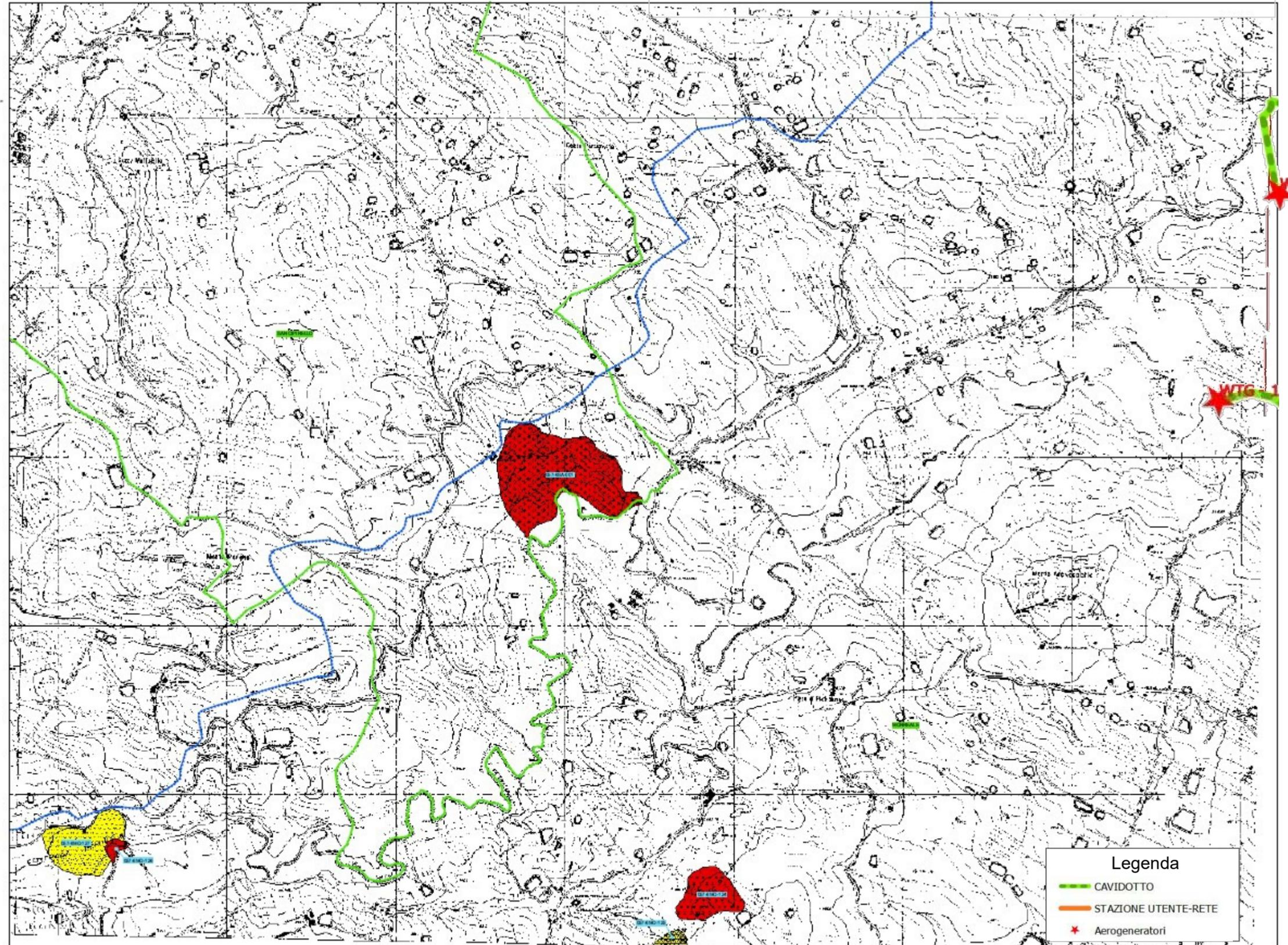
Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DEI DISSESTI N° 07
COMUNE DI
Monsale - San Cipriano
Scala 1:10.000



Anno 2005



LEGENDA

FENOMENI FRANOSI

- Cracks and settlements
- Rapid sliding
- Sinking
- Scouring
- Complex landslides
- Lateral expansion or gravitational deformation (DGPV)
- Slow sliding
- Diffuse landslide area
- Slow surface deformation
- Calanco
- Disasters consequent to accelerated erosion

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

Limite bacino idrografico del F. Belice

Limiti comunali

Legenda

- CAVIDOTTO
- STAZIONE UTENTE-RETE
- Aerogeneratori

WTG - 10

WTG - 11

ESTRATTO FUORI SCALA DELLA "CARTA DEI DISSESTI" ALLEGATA AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

REPUBBLICA ITALIANA



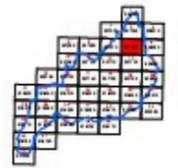
Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
(ART. 10 L. 183/2003 CON I MURICHI CON LA L. 247/06 E 303/06)

Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DEI DISSESTI N° 08
COMUNE DI
Mondello - Piana degli Albanesi
Scala 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

FENOMENI FRANOSI

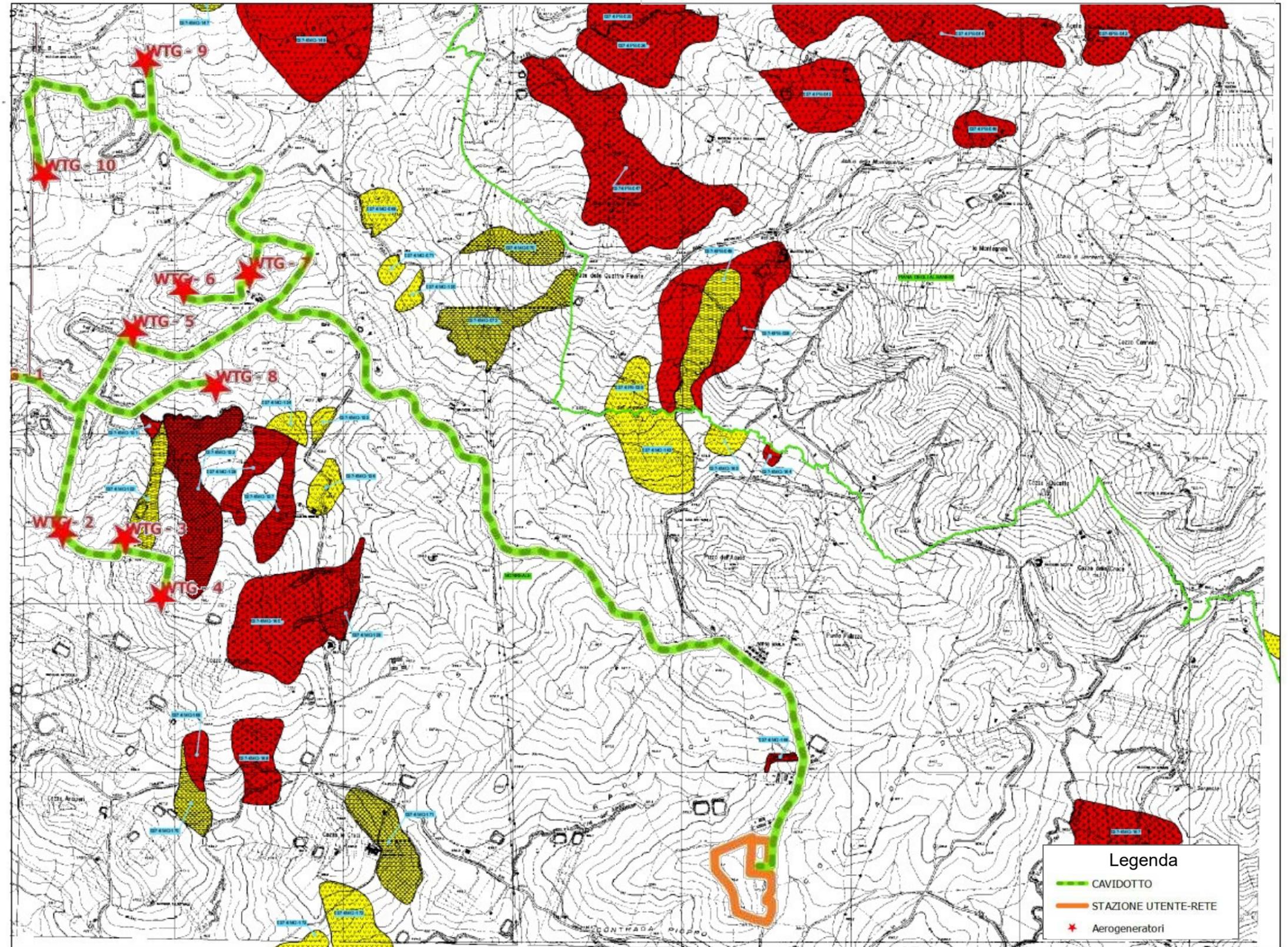
- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scartamento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

Limite bacino idrografico del F. Belice

Limiti comunali



Legenda

- CAVIDOTTO
- STAZIONE UTENTE-RETE
- Aerogeneratori

**ESTRATTO FUORI SCALA DELLA "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO"
ALLEGATA AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)**

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

**Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
(ART. 1 DEL 1° REGOLAMENTO CONSIGLIO REGIONALE 24 FEBBRAIO 2004)

**Bacino Idrografico del Fiume
Belice (057)**



**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E DEL
RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 07**
COMUNI DI:
Mormano - San Cignone
Scala 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITÀ

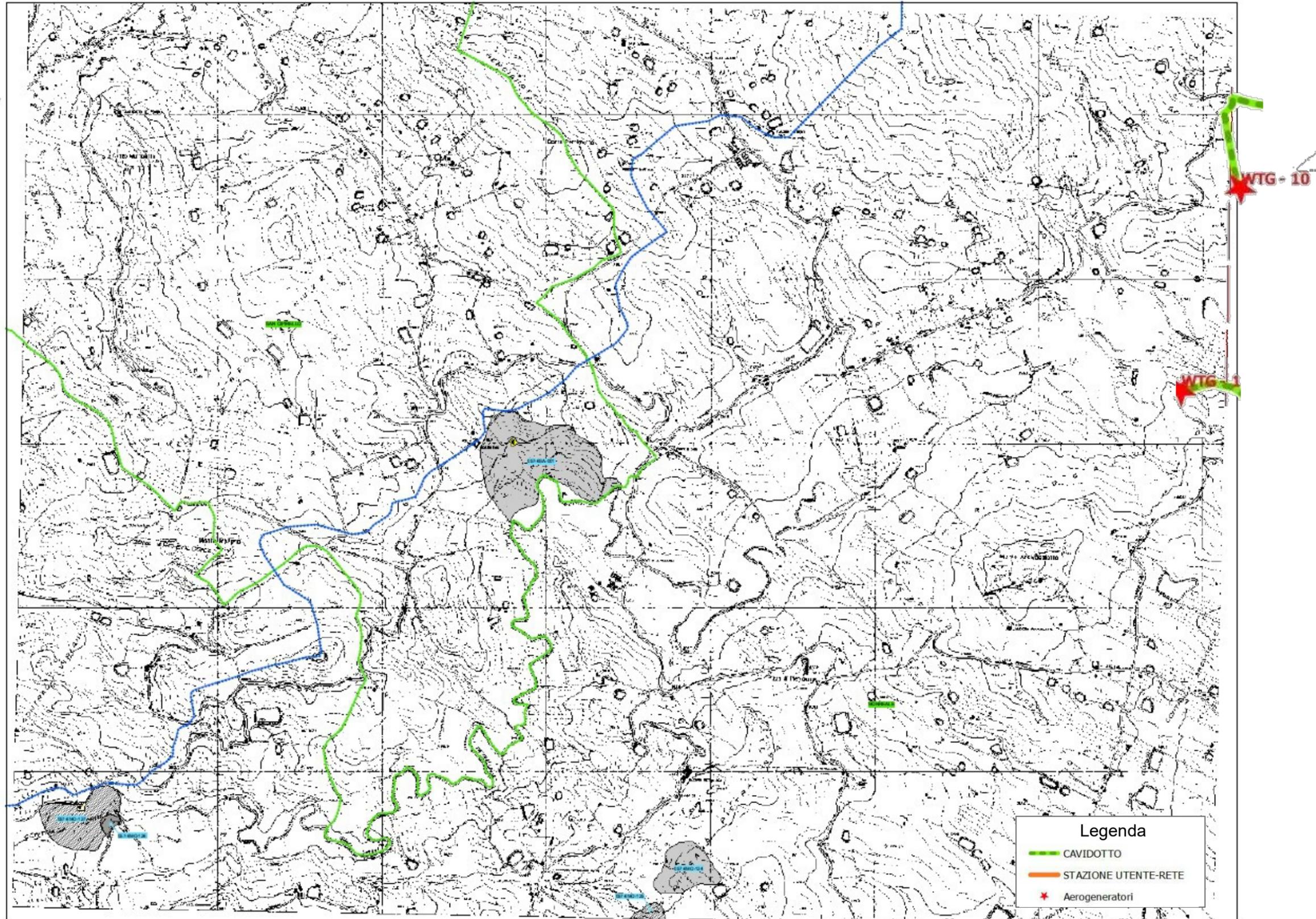
| | |
|--|------------------|
|  | P0 molto basso |
|  | P1 moderato |
|  | P2 medio |
|  | P3 elevato |
|  | P4 molto elevato |

LIVELLI DI RISCHIO

| | |
|--|------------------|
|  | R1 moderato |
|  | R2 medio |
|  | R3 elevato |
|  | R4 molto elevato |

 Limite bacino idrografico del F. Belice

 Limiti comunali



**ESTRATTO FUORI SCALA DELLA "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO"
ALLEGATA AL PIANO DI STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)**

REPUBBLICA ITALIANA



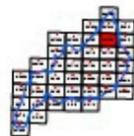
Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E GESTA DEL SUOLO"

**Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
(ART. 1 DL. 152/03/04/05/06/07/08/09/10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60/61/62/63/64/65/66/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76/77/78/79/80/81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/92/93/94/95/96/97/98/99/100)

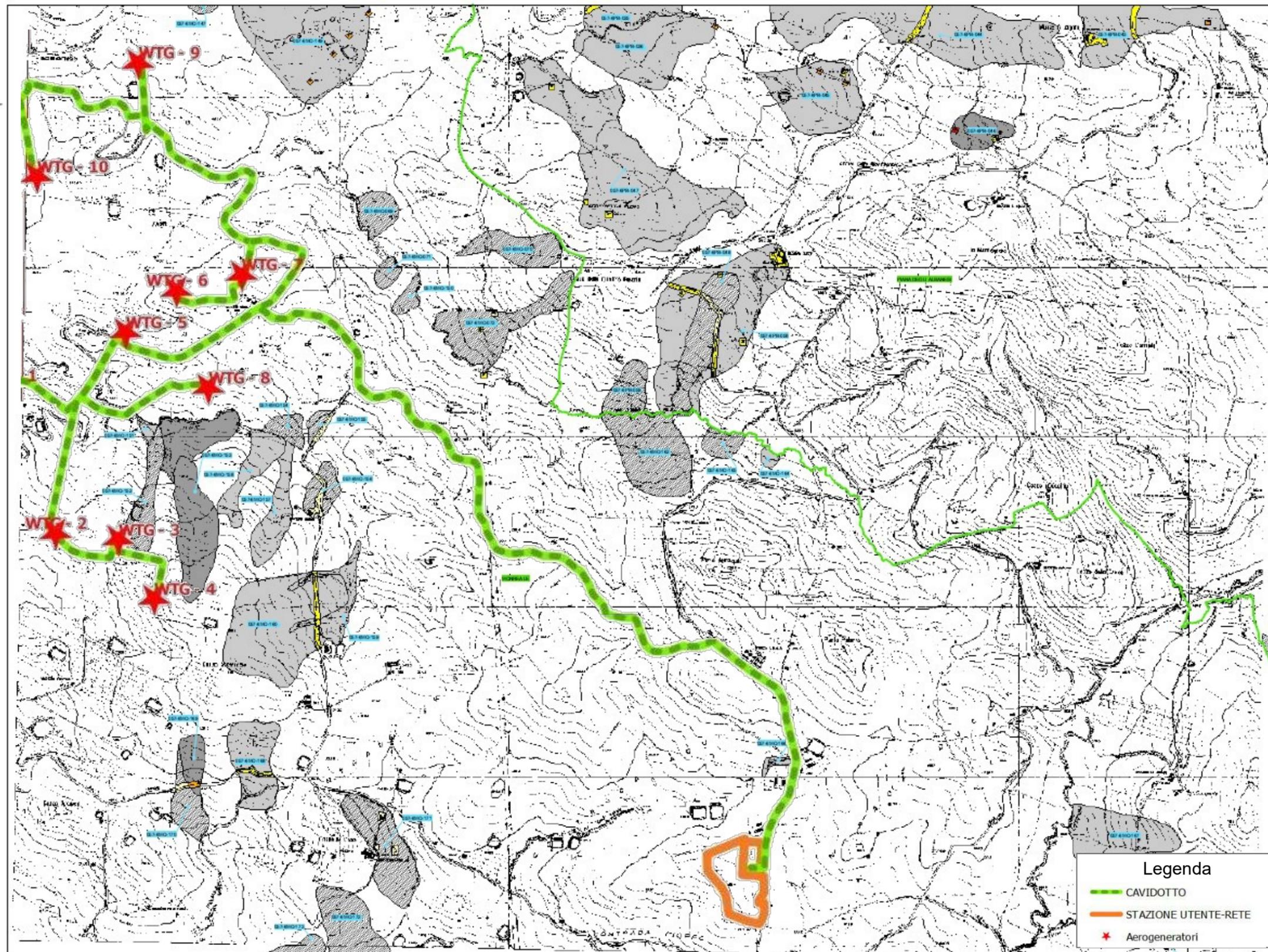
**Bacino Idrografico del Fiume
Belice (057)**



**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E DEL
RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 08**
COMUNE DI
Monteale - Piana Degli Albanesi
Scala 1:10.000



Anno 2005



LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 molto basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato

LIVELLI DI RISCHIO

-  R1 moderato
-  R2 medio
-  R3 elevato
-  R4 molto elevato

 Limite bacino idrografico del F. Belice

 Limiti comunali

Legenda

-  CAVIDOTTO
-  STAZIONE UTENTE-RETE
-  Aerogeneratori

Allegato D

Carta Geologica



IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO S&P15

Allegato D Carta Geologica



0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

LEGENDA

Formazioni Geologiche

- Coltre detritica eluvio colluviale e depositi di fondovalle (Attuale)
- Depositi Fluviali (Attuale)
- Formazione Castellana Sicula (Serravalliano Sup. - Tortoniano Inf.)
- Fm. Tavernola (Aquitaniiano Sup. Langhiano)
- Flysch Numidico (Oligocene Sup. - Miocene Inf.)
- Marne di San Cipirrello (Burdigaliano - Tortoniano Medio)

IMPIANTI

- CAVIDOTTO
- STAZIONE UTENTE-RETE
- Aerogeneratori

