COMUNE DI MAZARA DEL VALLO

- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -

RELAZIONE GEOLOGICA

"Progetto definitivo per la realizzazione di un parco eolico, costituito da 13 aerogeneratori denominato
MAZARA NORD

Comm.: ***Studio Bordonali*** per conto di
Società Eolica Due S.r.l.

Data: ***Settembre 2019***

Il Geologo
(Dott. Ignazio Giuffrè)

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

Via Mazzini, 9 - 90018 Termini Imerese (PA) Tel. 338.4373063
P. IVA: 04698200823 E Mail – ignazio.giuffre@gmail.com

Indice

PREMESSA ..... pag. 2

1. INQUADRAMENTO DELL'AREA ED OPERE PREVISTE IN PROGETTO ..... pag. 5
2. LINEAMENTI GEOLOGICI ..... pag. 9
3. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI ..... pag. 14
4. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI ..... pag. 19
5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE ..... pag. 21
6. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE ..... pag. 25
7. CONSIDERAZIONI LITOTECNICHE ..... pag. 32
8. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ..... pag. 34
9. SISMICA A RIFRAZIONE - TECNICA MASW ..... pag. 38
   - 9.1. CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE CON IL MASW ..... pag. 43
   - 9.2. RISULTATI DELLE ANALISI MASW ..... pag. 44
   - 9.3. CATEGORIA DI SUOLO INDIVIDUATA ..... pag. 53
10. RILIEVO DEI MICROTREMORI – METODO HVSR ..... pag. 54
11. ZONIZZAZIONE DEL TERRITORIO ..... pag. 62
12. CONCLUSIONI ..... pag. 65

COMUNE DI MAZARA DEL VALLO

- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -

RELAZIONE GEOLOGICA

"Progetto definitivo per la realizzazione di un parco eolico, costituito da 13 aerogeneratori denominato
MAZARA NORD

Premessa

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto definitivo, relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato *Mazara Nord*, ricadente nel territorio comunale di Mazara del Vallo.

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dallo Studio Bordonali, per conto della Società Eolica Due S.r.l..

Il tale ottica e per fornire al progettista, gli elementi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, in ottemperanza alle norme riportate nelle *N.T.C. 2018 - Norme tecniche per le costruzioni* (D.M. 17 Gennaio 2018), sono stati eseguiti diversi sopralluoghi, in modo da acquisire quanti più elementi possibili per una esatta ricostruzione delle condizioni generali caratterizzanti l'area in studio.

Il presente studio viene redatto in conformità all'art. 15 della L. R. 16/2016 ex art. 13 L. 64/74, per la richiesta di parere di compatibilità geomorfologica.

In considerazione del fatto che, per la realizzazione del parco eolico, si dovrà effettuare una variante urbanistica per il sito prescelto, lo studio geologico è stato redatto in conformità alla Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – *"Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici"* (G.U.R.S. n° 28 del 11.7.2014).

I dati acquisiti durante i sopralluoghi ed i rilevamenti geologici di superficie, sono stati integrati con quanto riportato nella letteratura tecnica specializzata (*"Carta geologica d'Italia – Foglio 265 Mazara del Vallo"* Servizio geologico d'Italia 1955).

Molte informazioni di carattere geologico e stratigrafico sono state desunte dall'analisi dei numerosi fronti di scavo naturali ed artificiali presenti nell'area in studio, e da dati ottenuti dall'esecuzione di pozzetti esplorativi realizzati per altri lavori, in prossimità dell'area in esame.

Tuttavia, è da tenere in considerazione che per la realizzazione dell'impianto eolico occorrerà programmare e realizzare indagini in sito puntiformi, così come previsto dalla normative vigenti.

Inoltre sono state eseguite indagini geofisiche con sismica a rifrazione applicando il metodo *MASW*, ed indagini di sismica passiva HVSR, al fine di approfondire le conoscenze sui terreni oggetto di studio, ed in particolare per la definizione della categoria di suolo di fondazione ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri, ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e dalla Circolare 21/01/2019, n. 7 *"Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"* (G. U. Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume Màzaro e area territoriale tra il bacino idrografico del Fiume Màzaro ed il bacino idrografico del Fiume Arena (053),* redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 26.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007.

Sarà compito del progettista, sulla scorta dei dati di seguito riportati e da quelli emersi dalle indagini eseguite, effettuare le verifiche e le scelte progettuali così come previsto dalle norme vigenti (*parere del Consiglio di Stato n°154 del 02.06.1994*).

Il lavoro è stato quindi, articolato sviluppando il seguente schema:

1. inquadramento dell'area ed opere previste in progetto;
2. lineamenti geologici;
3. lineamenti geomorfologici;
4. lineamenti idrogeologici;
5. considerazioni climatiche;
6. considerazioni geotecniche;
7. considerazioni litotecniche;
8. pericolosità sismica locale;
9. sismica a rifrazione - tecnica MASW;
   9.1. classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW;
   9.2. risultati delle analisi MASW;
   9.3. categoria di suolo individuata;
10. rilievo dei microtremori – Metodo HVSR
11. zonizzazione del territorio;
12. conclusioni.

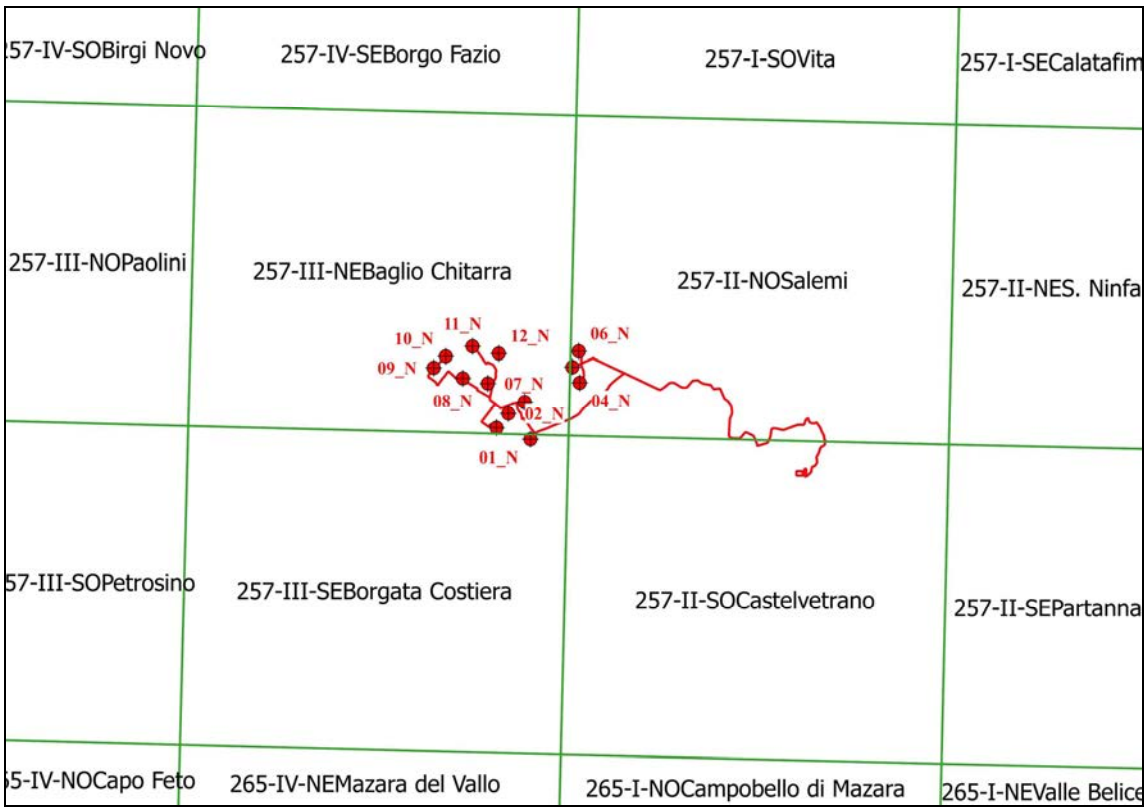
Risultano allegati alla presente relazione i seguenti elaborati:

- carta dell'inquadramento territoriale in scala 1:25.000 (***Tav. 1***);
- carta geologica in scala 1:10.000 (***Tav. 2***);
- carta geomorfologica in scala 1:10.000 (***Tav. 3***);
- carta idrogeologica in scala 1:10.000 (***Tav. 4***);
- carta litotecnica in scala 1:10.000 (***Tav. 5***);
- carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000 (***Tav. 6***);
- carta della pericolosità sismica locale in scala 1:10.000 (***Tav. 7***);
- carta ubicazione indagini sismiche.

1. Inquadramento dell'area ed opere previste in progetto

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte sud-occidentale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'ampia spianata facente parte del territorio comunale di Mazara del Vallo, e ricadente nelle contrade denominate: *Giammitro, Calamita Nova, Bucari* e *Lipponello.*

Topograficamente, il sito di interesse ricade nelle Tavolette I.G.M.I. in scala 1:25.000, Foglio n° 257, quadrante III, orientamento N.E. *"Baglio Chitarra"*, Foglio n° 257, quadrante II, orientamento N.O. *"Salemi",* Foglio n° 257, quadrante III, orientamento S.E. *"Borgata Costiera"* e Foglio n° 257, quadrante II, orientamento S.O. *"Castelvetrano"*.



Quadro d'unione delle tavolette IGMI 1:25.000 con ubicazione dell'impianto

Tale settore comunale è caratterizzato dalla presenza di sporadiche masserie sparse per le contrade ed una serie di vigneti.

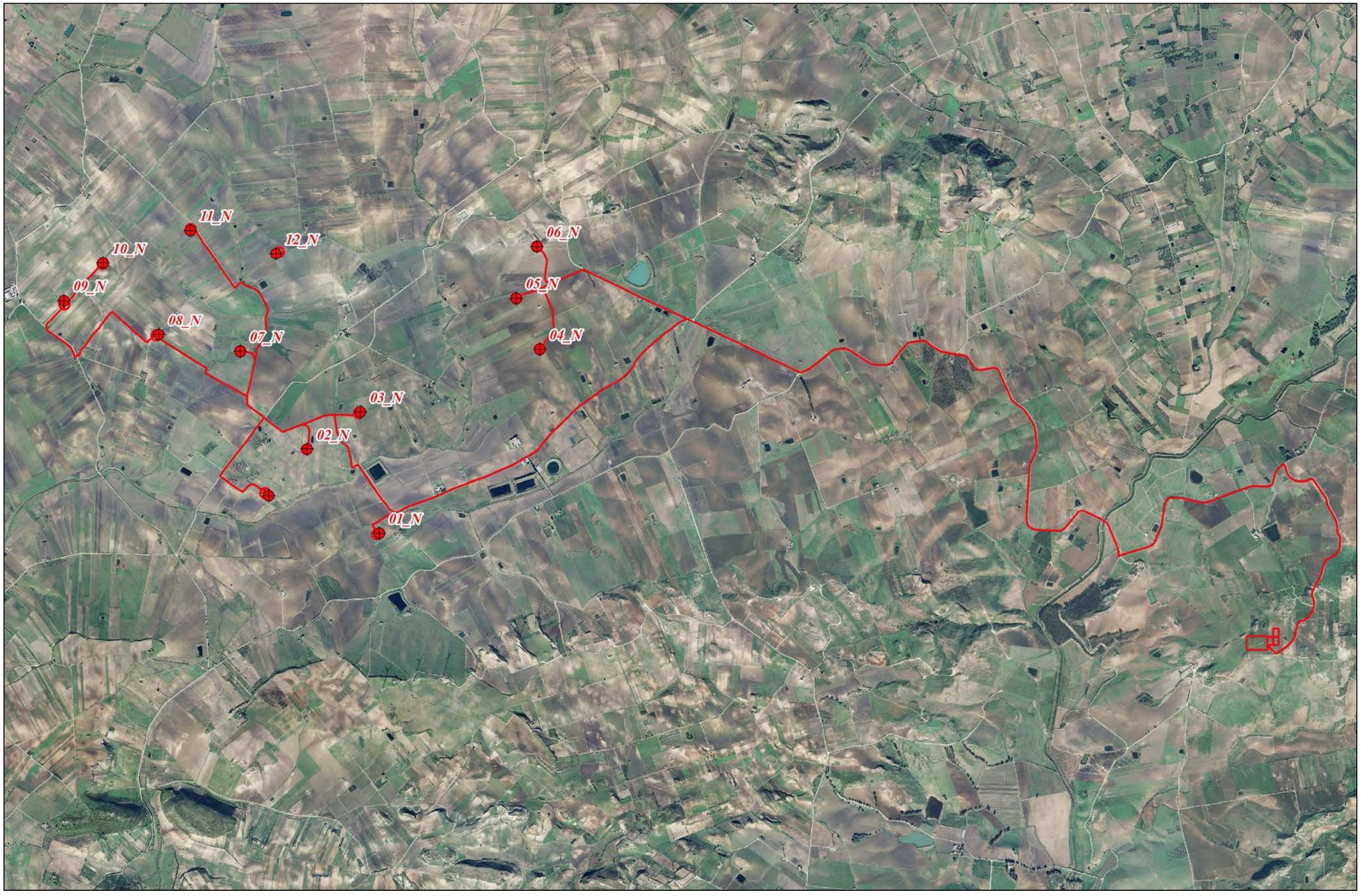
In dettaglio si prevede di installare 13 aerogeneratori che avranno potenza 4,8 MW ciascuno, per una potenza totale istallata di 62,4 MW, altezza al mozzo 120m e diametro rotore 158m.

Il parco eolico sarà costituito dagli aerogeneratori, da dalle nuove piste di accesso alle piazzole degli stessi e dalle opere per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) dell'energia elettrica. L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà vettoriata tramite in cavidotto MT interrato ricadente nei Comuni di Mazara del Vallo, Castelvetrano e Santa Ninfa (TP). La stazione di trasformazione MT/AT sarà localizzata nel Comune di Santa Ninfa (TP) nelle vicinanze della nuova stazione in AT della RTN presso cui avverrà la consegna dell'energia.

L'iniziativa si inquadra nel piano di sviluppo di impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile che la società "Società Eolica DUE S.r.l." intende realizzare nella Regione Sicilia per contribuire al soddisfacimento delle esigenze di energia pulita e sviluppo sostenibile sancite sin dal Protocollo Internazionale di Kyoto del 1997 e ribadite nella "Strategia Energetica Nazionale 2017".

Per i particolari si rimanda agli elaborati di progetto.

Per una più minuziosa ubicazione dell'area in questione, si rimanda alla tavola di inquadramento territoriale ***(Tav. 1)*** in scala 1:25.000 allegata.


11_N
12_N
10_N
09_N
08_N
07_N
06_N
05_N
04_N
03_N
02_N
01_N

2. Lineamenti geologici

La geologia dell'area in esame e di un suo ampio intorno, è rappresentata, nella sua porzione più superficiale, quasi esclusivamente dalla presenza di sedimenti costieri, di tipo calcarenitico, d'età quaternaria, modellati dalle periodiche oscillazioni eustatiche. In particolare, nel tardo Pleistocene inferiore si sono depositati sedimenti costieri, noti come Calcarenite di Marsala (Emiliano II - Siciliano), disposti in discordanza sui depositi più antichi. In seguito ad una fase trasgressiva del Pleistocene medio si assiste alla deposizione di una placca calcarenitico - sabbiosa alla quale Ruggieri & Unti (1974) diedero il nome di Grande Terrazzo Superiore (G. T. S.).

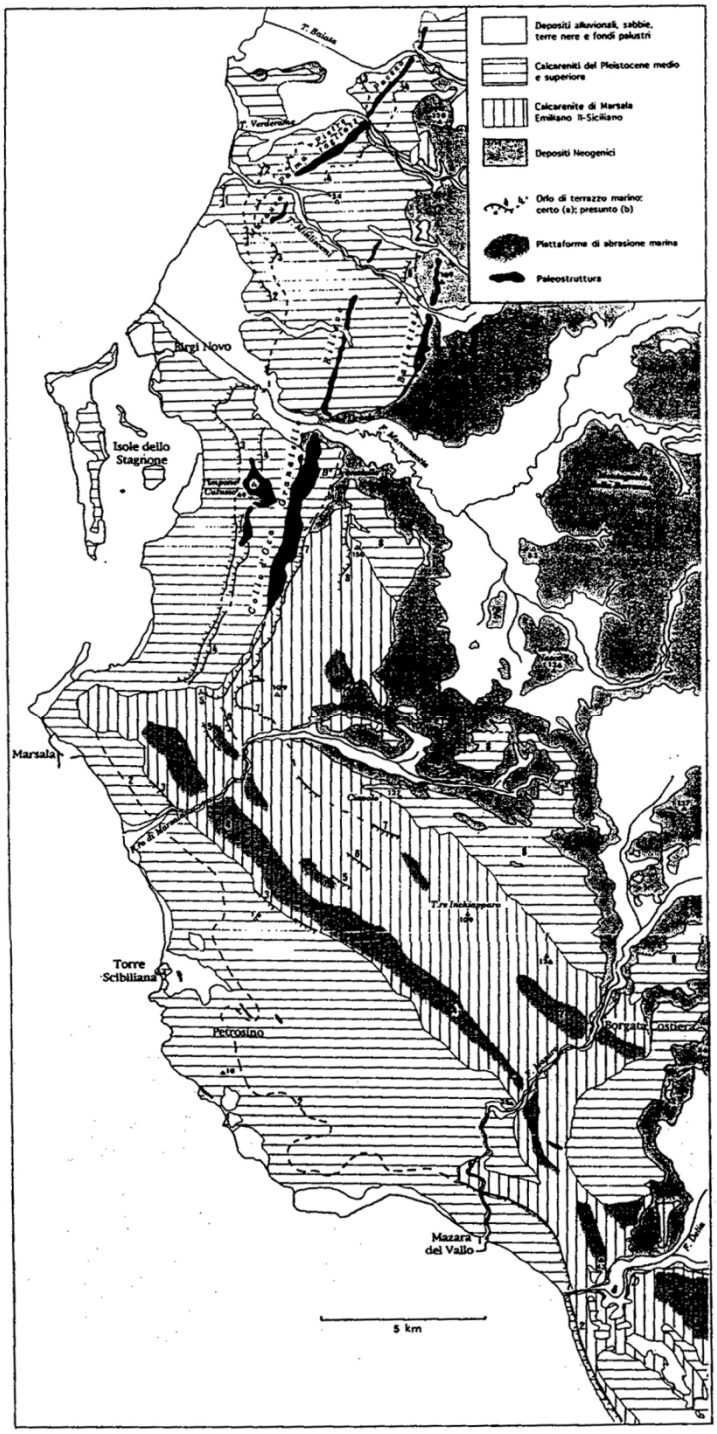
Infine nel tardo Pleistocene (Pre Tirreniano - Tirreniano), caratterizzato da un sostanziale abbassamento del livello marino, si assiste alla formazione di numerosi terrazzi, la cui geometria è stata anche modellata dalla periodica intermittenza delle oscillazioni eustatiche.

D'Angelo & Vernuccio (1994) distinguono ben otto ordini di terrazzi che si rinvengono a diverse altezze topografiche fino a quote prossime a quelle del livello del mare.

I depositi calcarenitici, antichi e recenti, poggiano in discordanza su sequenze prevalentemente terrigene che, con spessori notevoli (superiori spesso ai 500 metri e fino a 1500 metri), hanno colmato una depressione tettonica di vaste dimensioni che interessa la struttura geologica profonda caratteristica di tutta l'area Trapanese.

Dal punto di vista tettonico, gli aspetti più evidenti si osservano nel settore nord-est caratterizzato da un sistema di pieghe con asse disposto NE-SW. I depositi quaternari presentano una giacitura sub-orizzontale, avendo subito soltanto un sollevamento post-siciliano.

In particolare, le rocce che caratterizzano l'area trapanese sono rappresentate da dolomie e calcari dolomitici del Mesozoico, non affioranti nell'area, ma rinvenuti in alcuni pozzi trivellati dall'AGIP a profondità superiori ai 500 m, ed in particolare nel sondaggio Triglia, in cui i calcari vengono rinvenuti ad una profondità di circa 2000 m.



Schema geologico dell'estremità occidentale della Sicilia (da D'ANGELO & VERNUCCIO, 1996).

Al di sopra dei depositi carbonatici del Mesozoico, la serie stratigrafica del dominio carbonatico trapanese procede verso l'alto con una successione di sedimenti

carbonatici caratterizzati da calcilutiti, calcari marnosi e marne, calcareniti glauconitiche e marne ed argille marnose (*Marne di San Cipirrello* del Langhiano sup. – Tortoniano). Questa successione, non affiorante nell'area in esame, è stata rinvenuta nella trivellazione AGIP – Triglia, a profondità comprese tra i 1500 e 2000 metri.

A partire dal Tortoniano sup. fino al Messiniano inf. si depositano sedimenti terrigeni costituiti da argille sabbiose, sabbie e conglomerati noti come *Formazione Terravecchia*, prodotti a seguito di intensi processi di sollevamento e successive erosioni ed accumulo di materiali detritici.

Nella perforazione AGIP – Triglia, questi sedimenti si rinvengono a partire da circa 185 m e fino a 1500 m di profondità. Si tratta quindi di depositi terrigeni di notevole spessore.

Alla Formazione Terravecchia seguono, in discordanza, calcari massicci a Porites in grossi banchi, affioranti in sinistra del F. Delia, noti con nome di *Fm. Baucina*.

Nel Messiniano superiore inizia la fase di sedimentazione della serie evaporitica con deposizione di gessi selenitici, affioranti soltanto localmente in destra idrografica del Fiume Arena e rinvenuti in alcuni pozzi dell'ESA.

In discordanza sui terreni della Serie evaporitica si rinvengono i calcari marnosi e marne *Trubi* del Pliocene inf., affioranti e delimitanti, a nord-est, l'acquifero in studio.

Generalmente, in continuità sui Trubi, si ritrovano depositi pelitico arenacei afferenti alla *Fm. Marnoso - Arenacea della Valle del Belice* ascrivibile al Pliocene sup., formati da marne e marne argillose intercalati a livelli arenacei, aventi uno spessore di circa 200 m.

Dall'analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell'area in esame e da quanto osservato in superficie, l'area di stretto interesse è caratterizzata dall'alto verso il basso da:

- depositi palustri ***(q3l)*** (Olocene) Sono costituiti da argille nerastre e/o grigiastre, ricche di sostanza organica, con frustoli carboniosi, nonché da silt sabbioso – argilloso fetido ed a luoghi con livelli torbosi;

- alluvioni recenti e attuali ***(q3)*** (Olocene). Sono costituiti da depositi essenzialmente ghiaioso – sabbioso - ciottolosi, spesso con abbondante matrice argilloso - siltosa giallastra e con lenti argillose allungate intercalate a più altezze;
- depositi fluviali ciottolosi bassi ***(q3f)***, (Pleistocene superiore). Si tratta di depositi costituiti da ciottoli appiattiti immersi in matrice a volte ghiaiosa a volte sabbiosa, spesso terrazzati in due ordini differenti;
- depositi fluviali ciottolosi alti ***(q2)***, (Pleistocene medio). Si tratta di depositi costituiti da ciottoli appiattiti immersi in matrice a volte ghiaiosa a volte sabbiosa con due differenti ordini di terrazzi posti a quote comprese tra 80 e 120 metri sull'alveo attuale;
- depositi terrazzati ***(Q1)*** (Pleistocene inf.). Si tratta di un sistema di terrazzi costituiti da depositi calcarenitici di colore giallastro, con rare intercalazioni di sottili livelli limosi o argillosi, disposti con giacitura sub-orizzontale e uno spessore, molto esiguo non superiore a qualche metro;
- Calcari grossolani e fossiliferi ***(P3s)*** (Pliocene superiore). Si tratta di arenarie calcaree e sabbie giallastre fossilifere, affioranti estesamente nella valle del Belice.
- marne calcaree ***(P1m)*** (Pliocene inf.) e calcari marnosi a Globigerine, denominati *"**Trubi**"*. si presentano di colore grigiastro e molto fratturati e con nidi di *Ostrea cochlear navicularis;*
- Gessi a grandi cristalli "Balatini" *(M3g)* (Miocene superiore). Nel Messiniano superiore inizia la fase di sedimentazione della serie evaporitica con deposizione di gessi selenitici, meso - e macro -cristallini in banchi o in lenti discontinue, affioranti soltanto localmente in destra idrografica del Fiume Arena e rinvenuti in alcuni pozzi dell'ESA.
- Argille gessose ***(M3a)*** (Miocene superiore). Si tratta di argille bruno-grigiastre, cui si intercalano lenti decimetriche di gesso geminato in grossi cristalli.

- Calcari fetidi talora solfiferi ***(M3c)*** (Miocene superiore). Si tratta di calcare microcristallino di colore biancastro, generalmente brecciato e vacuolare per processi di dissoluzione, talora con intercalazioni di laminiti carbonatiche;
- argille ed argille brune siltose ***(M2a)*** (Oligocene sup. – Miocene inf.), ricche di ossidi di ferro, con intercalazioni in banchi e lenti, di livelli quarzarenitici e, subordinatamente, quarzosiltitici compatte a volte ritmiche, calcareniti e brecciole talora gradate.

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata carta geologica ***(Tav. 2)*** a scala 1:10.000.

3. Lineamenti geomorfologici

La morfologia dell'area in oggetto è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, l'hanno interessata.

In dettaglio i litotipi che caratterizzano l'area hanno comportamento fisico meccanico differente; si passa da un comportamento plastico delle argille ad un comportamento rigido delle calcareniti e dei calcari.

L'area in esame è caratterizzata da una superficie topografica piuttosto regolare e a luoghi interessata da lievissime variazioni di pendenza con la presenza di affioramenti calcarenitici.

L'aspetto morfologico diversificato dell'area in studio, è legato inoltre al netto dimorfismo esistente tra i diversi litotipi presenti.

Ove affiorano i litotipi a comportamento rigido, questi dominano il paesaggio dando origine a vari morfotipi sovente dirupati ed aspri, intervallati da ampi pianori, ammantati da coperture di terreni plastici (argillosi) e detritici che meglio si adattano, dando luogo a morfologie continue e dolci.

Le zone caratterizzate dai litotipi plastici, composte prevalentemente da argille, presentano un'evoluzione geomorfologica prettamente subordinata ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque di precipitazione meteorica, le quali non potendosi infiltrare nel sottosuolo impermeabile per la presenza di detti litotipi, scorrono superficialmente modellando la superficie topografica.

Per quanto attiene alla risposta degli agenti esogeni su tali litotipi, è da rilevare una resistenza bassa all'erosione e quindi un grado di erodibilità elevato. Si rilevano, infatti, impluvi e solchi sia allo stato maturo sia allo stato embrionale, i quali si articolano in forme geometriche, dal tipico andamento "meandriforme".

I versanti costituiti da terreni di natura argillosa, rientrano in una dinamica evolutiva caratterizzata, laddove le pendenze risultano più accentuate, privi di assenze arboree ed erbacee, (il cui duplice effetto sarebbe regimante e fissante), da localizzati fenomeni di dissesto, erosione di sponda ed erosione per dilavamento diffuso ad opera delle acque meteoriche.

L'evoluzione geomorfologica di tali versanti, è quindi subordinata prevalentemente ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque piovane, il cui scorrimento superficiale può produrre un'azione erosiva della coltre di alterazione.

Si possono distinguere vari fenomeni ad intensità crescente, che vanno dall'impatto meccanico delle gocce d'acqua di precipitazione sul terreno (*splash erosion*), ad un'azione di tipo laminare (*sheet erosion*) legata alla "lama" d'acqua scorrente che dilava uniformemente la superficie topografica. Si può altresì passare ad un'azione legata alle acque di ruscellamento embrionale in solchi effimeri (*rill erosion*) ad un'erosione concentrata in solchi già stabilizzati che tendono progressivamente ad approfondirsi (*gully erosion*).

Nella loro generalità, i litotipi argillosi sono costituiti da uno strato di alterazione di spessore variabile e da uno strato sottostante inalterato caratterizzato da una colorazione diversa dal precedente, generalmente più scuro ed intenso; inoltre, le loro caratteristiche meccaniche tendono a migliorare con la profondità.

In generale, quindi, si può affermare che tali tipi di terreni sono soggetti a fenomeni di riassesto di entità variabile, specie nelle zone più acclivi e nelle parti più superficiali.

Trattandosi di terreni argillosi per lo più interessati da una fitta rete di microdiscontinuità di forme irregolari, la resistenza dei singoli elementi è influenzata in modo rilevante, a parità di altre condizioni, dalle pressione dei fluidi interstiziali.

Le considerazioni svolte scaturiscono dai rilievi superficiali effettuati, la cui sintesi è riportata in una carta geomorfologica ***(Tav. 3)*** in scala 1:10.000.

In sintesi sono stati osservati i seguenti morfotipi:

- ***alveo in approfondimento*** **-** si registra un'evoluzione piuttosto rapida in seguito a precipitazioni di forte intensità e lunga durata, in considerazione della natura argillosa del letto dei piccolissimi valloni presenti, caratterizzati da carattere torrentizio, con portate elevate solo nei periodi piovosi.
- ***solchi di ruscellamento concentrato*** **-** interessano una piccola parte del territorio esaminato, specie laddove affiorano litotipi impermeabili e/o a bassa permeabilità.

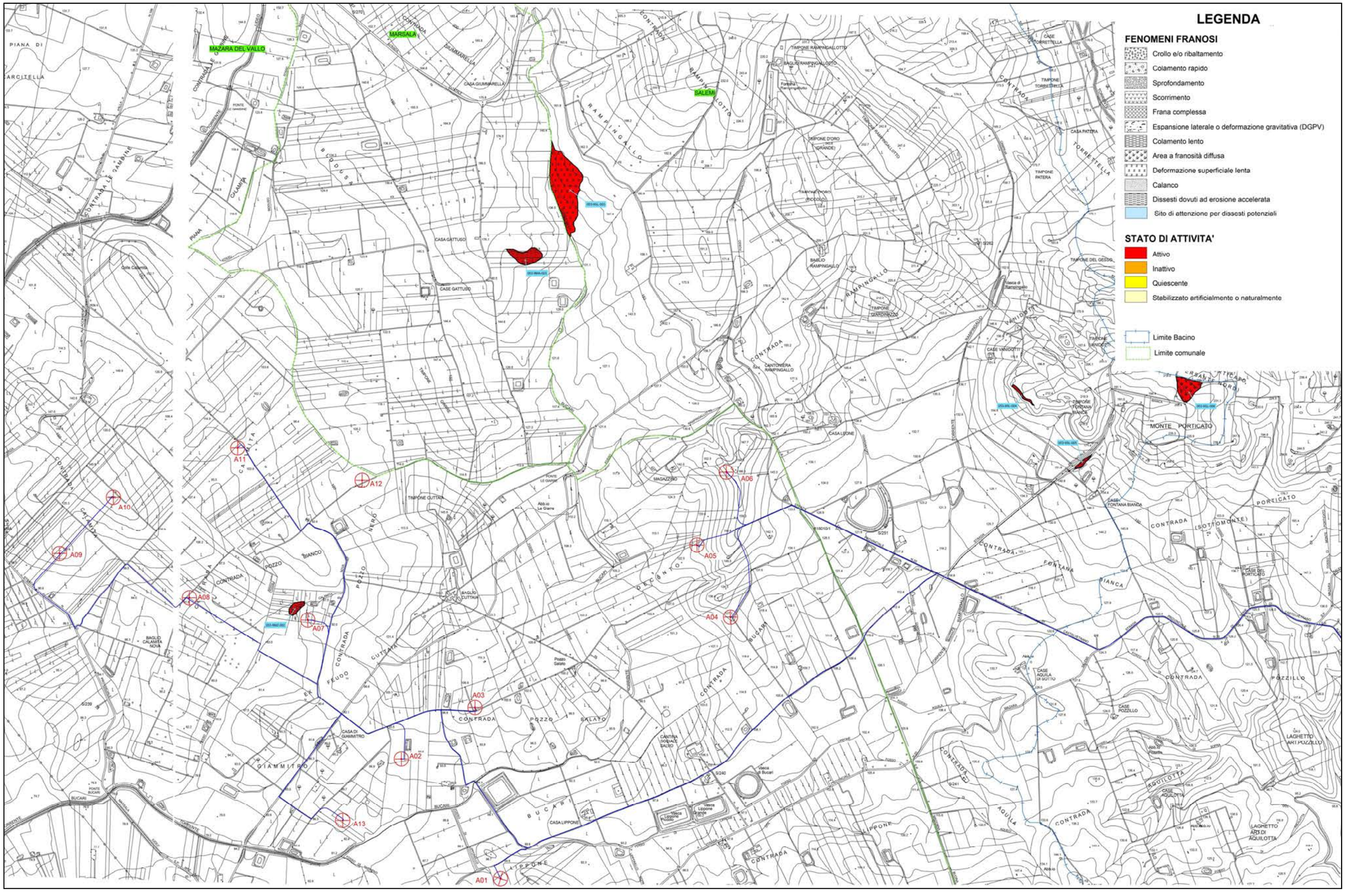
- ***zona interessata da erosione areale e/o soliflusso*** **-** si esplicano essenzialmente con l'erosione prodotta dal dilavamento delle acque superficiali che scorrono prevalentemente su terreni impermeabili. Tale azione si manifesta solo per brevi periodi dell'anno a causa del regime pluviometrico con massime concentrate nel semestre autunno-inverno.

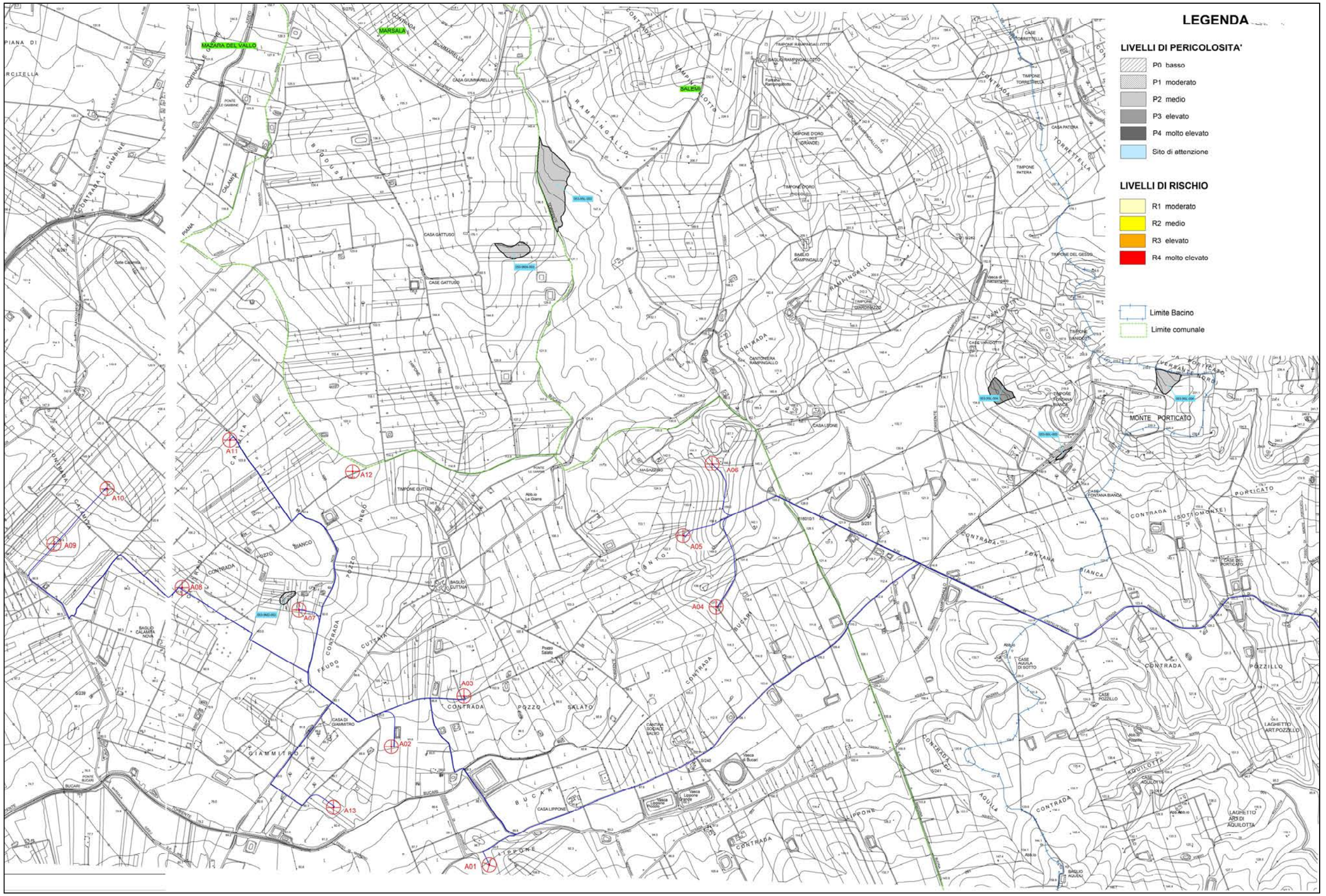
Durante le fasi di sopralluogo si è osservato che l'area in esame, risulta interessata da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti. In ogni caso nell'area ove si dovranno realizzare i pali ed un intorno significativo di essa, non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto e/o instabilità ne in atto ne potenziale. Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico è stabile e che l'installazione dei pali non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume Màzaro e area territoriale tra il bacino idrografico del Fiume Màzaro ed il bacino idrografico del Fiume Arena (053),* redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 26.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007 e le aree ove si prevede di istallare gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica, non ricadono ne in area a rischio ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I.

Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che le opere da realizzare non comporteranno l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

Di seguito si allegano inoltre, uno stralcio della *Carta dei dissesti n° 5 e 6*, e uno stralcio della *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n° 5 e 6*, relativa al PAI delle aree sopra indicate, con l'ubicazione delle aree di intervento.


LEGENDA
FENOMENI FRANOSI
Crollo e/o ribaltamento
Colamento rapido
Sprofondamento
Scorrimento
Frana complessa
Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
Colamento lento
Area a franosità diffusa
Deformazione superficiale lenta
Calanco
Dissesti dovuti ad erosione accelerata
Sito di attenzione per dissesti potenziali
STATO DI ATTIVITA'
Attivo
Inattivo
Quiescente
Stabilizzato artificialmente o naturalmente
Limite Bacino
Limite comunale
MAZARA DEL VALLO
MARSALA
SALEMI
MONTE PORTICATO
A01
A02
A03
A04
A05
A06
A07
A08
A09
A10
A11
A12
A13


LEGENDA
LIVELLI DI PERICOLOSITA'
P0 basso
P1 moderato
P2 medio
P3 elevato
P4 molto elevato
Sito di attenzione
LIVELLI DI RISCHIO
R1 moderato
R2 medio
R3 elevato
R4 molto elevato
Limite Bacino
Limite comunale
MARSALA
MAZARA DEL VALLO
SALEMI
CONTRADA
CASE GATTUSO
CASA GATTUSO
CASA GIUMMARELLA
BAGLIO RAMPINGALLOTTO
BAGLIO RAMPINGALLO
BAGLIO CUTTAIA
BAGLIO CALAMITA NOVA
CASA LIPPONE
CASA DI GIAMMITRO
CASE FONTANA BIANCA
MONTE PORTICATO
CASE AQUILOTTA
CASE POZZILLO
LAGHETTO ART.DI AQUILOTTA
LAGHETTO ART.POZZILLO
A01
A02
A03
A04
A05
A06
A07
A08
A09
A10
A11
A12
A13

4. Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista della *"permeabilità"*, cioè dell'attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d'acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;
- *rocce permeabili*, nelle quali l'acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (*permeabilità per porosità e/o primaria*), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (*permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria*).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità "*mista*", dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Le formazioni litologiche affioranti nell'area rilevata, in base alle loro caratteristiche strutturali ed al loro rapporto con le acque di precipitazione, sono state classificate in una scala di permeabilità basata sulle seguenti quattro classi:

1. *rocce ad elevata permeabilità per porosità;*
2. *rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo;*
3. *rocce impermeabili.*

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (*rocce permeabili per porosità*), sono stati inclusi i sedimenti che costituiscono depositi alluvionali recenti ed attuali (**q3**) ed i depositi fluviali ciottolosi (**q3f** – **q2**). In generale, tali litotipi costituiscono facili vie d'accesso alle acque di precipitazione, le quali in tempi relativamente brevi si infiltrano ("infiltrazione efficace") ed accumulano nel sottosuolo ("falde freatiche").

A causa dei loro spessori, sovente variabili, tali litotipi costituiscono adunamenti idrici di spessore e potenza variabile.

Per quanto riguarda i materiali ricadenti nella seconda classe (*rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*), sono da includersi i depositi terrazzati calcarenitici (**Q1**), le calcari marnosi a Globigerine "**Trubi**" (**P1m**), le arenarie sabbie giallastre fossilifere **(P3s)**, i gessi Balatini (**M3g**) ed i calcari fetidi talora solfiferi (**M3c**).

In generale, i litotipi appartenenti a questa classe, presentano, una permeabilità primaria da media a bassa, mentre hanno una buona, e spesso elevata, permeabilità secondaria dovuta agli stress tettonici che detti litotipi hanno subito nei vari tempi geologici, con fessure e fratture di dimensioni ed orientazioni variabili.

La distanza tra i diversi sistemi fessurativi presenti nella compagine della roccia, condizionano in modo determinante la circolazione idrica nel sottosuolo, come pure la permeabilità secondaria, come riportato nel seguente schema:

DESCRIZIONE DELLA ROCCIA	***INTERVALLO*** *(m)*	***GRADO DI PERMEABILITA'***	
		Qualitativo	***K (m/s)***
Discontinuità da molto ad estremamente ravvicinate	***< 0.20***	***molto permeabile***	10^{-3}-1
Discontinuità da ravvicinate a moderatamente spaziate	***0.20-0.60***	***mediamente permeabile***	10^{-4}-10^{-3}
Discontinuità da largamente a molto largamente spaziate	***0.60-2.00***	***poco permeabile***	10^{-9}-10^{-4}
Nessuna discontinuità	***>2.00***	***impermeabile***	$<10^{-9}$

Sono state incluse nella terza classe (rocce impermeabili), i depositi palustri e costieri (**q3l**), le argille e argille brune siltose **Fm. Terravecchia** (**M2a**) e le argille gessose (**M3a**).

Tali terreni presentano una permeabilità primaria da bassa a nulla ed una assenza di falde acquifere; al contrario, in particolari zone d'alterazione, può esistere una lenta circolazione idrica organizzata in filetti discontinui che dipende esclusivamente dal regime pluviometrico variabile nelle stagioni.

Solitamente, come detto prima, tali terreni sono il substrato impermeabile dei litotipi prima citati costituendo il limite inferiore di tali elementi idrogeologici e permettendo, così, l'accumulo sotterraneo delle acque di infiltrazione efficace.

Quanto detto finora, viene accuratamente riassunto nella tabella allegata, riportante, tra l'altro, il range di valori del coefficiente di permeabilità (**K**) dei diversi litotipi presenti.

LITOTIPO	*TIPO DI PERMEABILITÀ*	*GRADO DI PERMEABILITÀ*	*COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ*
Alluvioni recenti ed attuali (q3) - Depositi fluviali ciottolosi (q3f –q2)	***Porosità***	***alta***	10^{-1}-10^{-3}
Depositi terrazzati calcarenitici (Q1); Calcari marnosi a Globigerine "Trubi" (P1m); Arenarie sabbie giallastre fossilifere (P3s); Gessi Balatini (M3g);– Calcari fetidi talora solfiferi (M3c)	***Fessurazione, fratturazione e/o carsismo***	***da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure***	10^{-3}-10^{-5}
(Depositi palustri e costieri (q3l); – Argille e argille brune siltose Fm. Terravecchia (M2a); Argille gessose (M3a)	***Impermeabili***	***da bassa a molto bassa***	10^{-6}-10^{-9}

Schema riepilogativo

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da istallare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

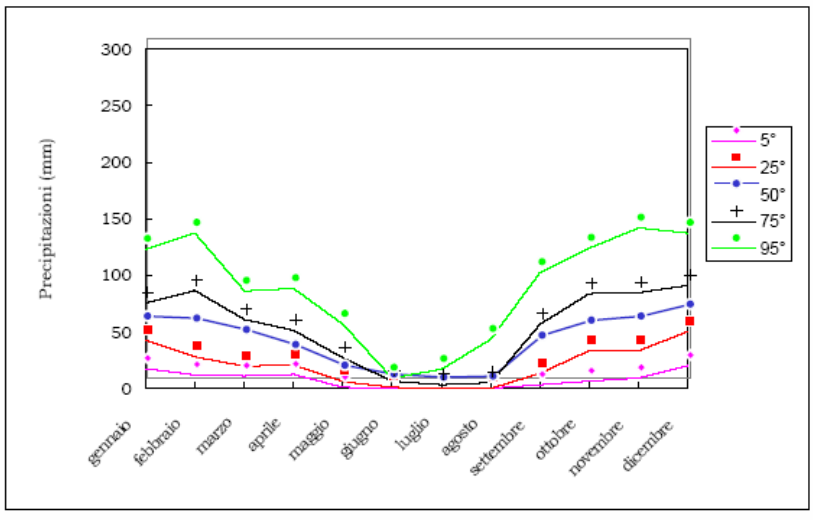
Quanto fin qui descritto è stato rappresentato nell'allegata carta idrogeologica ***(Tav. 4)*** in scala 1:10.000.

5. Considerazioni climatiche

Le caratteristiche climatiche di una determinata area, sono legate all'insieme complessivo delle condizioni atmosferiche che si riscontrano in quell'area nel corso di un anno e su un periodo di diversi anni (valori medi climatici calcolati in periodi di 35 anni).

In generale, le condizioni atmosferiche di una data area, come pure quelle climatiche, sono il risultato di un'incessante circolazione generale di masse d'aria nell'atmosfera, della latitudine a cui è posta l'area, della natura della superficie terrestre e dei suoi rapporti con le acque circostanti, sia che siano terrestri, sia che siano marine, oltre che dalla vegetazione presente.

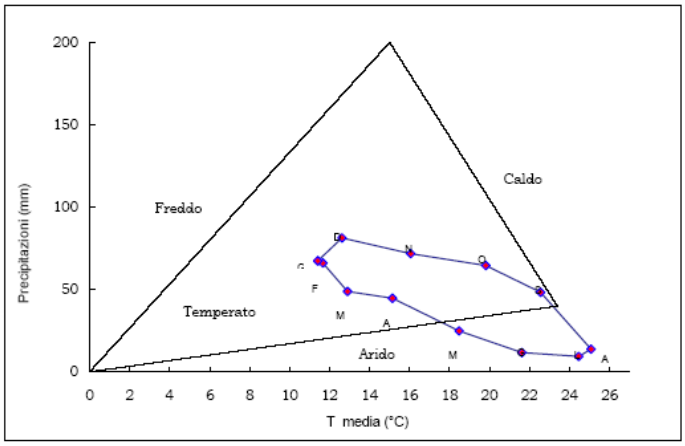
In dettaglio, nell'area in studio la stazione pluviotermometrica che meglio rappresenta il regime climatico nella zona è la stazione di Marsala. Questa è gestita dal Servizio Tecnico Idrografico Regionale della Sicilia.



Andamento delle precipitazioni per la stazione di Marsala

Marsala m 12 s.l.m.

mese	*T max*	*T min*	*T med*	*P*
gennaio	15,0	7,7	11,3	61
febbraio	15,3	7,9	11,6	60
marzo	16,8	8,9	12,8	43
aprile	19,1	11,0	15,1	39
maggio	22,9	13,9	18,4	19
giugno	26,3	16,8	21,6	6
luglio	29,3	19,5	24,4	3
agosto	29,9	20,1	25,0	8
settembre	26,7	18,2	22,5	42
ottobre	24,0	15,5	19,7	58
novembre	19,9	12,0	16,0	66
dicembre	16,2	8,8	12,5	75



Climogramma di Peguy riferito alla stazione di Castelvetrano

I climogrammi di *Peguy* riassumono sinteticamente le condizioni termo-pluviometriche delle diverse località considerate. Essi sono costruiti a partire dai dati medi mensili di temperatura media e precipitazioni cumulate. Sulle ascisse è riportata la scala delle temperature (°C), mentre sulle ordinate quella delle precipitazioni (mm). Dall'unione dei 12 punti relativi a ciascun mese, si ottiene un poligono racchiudente un'area, la cui forma e dimensione rappresentano bene le caratteristiche climatiche di ciascuna stazione. Sul climogramma è anche riportata un'area triangolare di riferimento che, secondo *Peguy*, distingue una situazione di clima temperato (all'interno dell'area stessa), freddo, arido, caldo (all'esterno del triangolo, ad iniziare dalla parte in alto a sinistra del grafico, in senso antiorario). Il triangolo è costruito sulla base delle seguenti

coordinate dei vertici: (0°C, 0 mm); (23,4°C, 40 mm); (15°C, 200 mm). La posizione dell'area poligonale, rispetto a quella triangolare di riferimento fornisce una rappresentazione immediata delle condizioni climatiche della stazione.

Dall'esame del climogramma di *Peguy* riferito alla stazione di Marsala si evince che il clima è temperato dal mese di settembre al mese di aprile, e che il clima è arido da aprile a settembre.

La precipitazione media annua per la serie temporale 1965-1994 è pari a circa 480 mm/a.

In base agli studi disponibili, alle caratteristiche geomorfologiche, alla letteratura internazionale esistente, l'infiltrazione media annua si stima attorno al 60-70% per gli affioramenti arenacei.

6. Considerazioni geotecniche

Dall'osservazione degli elementi di superficie e da quanto riportato in letteratura geologica specializzata i litotipi presenti nel territorio in esame sono i seguenti:

- Alluvioni recenti ed attuali (**q3**)
- Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri (**q3l**)
- Depositi fluviali ciottolosi bassi, spesso terrazzati in due ordini (**q3f**)
- Depositi fluviali ciottolosi alti, terrazzati a 80 – 120 metri sull'alveo attuale (**q2**)
- Depositi conglomeratici cementati Calcareniti (**Q1**)
- Calcari grossolani e fossiliferi (**P3s**)
- Marne bianche grigie a globigerine – Trubi (**P1m**)
- Gessi a grandi cristalli "Balatini" (**M3g**)
- Argille gessose (**M3a**)
- Calcari fetidi talora solfiferi (**M3c**)
- Argille della Fm. Terravecchia (**M2a**)

I *depositi palustri* ***(q3l),*** rientrano nella categoria delle *"rocce pseudocoerenti.* In generale, lo spessore dello strato di alterazione di tale successione geologica raggiunge profondità massima di circa 3 - 4 metri, con un graduale passaggio in termini cromatici e di consistenza alle argille di base sottostanti; trattasi di argille *"normalconsolidate"*. La struttura appare, specie negli strati superficiali, prevalentemente indifferenziata, evidenziando una notevole plasticità, che tende gradatamente a ridursi ma non a scomparire in seno alle argille di base.

Prove di laboratorio su tali materiali forniscono su campioni prelevati a brevi distanze valori alquanto variabili per la struttura, tessitura, presenza di discontinuità (porzione inalterata), presenza di elementi litoidi carbonatici in seno alla componente argillosa alterata e composizione, pertanto si rileva una certa dispersione dei risultati per via dei numerosi fattori che condizionano la resistenza a rottura del materiale, quindi si è preferito mediare una serie di valori ottenuti da prove eseguite su tali materiali e riportarne i medi, che sicuramente appaiono molto cautelativi.

Le caratteristiche fisiche risultano essere variabili nei seguenti intervalli di valori:

- *contenuto naturale d'acqua (W)* varia in un range compreso tra 18% a 30%;
- *peso di volume allo stato naturale (γ)* varia da 18.2 KN/mc a circa19.5 KN/mc.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio di tipo consolidato drenato (CD), si riporta un valore medio dell'angolo di attrito interno (ϕ') per gli strati superficiali alterati (18°), mentre si registra un certo incremento di tale valore (21°) per la Formazione di base.

Relativamente ai valori di coesione (c') essi risultano nulli per lo spessore di argille alterate, mentre presentano valori di 2 t/m^2 per i litotipi della formazione di base.

E' possibile schematizzare, quindi, la seguente modellizzazione geotecnica in relazione ai valori di angolo di attrito interno:

- *depositi palustri* (porzione alterata con spessore massimo di 3 metri)
  ϕ' = 18 °
- *depositi palustri* (porzione sottostante non alterata)
  ϕ' = 21°

Le *alluvioni recenti ed attuali* ***(q3),*** i *depositi fluviali ciottolosi bassi* ***(q3f)*** e i *depositi fluviali ciottolosi alti* ***(q2),*** fanno rilevare, relativamente alla componente fine, fusi granulometrici che rientrano, in termini di percentuale, nel campo dei limi, sabbie fini, sabbie limose e/o argillose, ed argille sabbiose con frazione minima di materiale ghiaioso. Anche tali litotipi, dal punto di vista geotecnico, vengono classificati come *"rocce incoerenti",* il cui stato varia da sciolto ad addensato. Questi materiali, inoltre, possono presentare una coesione (c') derivante dalla presenza di minerali argillosi nel fino. Quindi, l'argilla, anche in bassa percentuale (5% - 8%), può conferire a tali terreni una certa coesione, variabile a seconda della dimensione dei granuli e del tipo di minerale argilloso presente. Inoltre, laddove prevale la componente sabbiosa, la coesione (c') è da ritenersi nulla.

Nelle linee generali, è possibile caratterizzare, dal punto di vista geotecnico, i materiali descritti, attribuendo loro il seguente range di valori:

- *peso unità di volume (γ) = 1.80 - 1.90 t/m^3;*

- *coesione (c') = 0.00 - 0.30 t/m^2;*
- *angolo d'attrito interno (ϕ) = 25° - 30°.*

I *Depositi calcarenitici terrazzati* ***(Q1)*** possono considerarsi roccia "coerente", a diverso grado di consistenza e con caratteristiche fisico-meccaniche buone, che a grande scala risultano essere pressoché costanti. Le variabilità geotecniche che possono essere rilevate in tali sedimenti, dipendono per lo più dal grado di cementazione tra i granuli, dal tipo di cemento presente e dalla eterometricità dei granuli che compongono lo scheletro della roccia. La resistenza al taglio di tali materiali, risulta essere tanto maggiore quanto minore è la porosità, mentre il diverso grado di cementazione condiziona la resistenza allo schiacciamento.

In generale, i valori di angolo d'attrito interno (ϕ') risultano elevati e quelli di coesione (c') modesti e a luoghi nulli. E' possibile stimare per i terreni in oggetto, i seguenti valori:

- *peso unità di volume (γ) = 1.90 t/m^3;*
- *coesione (c') = 0.00 t/m^2;*
- *angolo d'attrito interno (ϕ) = 30°.*

Inoltre, le caratteristiche meccaniche di tali materiali aumentano con la profondità, dove si risentono in minor misura le azioni chimiche delle acque piovane ("dissoluzione del cemento calcitico").

Le *argille della Fm. Terravecchia* ***(M2a)*** e le *argille gessose* ***(M3a)***, rientrano nella categoria delle *"rocce pseudocoerenti";* in questa categoria rientrano i materiali che hanno un comportamento geomeccanico variabile in relazione al contenuto d'acqua. Infatti si comportano come materiali coerenti se asciutti e consistenti, e come materiali incoerenti se imbibiti d'acqua e quindi con un indice di plasticità elevato.

Per la loro genesi tali materiali assumono una struttura abbastanza complessa e la giacitura appare spesso caotica per tettonizzazione. E' quasi sempre presente un orizzonte d'alterazione superficiale il cui spessore risulta variabile ma contenuto mediamente entro i primi 6.00 - 7.00 metri e solo in particolari circostanze può superare i 10.00 metri. Tale strato, presenta una colorazione giallastra e/o marrone chiaro, un elevato grado di umidità e di plasticità e sono generalmente presenti superfici traslucide

di discontinuità, che condizionano spesso la stabilità dei versanti costituita da tali materiali. Gradatamente, si passa al sottostante orizzonte inalterato caratterizzato da una buona consistenza e da una colorazione generalmente brunastra. Tralasciando le eventuali intercalazioni calcaree ed arenacee che influenzano in maniera del tutto trascurabile il comportamento globale di tali terreni, è da annoverare come la struttura acquisita dai sopraddetti terreni sia l'effetto combinatorio delle diverse pressioni sviluppatesi nel corso degli eventi tettonici cui sono stati sottoposti nelle ere geologiche. Tali argille appaiono sovraconsolidate ed interessate da una fitta rete di discontinuità che li suddivide in frammenti o "scaglie" dalla forma irregolare e dalle dimensioni variabili dal millimetro a qualche centimetro.

Caratteristica peculiare di detti terreni è la naturale variabilità che tali materiali mostrano su campioni prelevati anche a breve distanza, sia sull'orientamento delle scaglie, sia nelle dimensioni e nell'entità del sistema di fessurazione presente.

Da quanto detto, risulta evidente, quindi, dalla complessità della struttura dei materiali in esame, come sia poco agevole una caratterizzazione geomeccanica generale per l'intera formazione, poiché i risultati delle prove geotecniche sono fortemente influenzate dalle caratteristiche fisico-meccaniche delle singole scaglie, dal grado di alterazione (ammorbidimento delle scaglie per imbibizione d'acqua e fenomeni di "softening" per scarico tensionale) e dalla modalità di esecuzione delle prove. Inoltre, appare non indifferente il problema del disturbo arrecato a tali terreni nelle fasi di campionamento. Le argille allorquando si presentano "molli" hanno un tenore d'acqua pari al 100%, generalmente vicino al limite di liquidità, ed un peso specifico secco debole y_d (spesso inferiore a 10 kN/ m^3). Esse risultano inoltre contenere materie organiche dal 2 al 10 %, una debole coesione non drenata (C_u), una forte compressibilità dando luogo a dei cedimenti secondari, una debole permeabilità, uno stato normal consolidato.

Per espulsione della propria acqua, l'argilla diventa plastica e poi secca, ciò denota come tale materiale possa presentare valori abbastanza diversi, in relazione al suo stato idrometrico.

Una proprietà importante ai fini dell'utilizzo urbanistico delle aree interessate da sedimenti argillosi è il *"rigonfiamento"* , infatti le argille fanno registrare un aumento di volume allorquando si imbibiscono d'acqua, specie se il minerale predominante di cui sono costituite è rappresentato dalla montmorillonite.

Di contro si ha una diminuzione di volume in seguito ad una diminuzione del contenuto d'acqua, tale caratteristica prende il nome di *"ritiro"*.

Appare evidente che i terreni interessati da litotipi argillosi necessitano di accurate indagini, analisi, prove e studi preliminari, sia essi di carattere geologico che geotecnico. Infatti, i maggiori dissesti vengono registrati laddove la componente argillosa è predominante e la causa è sempre da ricercare al variare di una o più caratteristica citata.

Sulla base di studi e ricerche effettuati su terreni appartenenti a tale formazione è possibile stimare i seguenti valori:

- *Argille alterate (spessore medio 6.0 - 7.0 m):*

  $\gamma = 1.90\ t/m^3$;

  $c' = 0.80\ t/m^2$;

  $\phi' = 23°$.

- *Argille di substrato:*

  $\gamma = 2.00\ t/m^3$;

  $c' = 1.30\ t/m^2$;

  $\phi' = 25°$.

I *calcari grossolani e fossiliferi (**P3s**)* e i *calcari fetidi talora solfiferi (**M3c**)* sono costituiti da un complesso litologico caratterizzato da rocce carbonatiche a predominante taglia lutitica.

Tali complessi sono rappresentati da rocce lapidee stratificate e sovente fratturate e fessurate, dotate singolarmente di buone caratteristiche meccaniche (resistenza al taglio elevata e compressibilità praticamente nulla). Però a causa dell'intensa fratturazione, specialmente nelle porzioni più prossime alla superficie, le caratteristiche tecniche di tali litotipi possono decadere tanto da poter essere assimilati, prevalentemente, a quelle di un terreno dotato di attrito interno elevato e,

subordinatamente, un valore di coesione molto contenuto. Appare quindi evidente che, il valore dell'angolo d'attrito interno risulta legato anche alle discontinuità presenti nella roccia (fessure e fratture). Skempton e Petley (1967) hanno mostrato come la resistenza lungo le fratture e fessure si avvicina molto alla resistenza al taglio; in effetti, come prima detto, le discontinuità privano tali materiali dell'elemento di coesione, mentre per quanto attiene l'angolo di resistenza al taglio rimane pressoché inalterato rispetto alla formazione delle discontinuità.

Prove meccaniche di compressione semplice a carico puntuale fanno rientrare tali materiali come rocce dalla resistenza molto bassa, bassa e media. Il carico unitario di rottura si attesta per la massima parte tra *83.00 e 92.00 N/mm^2*.

L'irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare elementi geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione, pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è possibile stimare i seguenti valori:

- *peso unità di volume (γ) = 2.40 - 2.70 t/m^3;*
- *coesione (c') = 0.00 - 0.50t/m^2;*
- *angolo d'attrito interno (ϕ) = 30° - 40°.*

Le *marne bianche grigie a globigerine – Trubi (**P1m**)*, sono costituite da un complesso litologico caratterizzato da marne biancastre in strati centi-decimetrici. La irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare parametri geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione. Pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è opportuno riferirsi alla componente marnosa dotata di caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla componente calcarea.

In generale,è possibile stimare per i terreni in oggetto, i seguenti valori:

- *peso unità di volume (γ) = 2.16 – 2.60 t/m^3;*
- *coesione (c') = 1.00 - 3.00 t/m^2;*
- *angolo d'attrito interno (ϕ) = 28° - 42°.*

Si evidenzia che tutti i valori dei parametri geotecnici precedentemente riportati sono abbastanza rappresentativi per i litotipi analizzati; tuttavia, anche in questo caso,

qualsivoglia intervento nell'ambito territoriale dovrà essere preceduto da analisi e prove a verifica di quanto citato.

I *gessi (**M3g**)*, dal punto di vista meccanico sono classificabili come *rocce coerenti* dotate di buone caratteristiche e costituite da un complesso litologico a comportamento rigido. Tale complesso è rappresentato da rocce stratificate e sovente fratturate e fessurate, dotate singolarmente di buone caratteristiche meccaniche (resistenza al taglio elevata e compressibilità praticamente nulla). Però a causa dell'intensa fratturazione, specialmente nelle porzioni più prossime alla superficie, le caratteristiche tecniche di tali litotipi possono decadere tanto da poter essere assimilati, prevalentemente, a quelle di un terreno dotato di attrito interno elevato e, subordinatamente, un valore di coesione molto contenuto. Appare quindi evidente che, il valore dell'angolo d'attrito interno risulta legato anche alle discontinuità presenti nella roccia (fessure e fratture). Skempton e Petley (1967) hanno mostrato come la resistenza lungo le fratture si avvicina molto alla resistenza al taglio; in effetti, come prima detto, le discontinuità privano tali materiali dell'elemento di coesione, mentre per quanto attiene l'angolo di resistenza al taglio rimane pressoché inalterato rispetto alla formazione delle discontinuità.

Prove meccaniche di compressione semplice a carico puntuale fanno rientrare tali materiali come rocce dalla resistenza molto bassa, bassa e media. Il carico unitario di rottura si attesta per la massima parte tra *46.00 e 74.00 N/mm^2*.

L'irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare elementi geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione, pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è possibile stimare i seguenti valori:

- *peso unità di volume (γ) = 2.40 - 2.70 t/m^3;*
- *coesione (c') = 0.00 – 5.00 t/m^2;*
- *angolo d'attrito interno (ϕ) = 30° - 40°.*

7. Considerazioni litotecniche

Relativamente alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni ricadenti nell'area in studio, oltre ai dati in possesso dello scrivente e quelli tratti dalla letteratura tecnica specializzata per analoghe facies petrografiche, si sono potuti suddividere i litotipi costituenti l'intero territorio in esame, in *"unità litotecniche"*, che sono state opportunamente riportate nell'allegata cartografia ***(Tav. 5)*** redatta in scala 1:10.000.

Tali unità, secondo quanto riportato nella Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – *"Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici"*, vengono distinte in due insiemi, di cui uno relativo ai litotipi che costituiscono in *"substrato"* e l'altro a quelli caratterizzanti i terreni di *"copertura"*.

Passando in rassegna i terreni presenti nel territorio comunale, nella distinzione in unità litotecniche si hanno, per quanto riguarda le ***unità di copertura***:

- depositi calcarenitici **(Q1)**: si tratta di sedimenti a grana grossa con basso grado di cementazione e legante prevalentemente calcitico. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***F3*.**
- alluvioni recenti ed attuali **(q3) –** arenarie sabbie giallastre fossilifere (**P3s**) - depositi fluviali ciottolosi alti (**q2**), depositi fluviali ciottolosi bassi (**q3f**): si tratta di sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati, da sciolte a moderatamente cementate. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***G1c*.**
- depositi palustri (**q3l**): si tratta di Sedimenti a grana fine e finissima, limi argillosi o argille. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***H1*.**

Relativamente ai terreni caratterizzanti il ***substrato***, vengono distinti i seguenti litotipi:

- gessi balatini (**M3g**)**:** si tratta di successioni sedimentarie con poliedri giustapposti volume medio oltre 0,01 mc. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***A*.**

- calcari fetidi talora solfiferi (**M3c**): si tratta di successioni carbonatiche con poliedri giustapposti volume medio oltre 0,1 mc. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***A2.***
- marne calcaree e calcari marnosi - Trubi (**P1m)**: si tratta di successioni stratigrafiche caratterizzate da alternanze di litotipi diversi, strutturalmente disordinate. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***B3s.***
- argille ed argille brune siltose (**M2a**) e argille gessose (**M3a)**: si tratta di successione con alternanza di litotipi diversi a struttura caotica. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come ***B1.***

8. Pericolosità sismica locale

La pericolosità sismica di un territorio va intesa come la stima dello scuotimento del suolo previsto in un certo sito durante un certo periodo di tempo a causa dei terremoti.

La progettazione di strutture in zona sismica, a parità di criteri progettuali e metodi di verifica, assume, per una stessa costruzione, una forte differenziazione a seconda del sito dove viene edificata. Appare evidente infatti che la progettazione sia influenzata in maniera determinante dalla probabilità che ha il sito, in un determinato periodo di tempo, di essere soggetto ad eventi sismici di una certa magnitudo. Per poter eseguire una corretta progettazione strutturale è allora necessario conoscere questo livello di pericolosità sismica della zona dove si andrà ad edificare la struttura. Operativamente le informazioni che quantificano le probabilità che i terremoti di una certa magnitudo, con specifico periodo di ritorno, colpiscano le varie zone di un territorio, costituiscono la classificazione sismica. Per essa si intende appunto una suddivisione del territorio nazionale in zone alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità, atti a definire il livello di rischio sismico per le costruzioni che in esse sono edificate. Per questo motivo la classificazione sismica viene anche chiamata mappa della pericolosità sismica.

In Italia la normativa in merito è stata aggiornata con l'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 è costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di "accelerazioni massime" al suolo *(Figura 1)*.

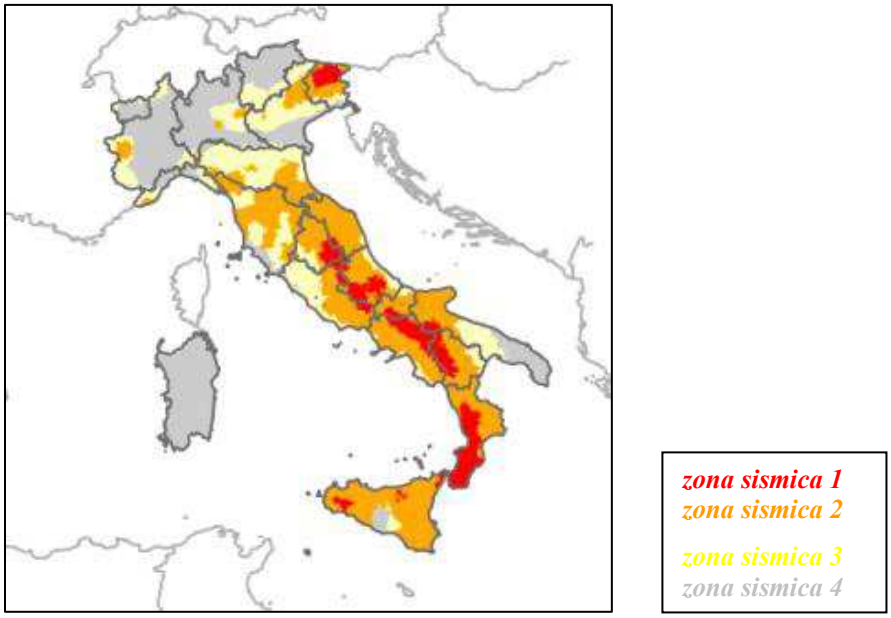
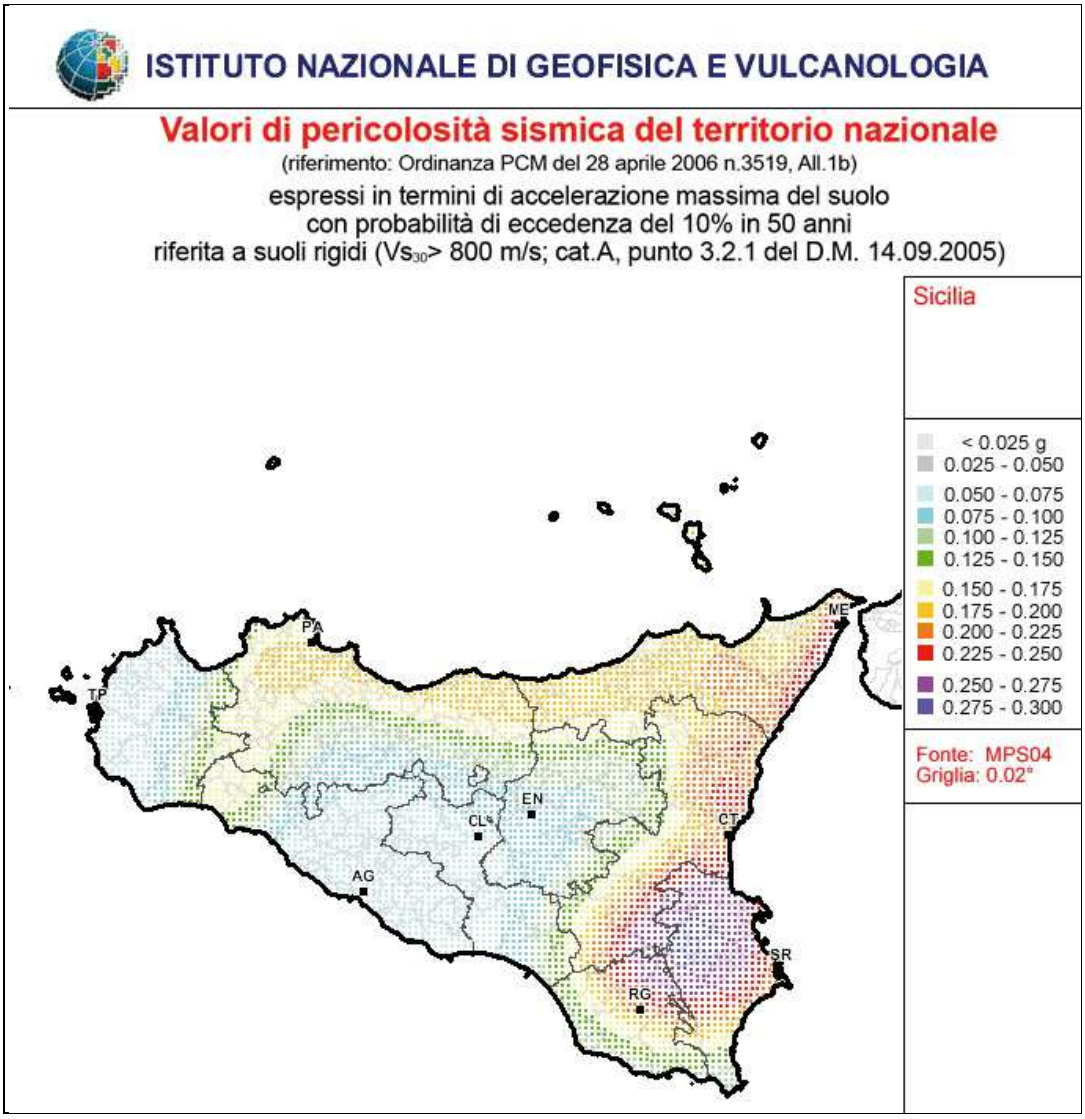


Figura 1

Per queste zone le norme indicano quattro valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. In particolare ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo le tabella seguente:

Zona Sismica	*Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]*	*Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]*
1	*> 0,25*	*0,35*
2	*0,15 – 0,25*	*0,25*
3	*0,05 – 0,15*	*0,15*
4	*< 0,05*	*0,05*

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone suddette avviene mediante le valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g.



L'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azione sismica, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. L'obiettivo fondamentale della norma è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi della Protezione Civile. Rispetto alla normativa nazionale precedente, basata su concetti di carattere convenzionale e puramente prescrittivi, l'Ordinanza 3274 punta a favore di una impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge

vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati. A tal fine, novità di assoluto rilievo, è l'adozione di un solo e unico metodo per le procedure di calcolo e verifica strutturale, il "metodo agli stati limite", con il conseguente abbandono definitivo del "metodo delle tensioni ammissibili".

Il territorio di Mazara del Vallo, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stato definito di classe "2".

9. Sismica a rifrazione - Tecnica MASW

La sismica a rifrazione classica considera i tempi di propagazione delle onde elastiche generate al suolo da impatti con una mazza battente su un piatto rigido. Le onde generate si rifrangono su superfici di discontinuità, condizione necessaria affinchè se ne abbia la rifrazione lungo tali superfici, incrementando la velocità di propagazione con l'aumentare della profondità. Dalla misura dei tempi di percorso esistenti tra la stazione energizzante ed una successione di stazioni riceventi (geofoni) è possibile dedurre la velocità delle Onde Sismiche Primarie (V_P) e/o le Secondarie (V_S) e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche generate e quindi ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo. Le velocità delle onde sismiche possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali tipo di roccia, porosità, fessurazioni ed elasticità, per ottenere tramite formule empiriche grandezze utili.

Nel caso in questione, per risalire alle velocità delle onde orizzontali o di taglio Vs nei primi trenta metri dal p.c., si è invece finalizzata l'indagine per l'applicazione del metodo "MASW" (Multichannel Analisys of Surface Waves) che è una tecnica non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali in termini di onde di Rayleigh. Queste onde viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh hanno la caratteristica di essere "dispersive", cioè si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo in dipendenza alla frequenza di propagazione. In base alla necessità d'indagine abbiamo usato la configurazione del metodo masw "attivo", che sfrutta l'alta frequenza (5 hz – 70 hz) delle onde propagate che, con lunghezza d'onda corta, sono adatte a studi entro i primi 30-50 m dal p.c.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

1. l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll) con sismografo e sensori adatti e nella configurazione corretta;
2. la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) che si ottiene con programmi di sviluppo;

3. l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi, ma questa è giudicata quanto di meglio utilizzabile per l'attendibilità del risultato, i costi limitati e la tecnica non invasiva.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

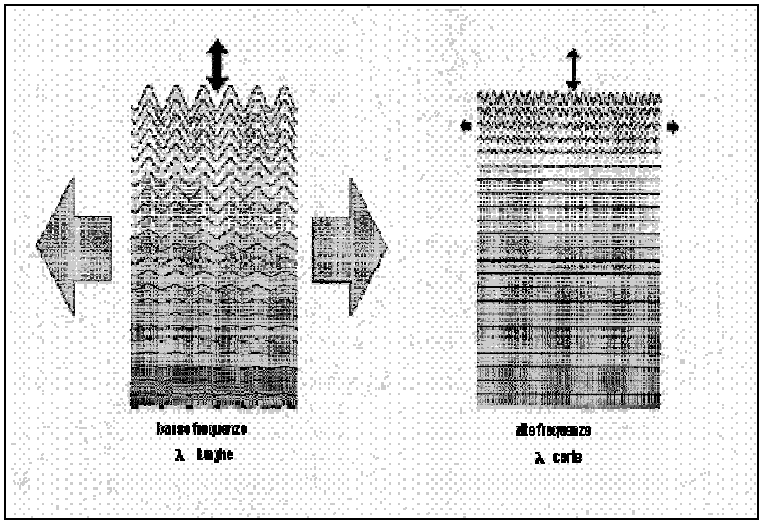
Il valore del rapporto di Poisson e la stima della densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un

campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzazare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.



Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

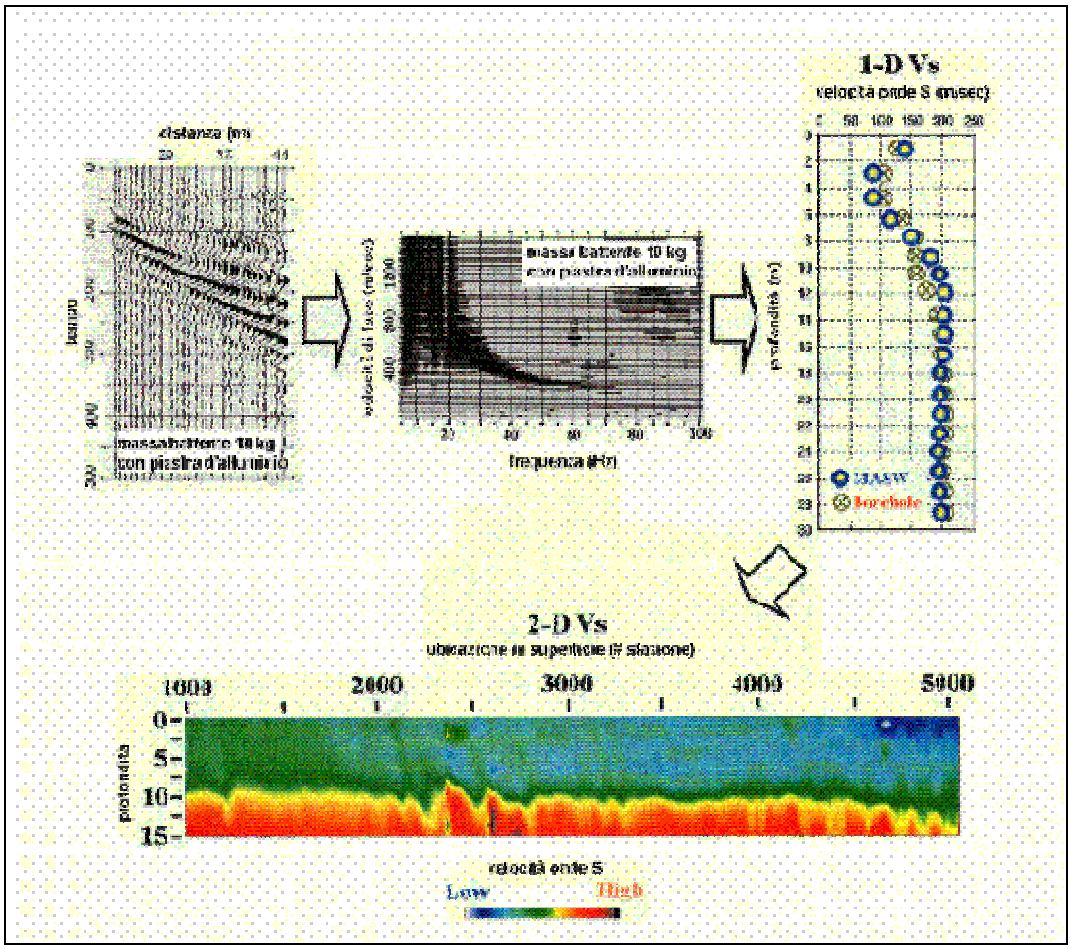
- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Con le apparecchiature usate è stato possibile ottenere i primi impulsi sufficientemente netti anche quando i rumori di fondo erano elevati. Questo si é potuto realizzare in quanto la registrazione veniva immagazzinata da una memoria elettronica e successivamente tracciata su un display con la possibilità di discernere i segnali veri da quelli spuri.

Le misure rilevate hanno consentito di costruire le curve tempi/distanze (Dromocrone) relative allo scoppio di andata, di ritorno e di determinare gli spessori dei vari rifrattori elaborando colonne sismostratigrafiche.



Descrizione generale della procedura MASW

Per l'interpretazione dei sondaggi, si è riportato sulle ordinate di un diagramma cartesiano i tempi di percorrenza impiegati dai fronti d'onda generati dalla massa

battente, mentre sulle ascisse si sono disposte le distanze tra il punto in cui é avvenuto lo scoppio e la posizione in cui si trovano i geofoni che hanno rilevato le onde sismiche.

9.1. Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW

L'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la OPCM n. 3519/2006, integrata con le NTC 2008 e le NTC 2018 ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo (Eurocodice 8).

Infatti nel caso in cui si ha contezza delle condizioni stratigrafiche e delle proprietà dei terreni, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S, ottenuti mediante specifiche prove.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S\ eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono di seguito rappresentate:

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

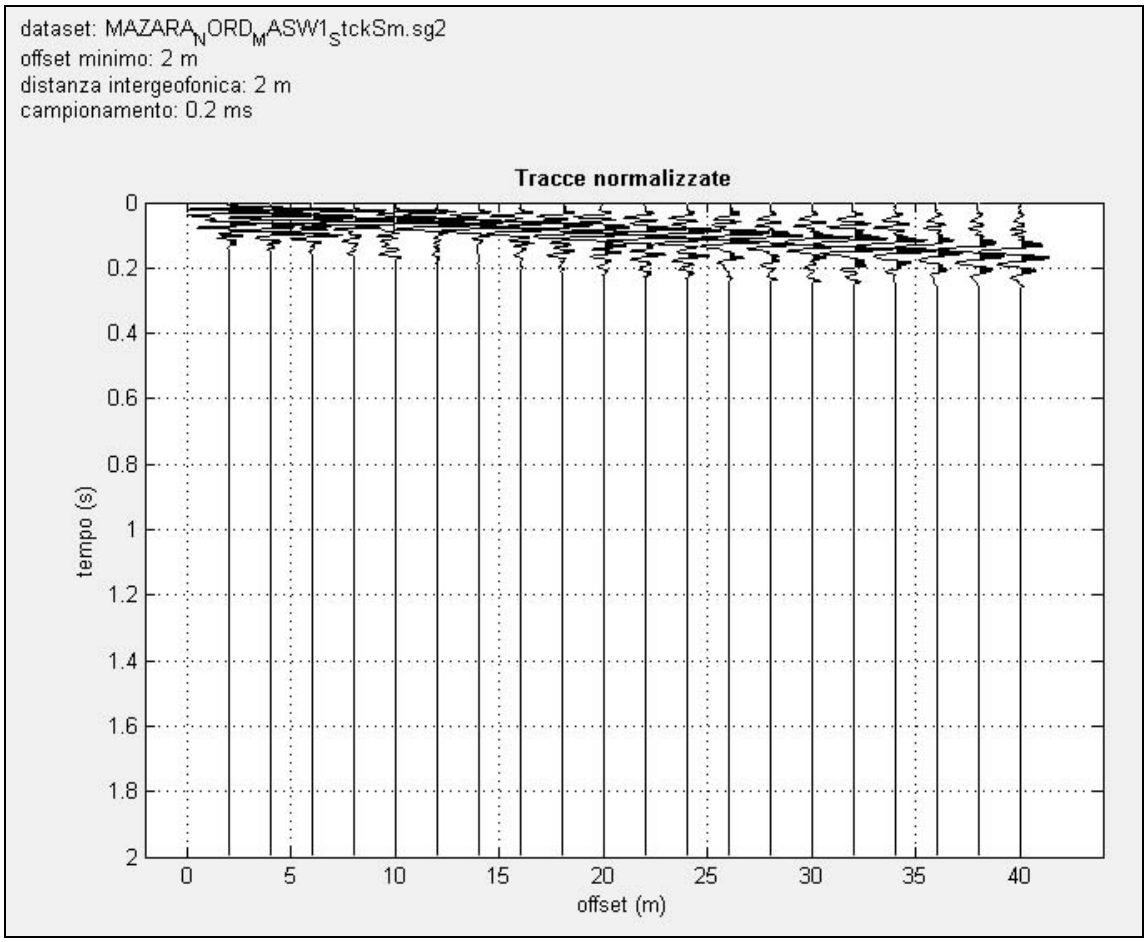
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

9.2. Risultati delle analisi MASW

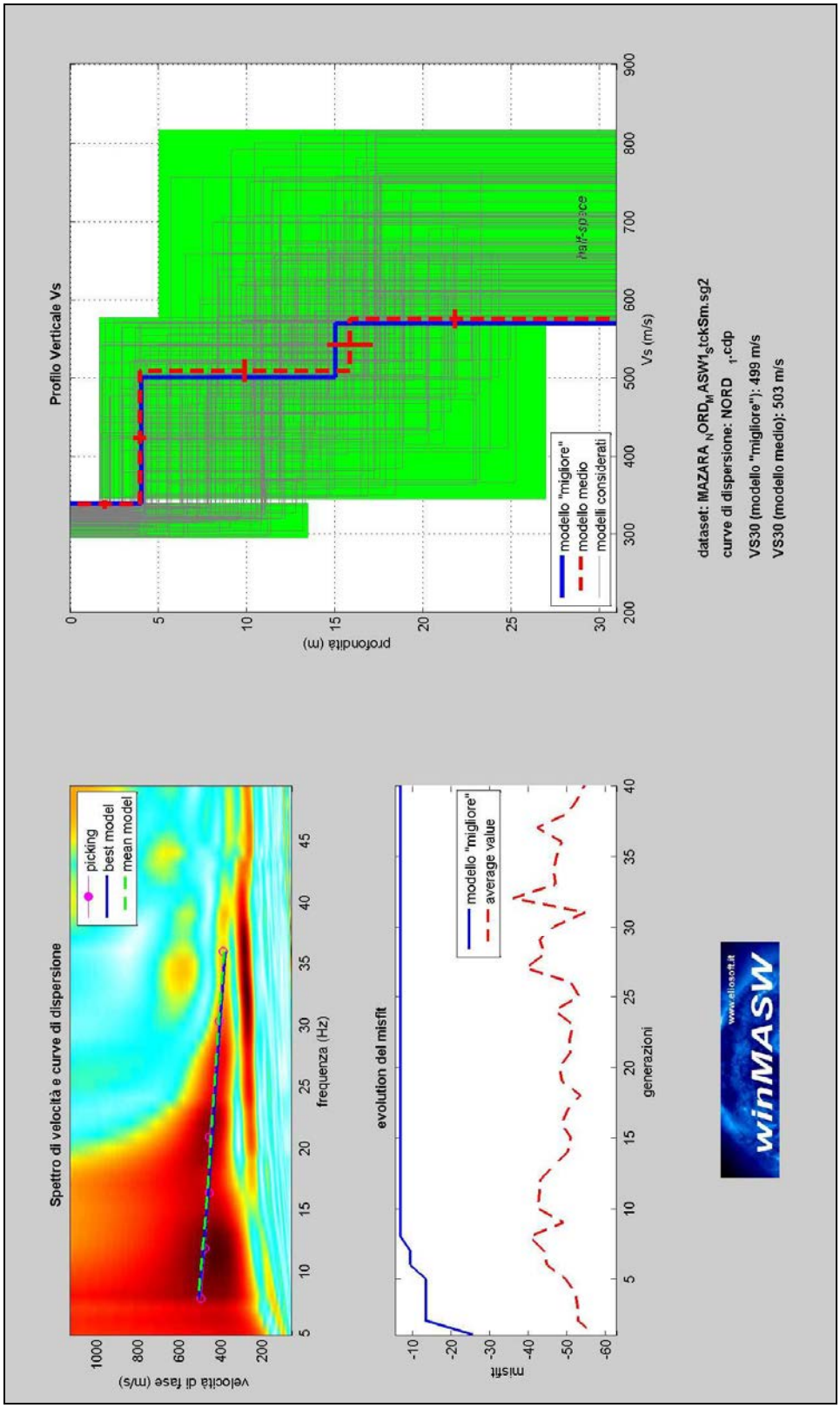
Nell'ara ove si prevede di realizzare l'impianto eolico, sono state eseguite quattro stese sismiche interpretate con il metodo MASW cosi come rappresentato nella planimetria di seguito allegata.

MASW 1_NORD

Dataset	MAZARA_NORD_MASW1_StckSm.sg2
Numero di ricevitori usati per l'analisi	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	Nord_1.cdp
Coordinate ETRS 89 UTM 33N	
X:	295.841,066 m
Y:	4.181.538,863 m



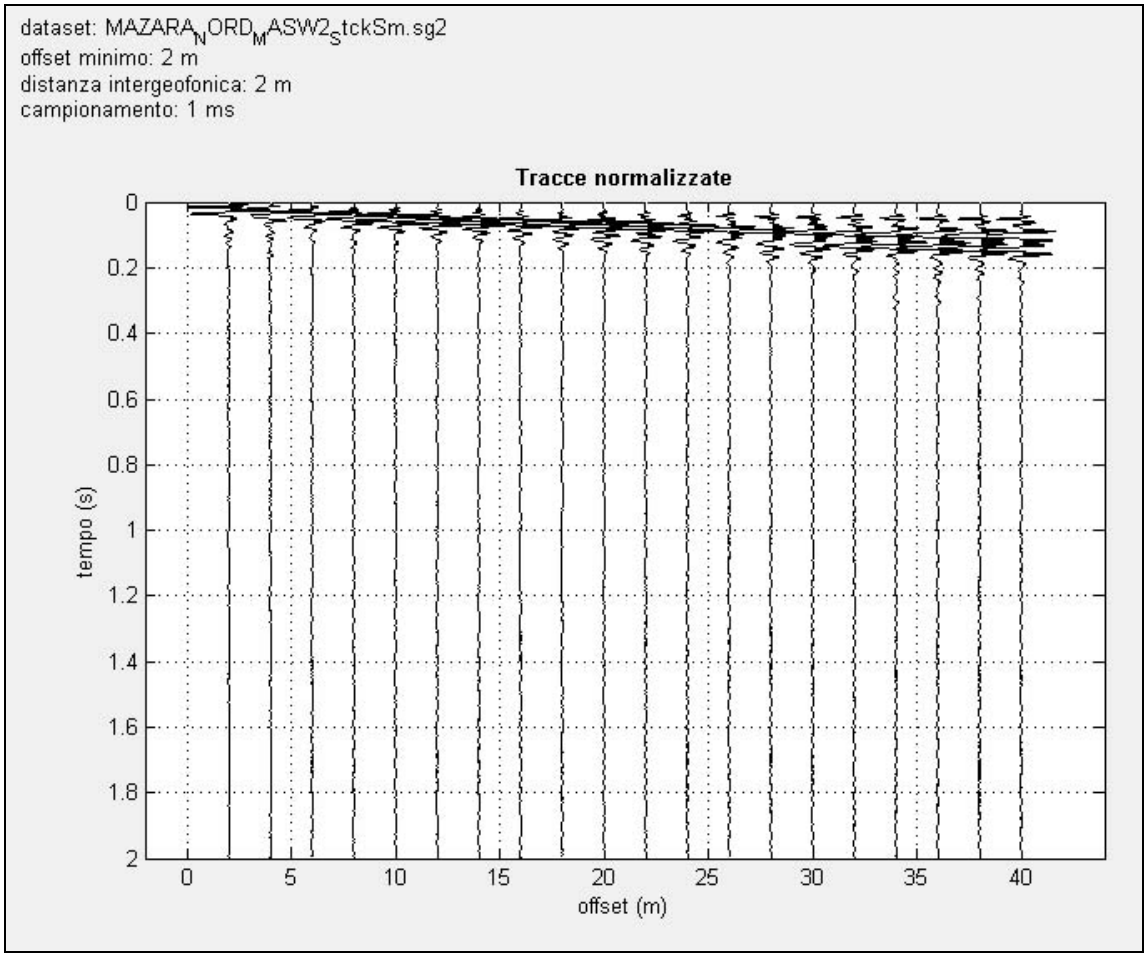
Tracce sperimentali



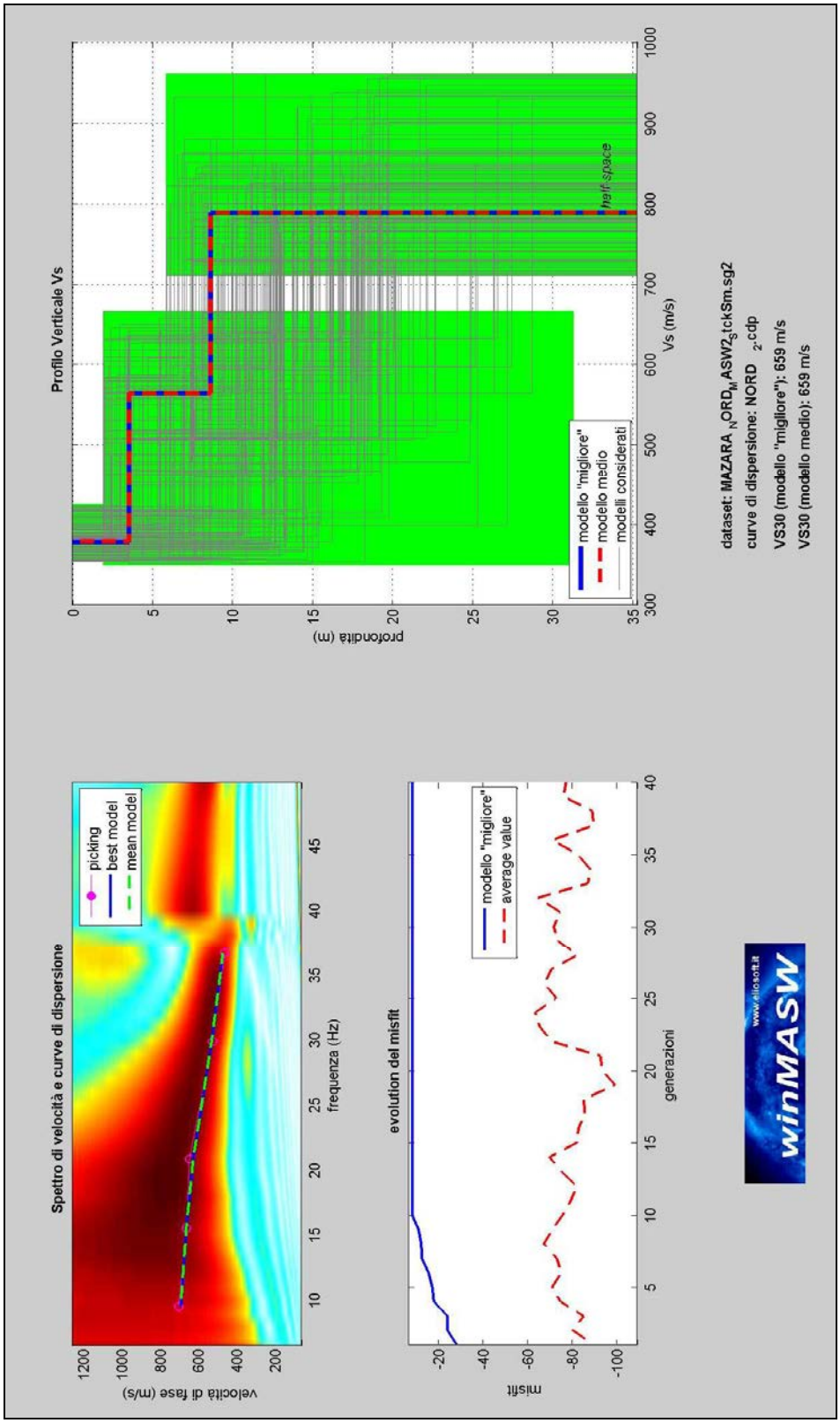
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

MASW 2_NORD

Dataset	MAZARA_NORD_MASW2_StckSm.sg2
Numero di ricevitori usati per l'analisi	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	NORD_2.cdp
Coordinate ETRS 89 UTM 33N	
X:	297.457,073 m
Y:	4.181.053,603 m



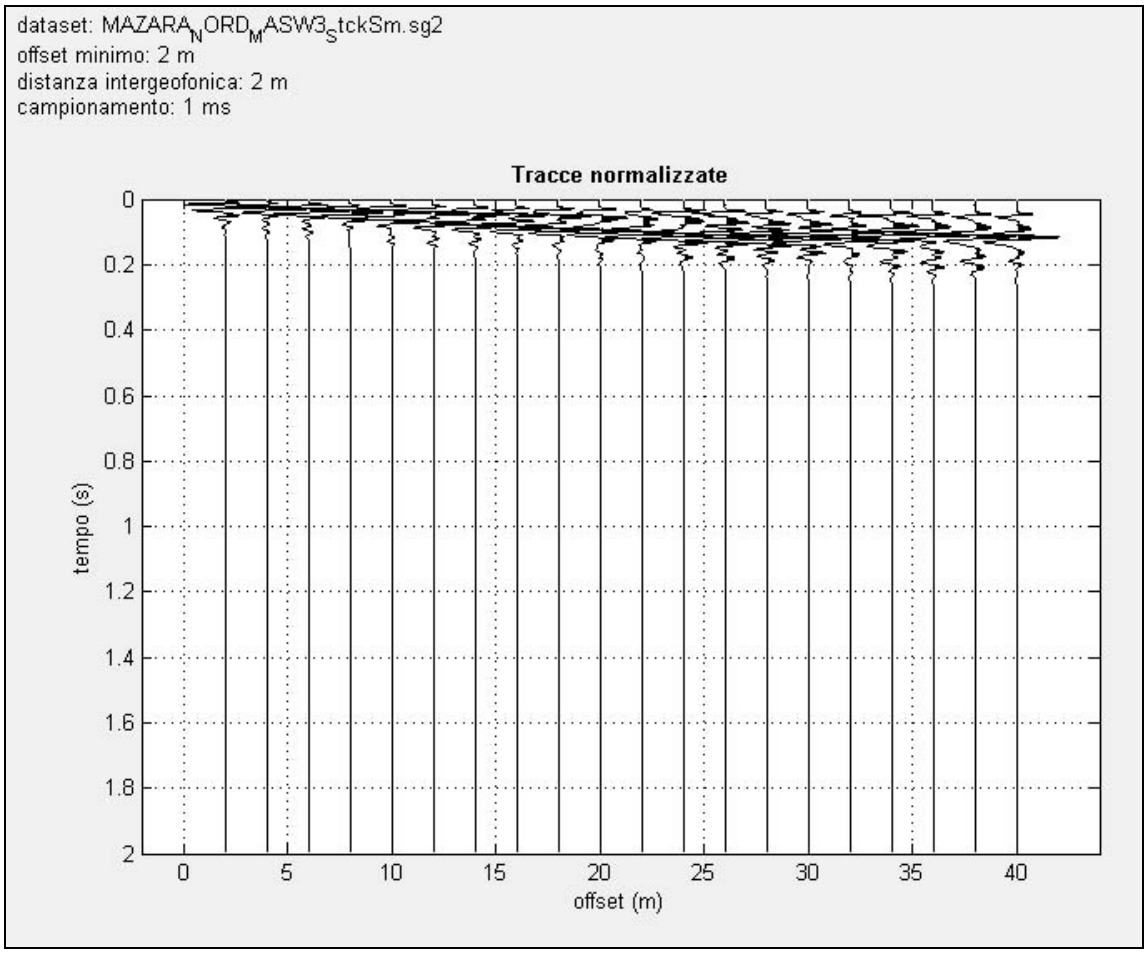
Tracce sperimentali



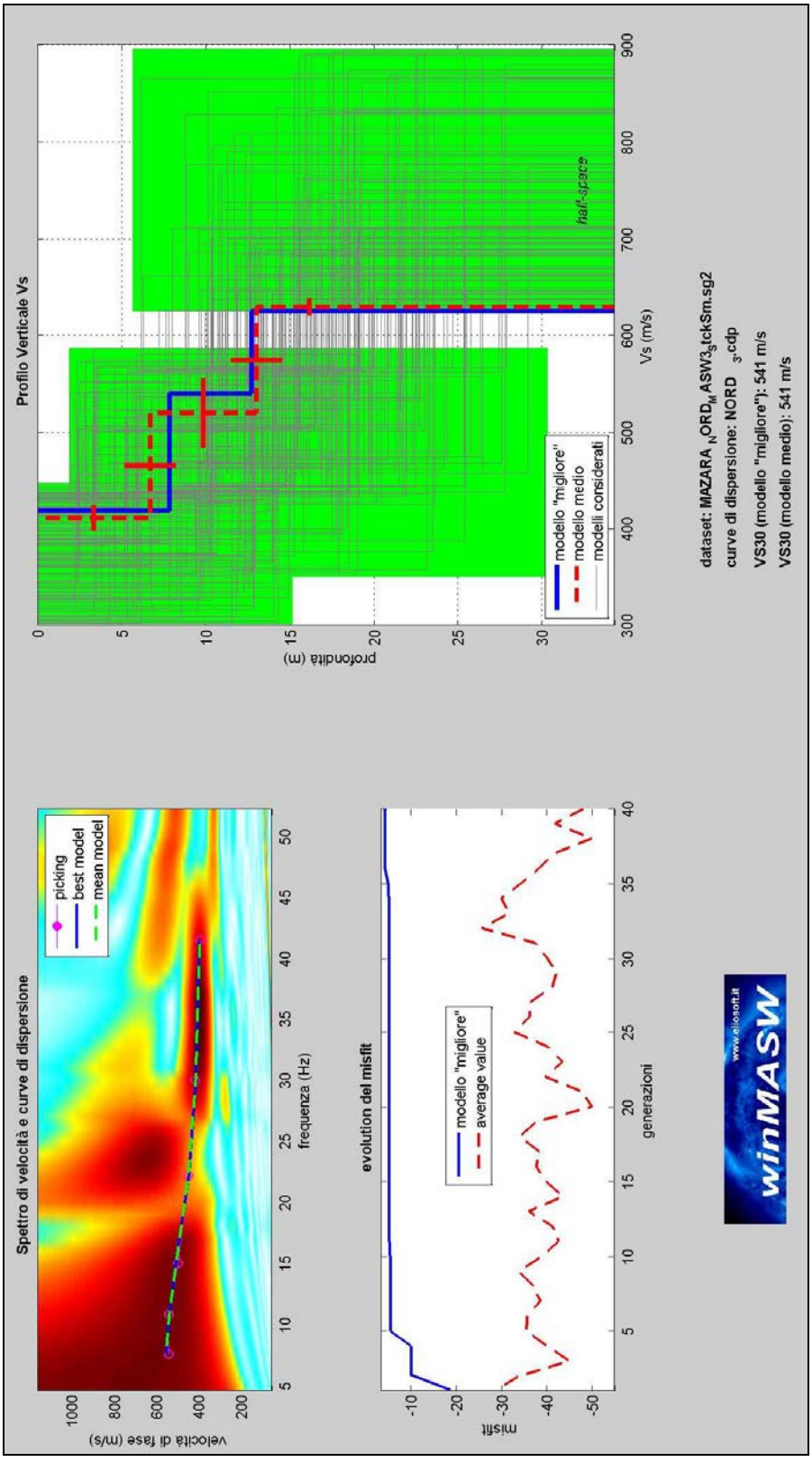
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

MASW 3_NORD

Dataset	MAZARA_NORD_MASW3_StckSm.sg2
Numero di ricevitori usati per l'analisi	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	NORD_3.cdp
Coordinate ETRS 89 UTM 33N	
X:	295.364,125m
Y:	4.182.880,195 m



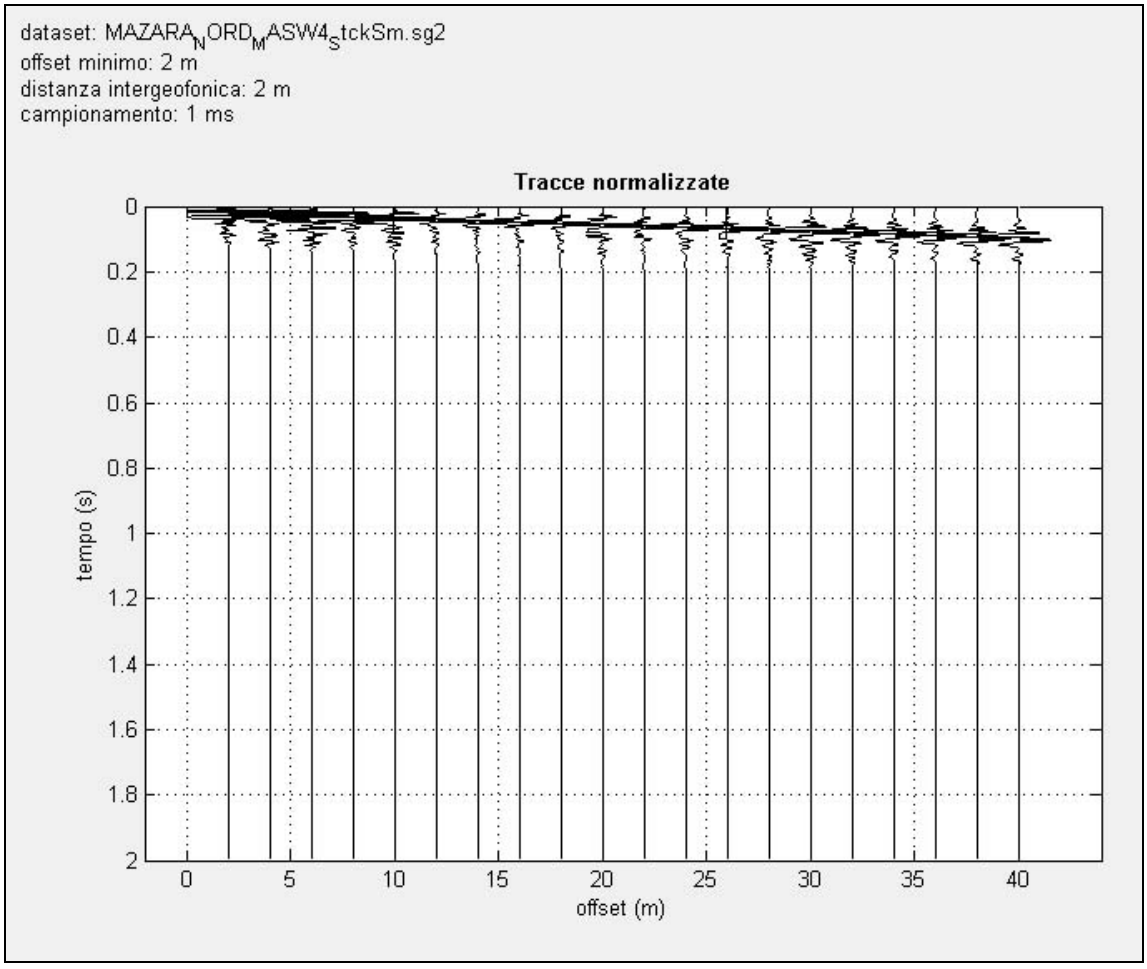
Tracce sperimentali



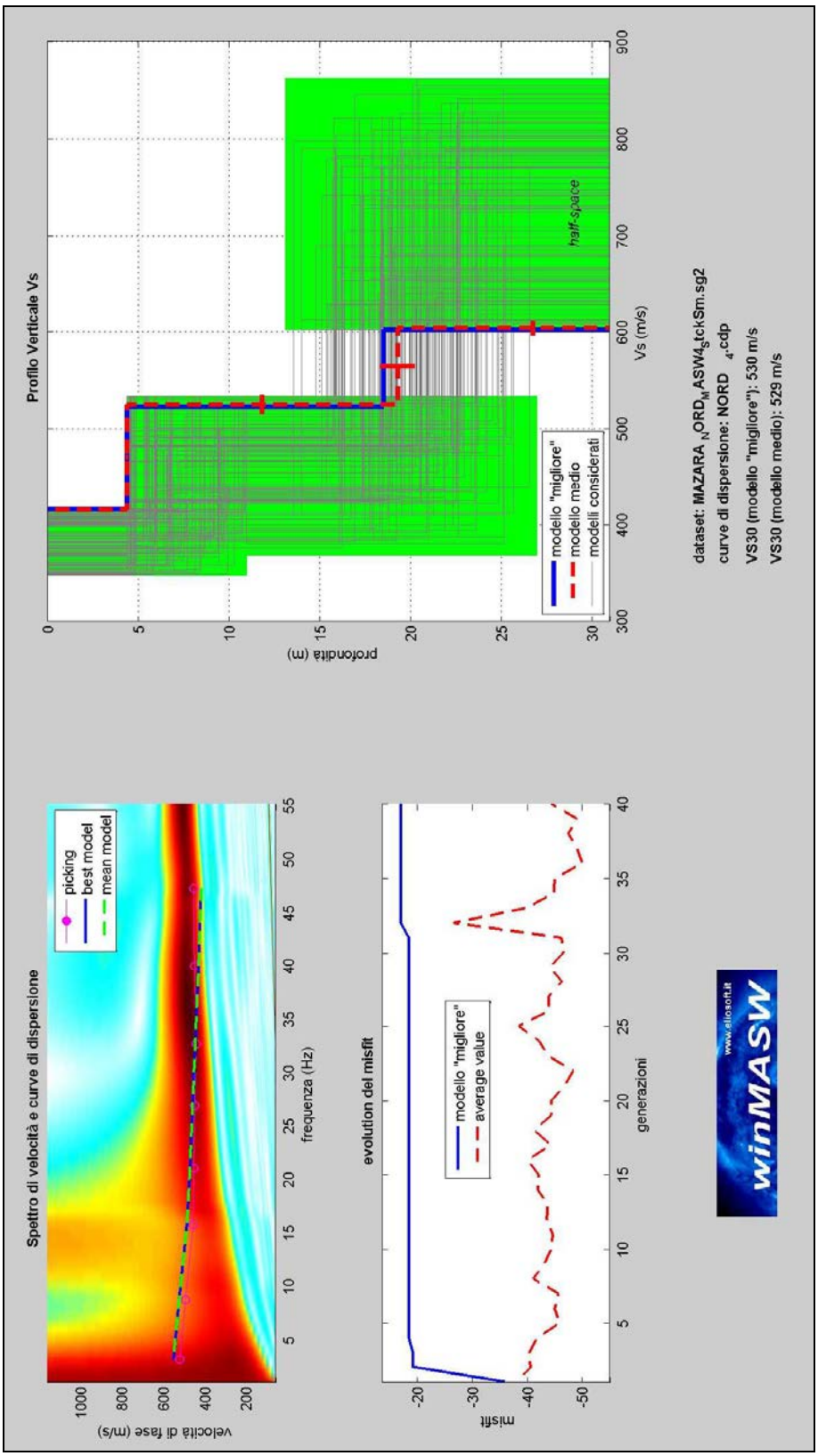
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

MASW 4_NORD

Dataset	MAZARA_NORD_MASW4_StckSm.sg2
Numero di ricevitori usati per l'analisi	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	NORD_4cdp
Coordinate ETRS 89 UTM 33N	
X:	294.257,103 m
Y:	4.182.317,115 m



Tracce sperimentali



Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

9.3. categoria di suolo individuata

Pertanto l'elaborazione dell'indagine sismica MASW, eseguita sull'area in esame, ha definito un valore della velocità Vs_{30} dei terreni pari **503** m/s nel MASW 1_NORD, **659** m/s nel MASW 2_NORD, **541** m/s nel MASW 3_NORD e **529** m/s nel MASW 4_NORD. Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo ***B*** *(Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.).*

10. Rilievo dei microtremori – Metodo HVSR

Ad integrazione delle indagini sismiche espletate, sono state eseguite tre indagini sismiche passive HVSR di microtremore ambientale con stazione singola.

Per l'elaborazione finale è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del *SESAME*, acronimo di *Site Effect Assessment Using Ambient Excitations* un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di micro zonazione sismica attraverso le misure del *noise* ambientale.

Lo strumento utilizzato per le acquisizioni in situ è un sismografo digitale a tre canali dotato delle seguenti caratteristiche:

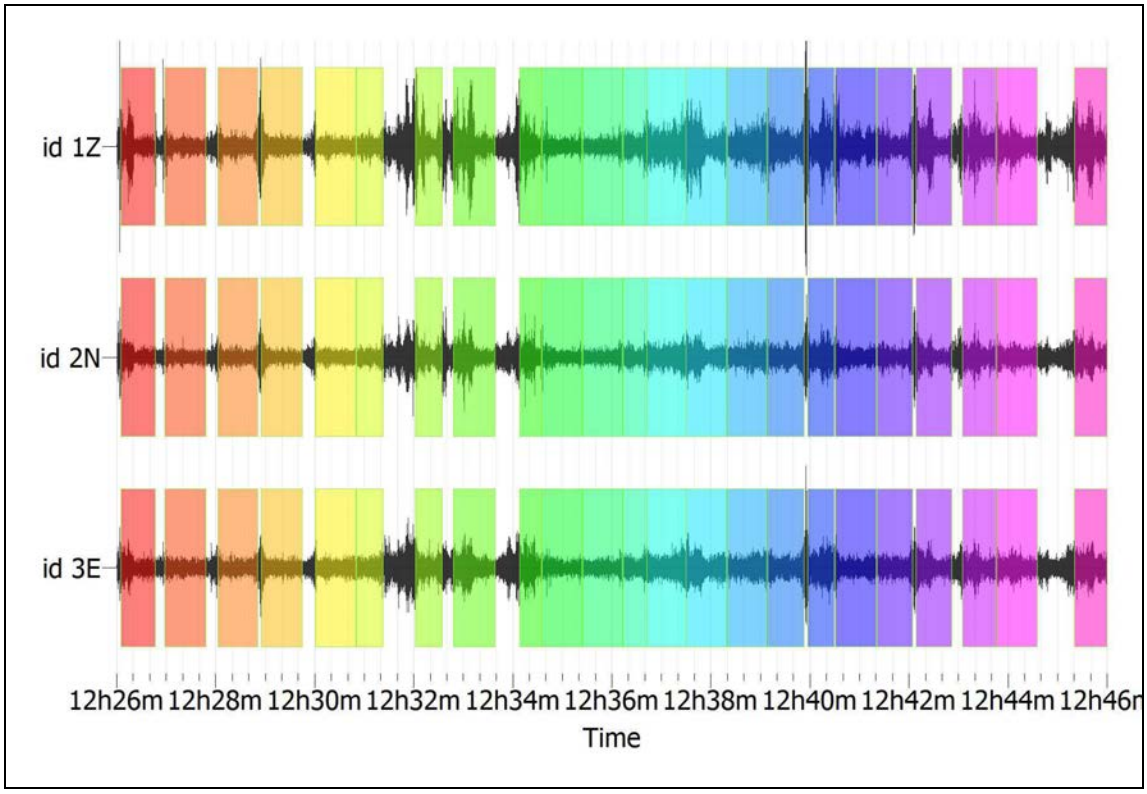
- Numero canali: 3
- Convertitore A/D: 24 bit (SD)
- Range dinamico: 124dB @ 100SPS
- Campionamento: simultaneo sui tre canali
- Sampling rates: 10, 20, 25, 50, 100, 200, 600;
- Impedenza d'ingresso: 300 kOhm
- Sensibilità: 2V p-p (119nV/count)
- Real Time Clock: +/-10ppm (-20/+50°C)
- Sincron. Real Time Clock: da GPS via PPS modulato
- Precisione rispetto a UTC: <50ms
- Antenna GPS: amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC
- CPU: AVR RISC processor @ 11.592MHz

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

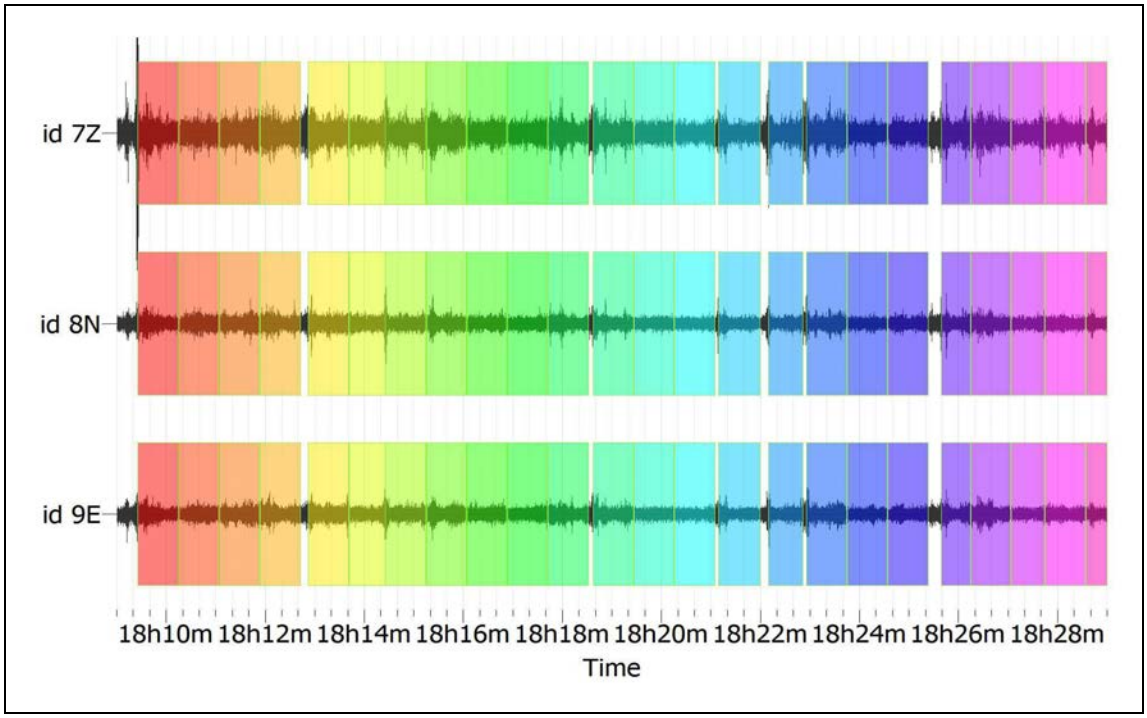
Per valutare gli effetti di sito dovuti alla risonanza prodotta dai depositi di superficie sono stati calcolati i rapporti spettrali tra la componente orizzontale e la componente verticale del moto (HVSR).

È noto come la frequenza di picco di tale funzione sperimentale possa predire la frequenza fondamentale di risonanza dei sedimenti (Haghshenas et al., 2008). Per il calcolo degli HVSR è stato utilizzato il software GEOPSY. L'algoritmo è basato su una selezione automatica delle finestre d'analisi (anti-trigger) al fine di mantenere la parte stazionaria del segnale ed escludere i transienti. Per ciascuna registrazione sono state selezionate almeno 70 finestre di analisi di durata pari a 16 secondi.

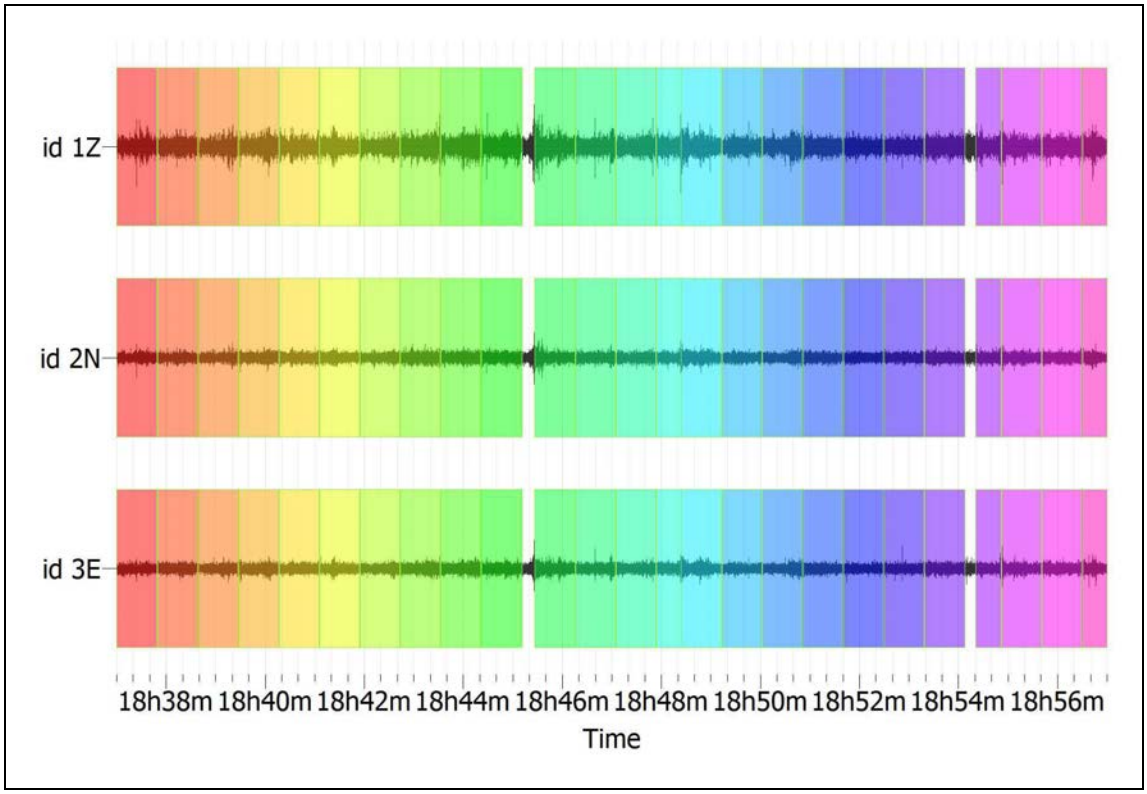
A ciascuna finestra sono stati applicati:una funzione di tapering tipo coseno al 5%, la FFT, lo smoothing dello spettro mediante funzione logaritmica proposta da Konno e Ohmachi (1998), con coefficiente b=20; quindi sono stati calcolati la media quadratica delle componenti orizzontali ed il rapporto spettrale H/V (HVSR) per ciascuna finestra; infine la media HVSR con deviazione standard.



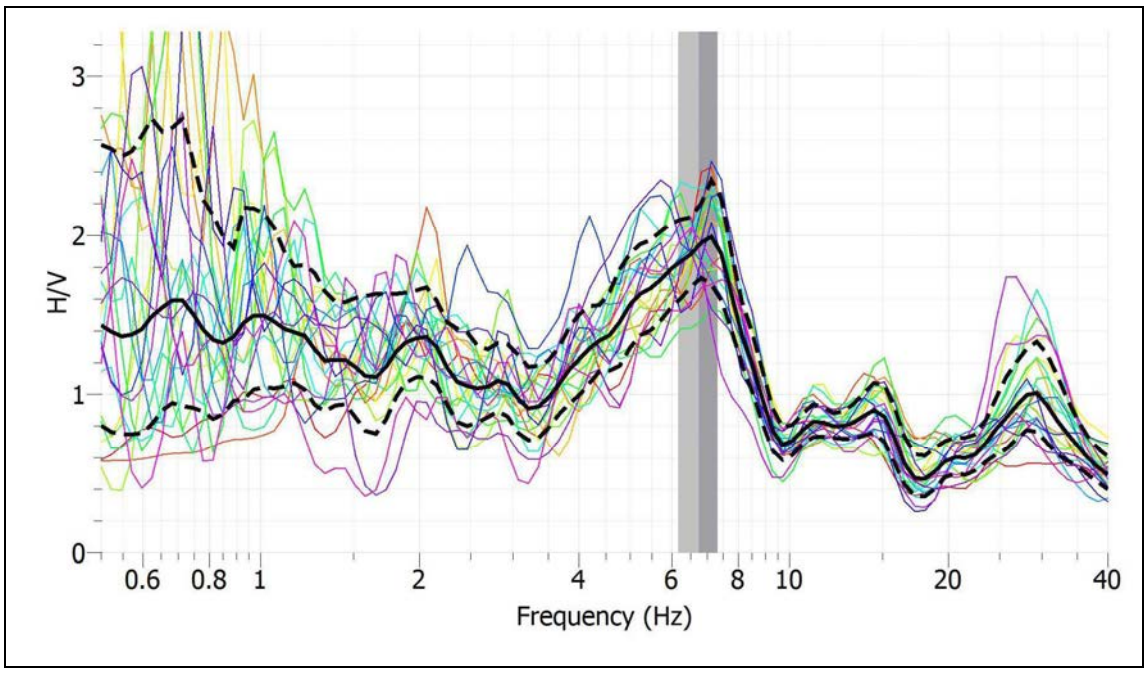
Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 1_NORD



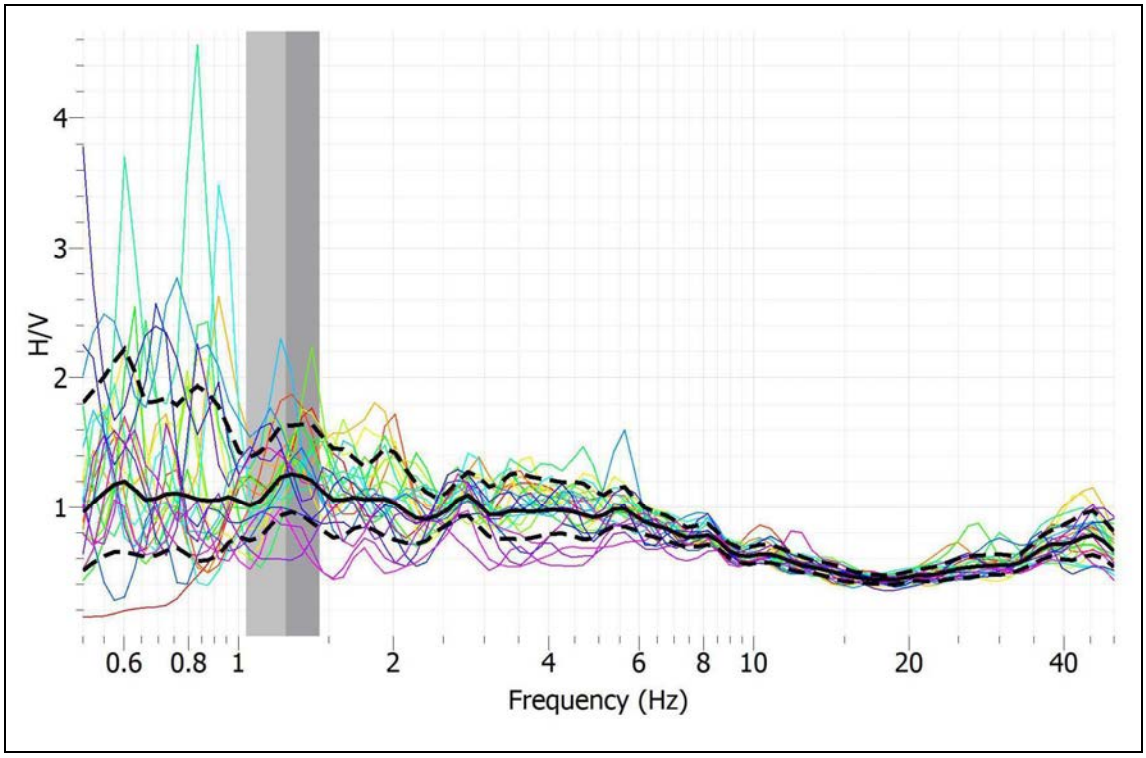
Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 2_NORD



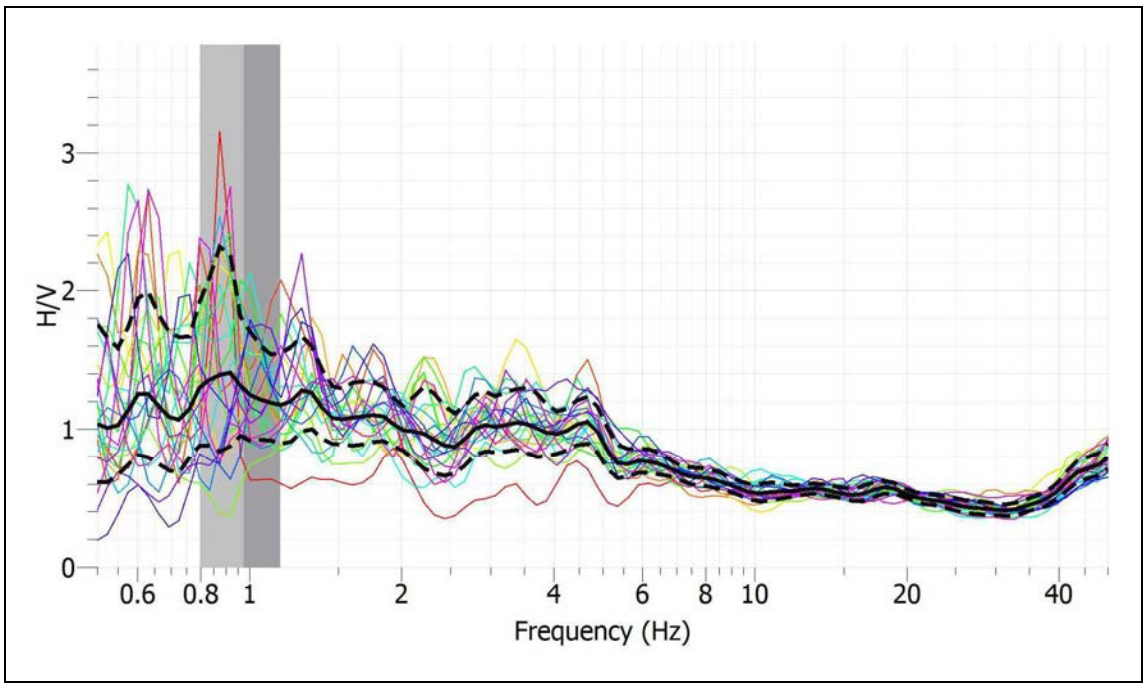
Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 3_NORD



Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 1_NORD



Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 2_NORD



Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 3_NORD

La frequenza di picco è intorno a **6,74383** Hz in HVSR 1, **1,32549** Hz in HVSR 2 e **0,97528** Hz in HVSR 3.

Dal confronto tra la funzione teorica e la curva sperimentale, si è potuto ricavare la funzione di dispersione per il modo fondamentale delle onde di Rayleigh, la cui conoscenza consente di risalire al modello di velocità del mezzo, attraverso un procedimento di inversione.

A tal fine è necessario disporre di un modello del sottosuolo da assumere come modello iniziale, consistente in un insieme di strati piano-paralleli sovrastanti un semispazio, ciascuno caratterizzato da quattro parametri: spessore, velocità delle onde S, rapporto di Poisson, densità (h, Vs, σ, ρ).

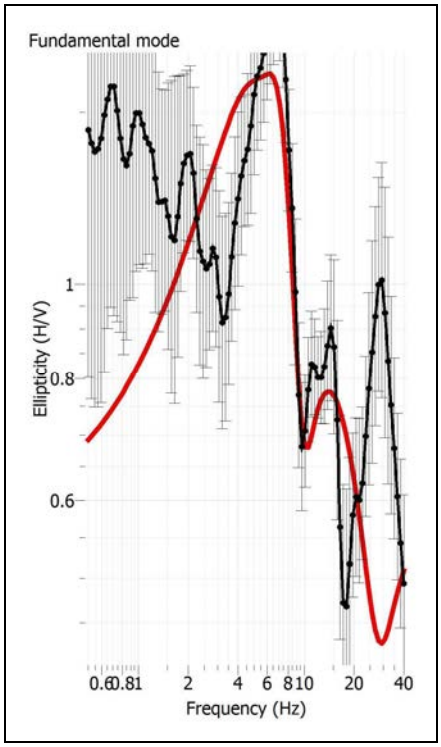
Nel caso in esame il modello iniziale è stato costruito sulla base di conoscenze geologiche; partendo dalla stratigrafia mostrata, si è definito lo spazio dei parametri riportato di seguito.

N	*h (m)*	*Vs (m/s)*	*σ*	*ρ (Kg/m³)*
1	*0 - 6*	*200- 300*	*0.2 – 0.5*	*1900*
2	*6 - 15*	*300 - 500*	*0.3 – 0.5*	*2000*
h.s.		*500 - 1500*	*0.4 – 0.5*	*2000*

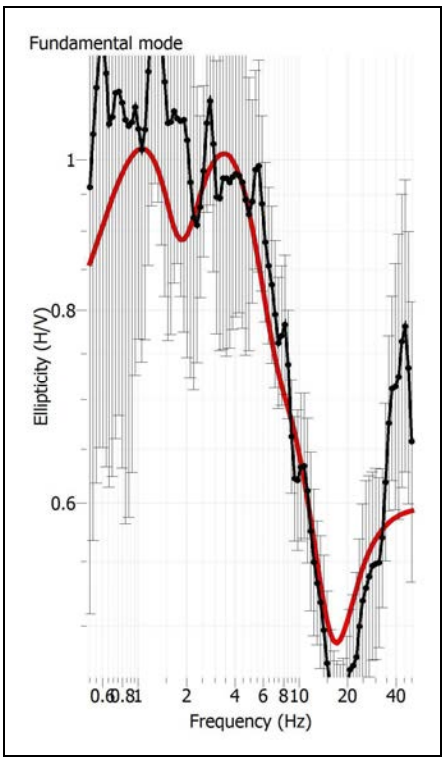
L'inversione dei dati tramite codice di calcolo DINVER è stata eseguita attraverso 100 iterazioni che hanno prodotto 2550 modelli; il valore minimo della funzione di misfit, ottenuto è pari a 1,29008 per HVSR 1, 0,35286 per HVSR 2 e 0,9586 per HVSR 3.

Per interpretare la struttura di velocità ricavata dai dati di dispersione in termini di effetti di risonanza, è stata calcolata la funzione di ellitticità per le onde di Rayleigh ed è stata confrontata alla curva sperimentale HVSR.

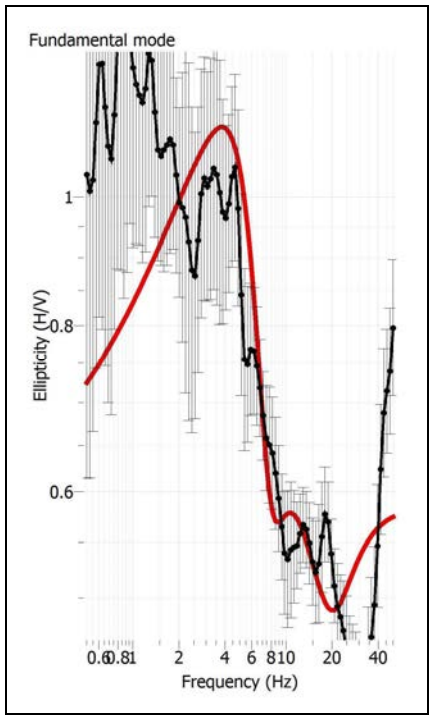
Numerosi autori hanno interpretato il rapporto spettrale H/V in relazione al rapporto di ellitticità delle onde di Rayleigh, che, in caso di forte contrasto di impedenza, mostra un picco pronunciato in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza delle onde S (Bard, 1999; Konno e Ohmachi, 1998; Haghshenas et al., 2008).



Curva analisi di ellitticità HVSR 1



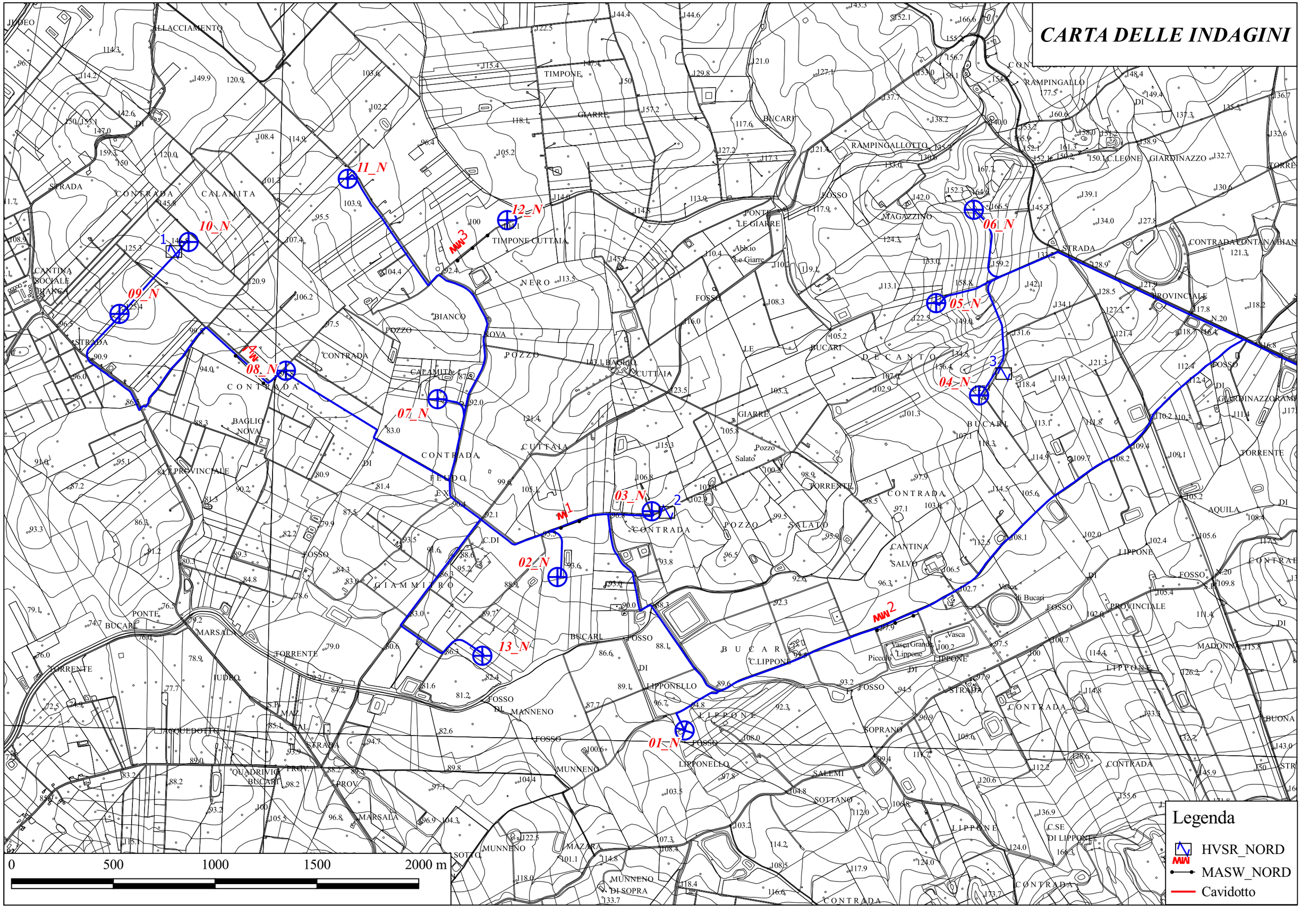
Curva analisi di ellitticità HVSR 2



Curva analisi di ellitticità HVSR 3

Il calcolo della funzione teorica è stato eseguito con il codice REIGEN85 (Herrmann, 1987). La funzione di ellitticità ottenuta ricalca nella forma la funzione sperimentale, anche se presenta valori di amplificazione più bassi. La concordanza osservata tra la frequenza di picco nella curva sperimentale ed in quella teorica convalida l'interpretazione dei dati in termini di effetto di risonanza dei sedimenti di copertura.

CARTA DELLE INDAGINI



11. Zonizzazione del territorio

La zonizzazione del territorio è stata effettuata così come previsto dalla Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – *"Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici"* (G.U.R.S. n° 28 del 11.7.2014), attraverso lo sviluppo di una cartografia di analisi ed una cartografia di sintesi così come rappresentato nei diagrammi a blocco di seguito riportati.

In tale ottica sono state redatte le seguenti carte:

- *carta delle pericolosità geologiche;*
- *carta della pericolosità sismica;*

La ***carta delle pericolosità geologiche (Tav. 6)***, è una carta di sintesi che tende ad evidenziare, attraverso la rappresentazione grafica, le aree di un determinato territorio che sono interessate da pericolosità geologiche (frane, erosioni, esondazioni, vulnerabilità dell'acquifero, colate laviche, fenomeni di fratturazione al suolo cosismico e/o per creep asismico, tipici nelle aree vulcaniche etnee, etc.).

Nello specifico sono state individuate due classi;

- *Classe 1 - Pericolosità nulla* - Riguarda le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico tecniche e morfologiche. In essa ricadono le aree caratterizzate dalla presenza di litotipi con buone caratteristiche geotecniche e le aree caratterizzate dalla presenza di litotipi prevalentemente rigidi (*Depositi calcarenitici terrazzati* ***Q1****, Marne calcaree e calcari marnosi Trubi* ***P1m,*** *Gessi Balatini,* ***M3g****; Calcari fetidi talora solfiferi,* ***M3c;*** *Calcari grossolani e fossiliferi,* ***P3s***).
- *Classe 2 - Pericolosità bassa* – Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi limitati fenomeni di dissesto. Per semplicità di trattazione sono state individuate due sottoclassi differenti che sono:
  - *Sottoclasse 2a* - In essa ricadono le aree da poco a moderatamente acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni

di territorio di ampiezza limitata (*Argille e argille brune siltose,* ***M2a;*** *Argille gessose,* ***M3a***);

- *Sottoclasse 2b* **-** In essa ricadono le aree poco acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche, ove possono manifestare localizzati fenomeni di degradazione superficiale del suolo. Si possono manifestare inoltre fenomeni di soliflusso e/o di ruscellamento diffuso ed irregolare (*Alluvioni recenti e attuali,* ***q3;*** *Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri,* ***q3l;*** *Depositi fluviali ciottolosi bassi,* ***q3f****; Depositi fluviali ciottolosi alti* ***q2***).

- *Classe 3 - Pericolosità elevata* **–** In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*Solchi di ruscellamento concentrato e/o alveo in approfondimento; frane*)

Nel dettaglio gli aerogeneratori A8, A9, A10 e A11 ricadono nell'area a pericolosità geologica nulla, l'aerogeneratore A5 e la sottostazione elettrica ricadono nell'area classificata a pericolosità 2a, mentre gli aerogeneratori A1, A2, A3, A4, A6, A7, A12, e A13, ricadono nell'area classificata 2b.

La ***Carta della pericolosità sismica*** ***(Tav. 7)*** è una carta dove devono essere individuate sia le problematiche geologiche che gli effetti di sito attendibili nell'area in studio in cui devono essere distinte le zone interessate prevalentemente da: fenomeni franosi in atto e quiescenti, aree potenzialmente franose, aree di fondovalle, aree suscettibili a potenziali fenomeni di liquefazione, etc.

Nello specifico sono state individuati due gruppi:

- *I Gruppo* - Zone stabili ove ricadono aree da pianeggianti a moderatamente acclivi, caratterizzate da litotipi pelitici, spesso tettonizzati e da litotipi rigidi. *(Depositi calcarenitici terrazzati,* ***Q1****, Marne calcaree e calcari marnosi "Trubi",* ***P1m****, Argille ed argille brune siltose,* ***M2a;*** *Argille gessose,* ***M3a****; Gessi a grandi cristalli "Balatini"* ***M3g****; Calcari fetidi talora solfiferi,* ***M3c;*** *Calcari grossolani e fossiliferi,* ***P3s****);*

- *II Gruppo* - Zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche differenti. Amplificazione differente del moto del suolo. *(Alluvioni recenti e attuali **q3**);*
- *III Gruppo* - Zone stabili ove però si possono manifestare fenomeni di liquefazione in caso di sisma. *(Alluvioni recenti e attuali, **q3**; Depositi fluviali ciottolosi bassi, **q3f**; Depositi fluviali ciottolosi alti, **q2**; Depositi palustri, Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri, **q3**l)*

Nel dettaglio gli aerogeneratori A1, A5, A8, A9, A10, A11, e la sottostazione, ricadono nell'area classificata di I Gruppo, mentre gli aerogeneratori A2, A3, A4, A6, A7, A12, e A13 ricadono nell'area classificata di II Gruppo.

12. Conclusioni

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte sud-occidentale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'ampia spianata facente parte del territorio comunale di Mazara del Vallo, e ricadente nelle contrade denominate: *Giammitro, Calamita Nova, Bucari* e *Lipponello.*

Dal punto di vista geologico nell'area in studio ed in un intorno significativo di essa affiorano i seguenti litotipi:

- depositi palustri ***(q3l)***;
- alluvioni recenti e attuali ***(q3)***;
- depositi fluviali ciottolosi bassi ***(q3f)***;
- depositi fluviali ciottolosi alti ***(q2)***;
- depositi terrazzati ***(Q1)***;
- Calcari grossolani e fossiliferi ***(P3s)***;
- marne calcaree *"**Trubi**" **(P1m)**;*
- Gessi a grandi cristalli "Balatini" ***(M3g)***;
- Argille gessose ***(M3a)***;
- Calcari fetidi talora solfiferi ***(M3c)***;
- argille ed argille brune siltose ***(M2a)***.

Dal punto di vista idrogeologico non sono stati individuati punti d'acqua significativi. Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da istallare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

Durante le fasi di sopralluogo si è osservato che l'area in esame, risulta interessata da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano nella normale dinamica evolutiva dei versanti.

In ogni caso nell'area ove si dovranno realizzare i pali ed un intorno significativo di essa, non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto e/o instabilità ne in atto ne potenziale.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume Màzaro e area territoriale tra il bacino idrografico del Fiume Màzaro ed il bacino idrografico del Fiume Arena (053),* redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 26.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007 e le aree ove si prevede di istallare gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica, non ricadono ne in area a rischio ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I.

Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico è stabile e che l'installazione dei pali non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

L'elaborazione MASW delle quattro stese sismiche eseguite ha definito un valore valore della velocità Vs_{30} dei terreni pari **503** m/s nel MASW 1_NORD, **659** m/s nel MASW 2_NORD, **541** m/s nel MASW 3_NORD e **529** m/s nel MASW 4_NORD. Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo ***B*** *(Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.).*

Termini Imerese, Settembre 2019

Il Geologo
(Dott. Ignazio Giuffrè)

Comune di

Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.

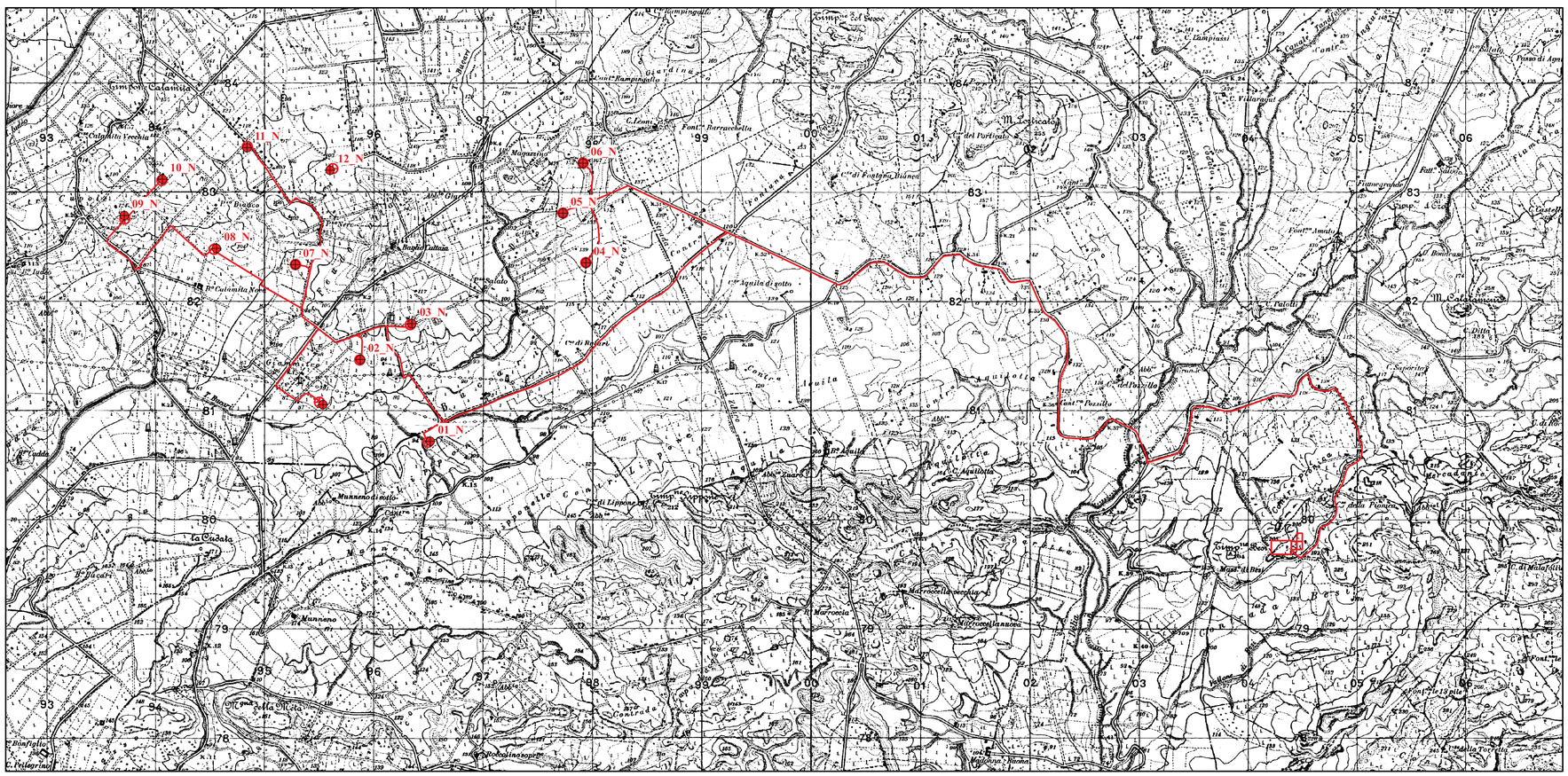
PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA INQUADRAMENTO TERRITORIALE **Tav. 1**

Scala 1:25.000



A11
A12
A10
A09
A08
A07
A06
A05
A04
A03
A02
A13
A01
SSE

Comune di
Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.
PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA GEOLOGICA

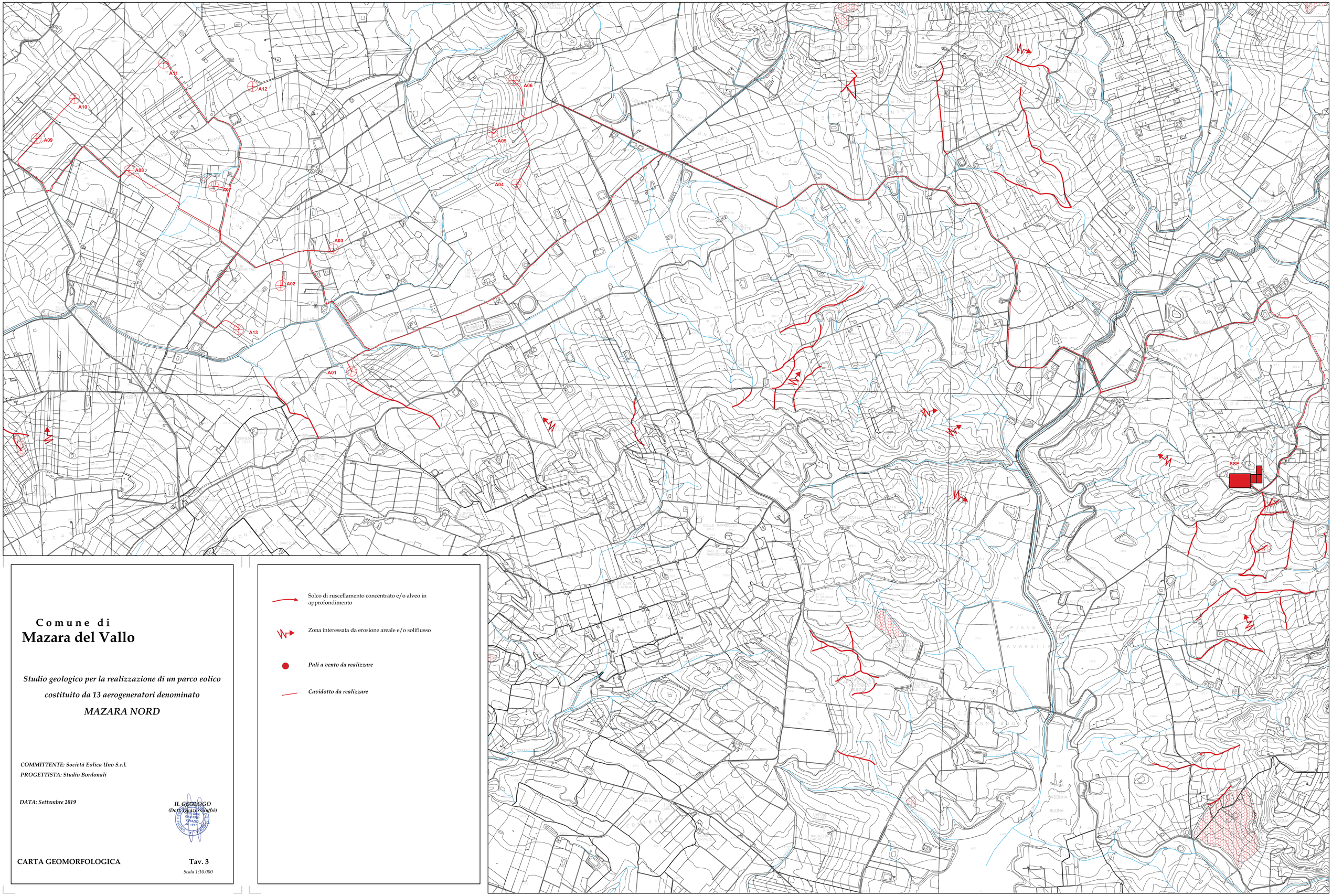
Tav. 2
Scala 1:10.000

- q3 - Alluvioni recenti ed attuali, (olocene)
- q3l Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri (olocene)
- q3f Depositi fluviali ciottolosi bassi, spesso terrazzati in due ordini (Pleistocene superiore)
- q2 Depositi fluviali ciottolosi alti, terrazzati a 80 120 metri sull'alveo attuale (Pleistocene medio)
- Q1 Depositi conglomeratici cementati - Calcareniti (Pleistocene inferiore)
- P3s Calcari grossolani e fossiliferi (Pliocene superiore)
- P1m Marne bianche grigie a globigerine "Trubi" (Pliocene inferiore)
- M3g Gessi a grandi cristalli "Balatini" (Miocene superiore)
- M3a Argille gessose (Miocene superiore)
- M3c Calcari fetidi talora solfiferi (Miocene superiore)
- M2a Argille della Fm. Terravecchia (Micene superiore - medio)

Confine litologico

Pali a vento da installare

Cavidotto da realizzare



Comune di
Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.
PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA GEOMORFOLOGICA **Tav. 3**

Scala 1:10.000

Solco di ruscellamento concentrato e/o alveo in approfondimento

Zona interessata da erosione areale e/o soliflusso

Pali a vento da realizzare

Cavidotto da realizzare

A11
A12
A10
A09
A08
A07
A06
A05
A04
A03
A02
A13
A01
SSE

Comune di
Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.
PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA IDROGEOLOGICA **Tav. 4**

Scala 1:10.000

Rocce ad elevata permeabilità per porosità con coefficiente di permeabilità K compreso tra 10_{-1} e 10_{-3}
(Alluvioni recenti e attuali (**q3**); Depositi fluviali ciottolosi bassi e alti (**q3f - q2**)

Rocce a permeabilità media per fratturazione, fessurazione e/o carsismo con coefficiente di permeabilità K compreso tra 10_{-3} e 10_{-5}
(Depositi terrazzati calcarenitici (**Q1**); Calcari marnosi a Globigerine "**Trubi**" (**P1m**); Calcari grossolani e fossiliferi **(P3s)**; Gessi Balatini (**M3g**); Calcari fetidi talora solfiferi (**M3c**))

Rocce impermeabili costituite da estese successioni sedimentarie pelitiche prive di circolazione idrica sotterranea, con coefficiente di permeabilità K compreso tra 10_{-6} e 10_{-9}
(Depositi palustri (**q3l**); Argille e argille brune siltose **Fm. Terravecchia** (**M2a**); Argille gessose (**M3a**)

Confini litologici

Pali eolici da realizzare

Cavidotto da realizzare

A11
A12
A10
A09
A08
A07
A06
A05
A04
A03
A02
A13
A01
SSE

Comune di

Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.

PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Gaffre)

CARTA LITOTECNICA

Tav. 5

Scala 1:10.000

UNITÀ LITOTECNICHE DI COPERTURA

F3 - Sedimenti a grana grossa con basso grado di cementazione e legante prevalentemente calcitico. (Depositi calcareniticì **Q1**)

G1c - Sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati, da sciolte a moderatamente cementate (Alluvioni recenti ed attuali **q3**; Depositi fluviali ciottolosi alti, **q2**; Depositi fluviali ciottolosi bassi, **q3f**)

H1 - Sedimenti a grana fine e finissima. Limi argillosi o argille. (Depositi palustri **q3l**)

UNITÀ LITOTECNICHE DI SUBSTRATO

A - Successioni sedimentarie con poliedri giustapposti volume medio oltre 0,01 mc, (Gessi a grandi cristalli "Balatini", **M3g**)

A2 - Successioni carbonatiche con poliedri giustapposti volume medio oltre 0,1 mc, (Calcari fetidi talora solliferi, **M3c;** Calcari grossolani e fossiliferi, **P3s**;)

B3s - Successioni stratigrafiche caratterizzate da alternanze di litotipi diversi, strutturalmente disordinate (Marne calcaree e calcari marnosi, **P1m**)

B1 - Successione con alternanza di litotipi diversi a struttura caotica. (Argille ed argille brune siltose, **M2a** Argille gessose, **M3a**)

Confine litotecnico

Pali a vento da installare

Cavidotto da realizzare

Comune di

Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.

PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA **Tav. 6**

Scala 1:10.000

CLASSE 1 - PERICOLOSITA' NULLA
Corrisponde a situazioni geologico - tecniche e morfologiche stabili.
(Depositi calcarenitici terrazzati, **Q1**; Marne calcaree e calcari marnosi *Trubi*, **P1m;** Gessi Balatini, **M3g;** Calcari fetidi talora solfiferi, **M3c;** Calcari grossolani e fossiliferi, **P3s**)

CLASSE 2 - PERICOLOSITA' BASSA
Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi fenomeni di dissesto.

Sottoclasse 2a
In essa ricadono le aree da poco a moderatamente acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata.
(Argille e argille brune siltose, **M2a;** Argille gessose, **M3a**)

Sottoclasse 2b
In essa ricadono le aree poco acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche, ove possono manifestare localizzati fenomeni di degradazione superficiale del suolo.
(Alluvioni recenti e attuali, **q3;** Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri, **q3l;** Depositi fluviali ciottolosi bassi, **q3f**; Depositi fluviali ciottolosi alti **q2**)

CLASSE 3 - PERICOLOSITA' ELEVATA
In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto.
Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (Solchi di ruscellamento concentrato e/o alveo in approfondimento; frane)

Confine litologico

Pali a vento da installare

Cavidotto da realizzare

Comune di

Mazara del Vallo

Studio geologico per la realizzazione di un parco eolico costituito da 13 aerogeneratori denominato

MAZARA NORD

COMMITTENTE: Società Eolica Uno S.r.l.

PROGETTISTA: Studio Bordonali

DATA: Settembre 2019

IL GEOLOGO
(Dott. Ignazio Giuffrè)

CARTA PERICOLOSITA' SISMICA **Tav. 7**

Scala 1:10.000

I GRUPPO
Assenza di pericolosità sismica locale. Zone stabili ove ricadono aree da pianeggianti a moderatamente acclivi, caratterizzate da litotipi pelitici, spesso tettonizzati e da litotipi rigidi.
(Depositi calcarenitici terrazzati, **Q1**, Marne calcaree e calcari marnosi "Trubi", **P1m**, Argille ed argille brune siltose, **M2a;** Argille gessose, **M3a**; Gessi a grandi cristalli "Balatini" **M3g**; Calcari fetidi talora solfiferi, **M3c;** Calcari grossolani e fossiliferi, **P3s**)

II GRUPPO
Zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche differenti. Amplificazione differente del moto del suolo.
(Alluvioni recenti e attuali, **q3**; Depositi fluviali ciottolosi bassi, **q3f**; Depositi fluviali ciottolosi alti, **q2**; Depositi palustri, Alluvioni recenti ed attuali, zone palustri, **q3l**)

III GRUPPO
Zone instabili ove si possono verificare o riattivare fenomeni franosi preesistenti in caso di sisma.
(Frane)

Confine litologico

Pali a vento da installare

Cavidotto da realizzare

A01 A02 A03 A04 A05 A06 A07 A08 A09 A10 A11 A12 A13

SSE