Firmato digitalmente da
Gabriele Lanza
O = Ordine degli Architetti di Savona/92006170093
C = IT

GABRIELE LANZA ARCHITETTO STUDIO DI ARCHITETTURA E URBANISTICA

VIA BAGLIETTO 6 - 17100 SAVONA
LNZGRL64M05H126J
tel. 019.2000.019 cell. 349.3257263
e-mail arch_lanza@virgilio.it
PEC arch_lanza@virgilio.it

COLLABORATORI: Architetto Fornelli Chiara



PARTE 9 - QUADRO GEOLOGICO

REGIONE LIGURIA • **PROVINCIA DI SAVONA**

COMUNE DI QUILIANO
COMUNE DI ALTARE

PROGETTO DEFINITIVO
PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO
DI PRODUZIONEDI ENERGIA ELETTRICA
DA FONTE EOLICA

SITO EOLICO 02_SV

PARCO EOLICO FORTE BARACCONE

COMMITTENTE

corso Italia, 4/2 ● 17100 Savona ● Cod. Fisc. e Partita IVA 01492670094
www.aevento.it
legale rappresentante Ævento s.r.l.: dott. arch. Gabriele Lanza

ELABORATO 9.1

Relazione Geologica e
prospezione sismica MASW - AE_01

Comune di Quiliano
Comune di Altare

Provincia di Savona

AEVENTO srl
Savona

PARCO EOLICO "MONTE BARACCONE"

Relazione Geologica
ex DGR n.966 del 05/09/2002
Aggiornamento 2012

Westgeo D.Minuto & Associati
Corso Italia 26
Vado Ligure (SV)
westgeominuto@katamail.com

1) Premessa

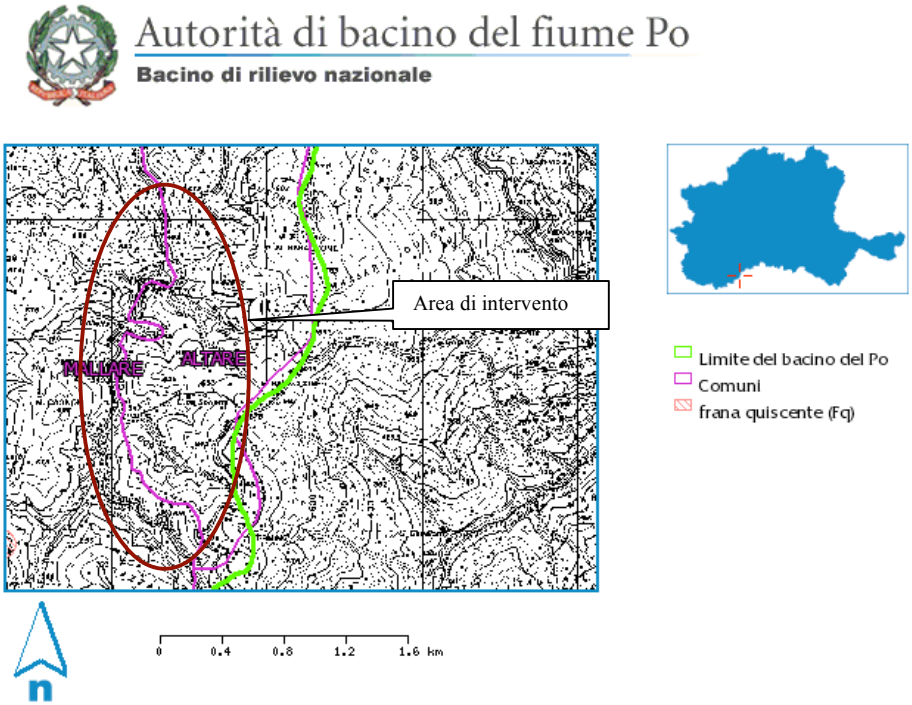
La Committenza in epigrafe ha incaricato lo scrivente professionista della realizzazione degli accertamenti geologici così come previsto dalla D.G.R. n° 966 del 5 Settembre 2002 della Regione Liguria in tema di autorizzazione ambientale (verifica/screening) per la installazione di un parco eolico in località Monte Baraccone nel Comune di Quiliano e nel Comune di Altare così come meglio definito negli elaborati di progetto stilati dall' Arch. G. Lanza di Savona.

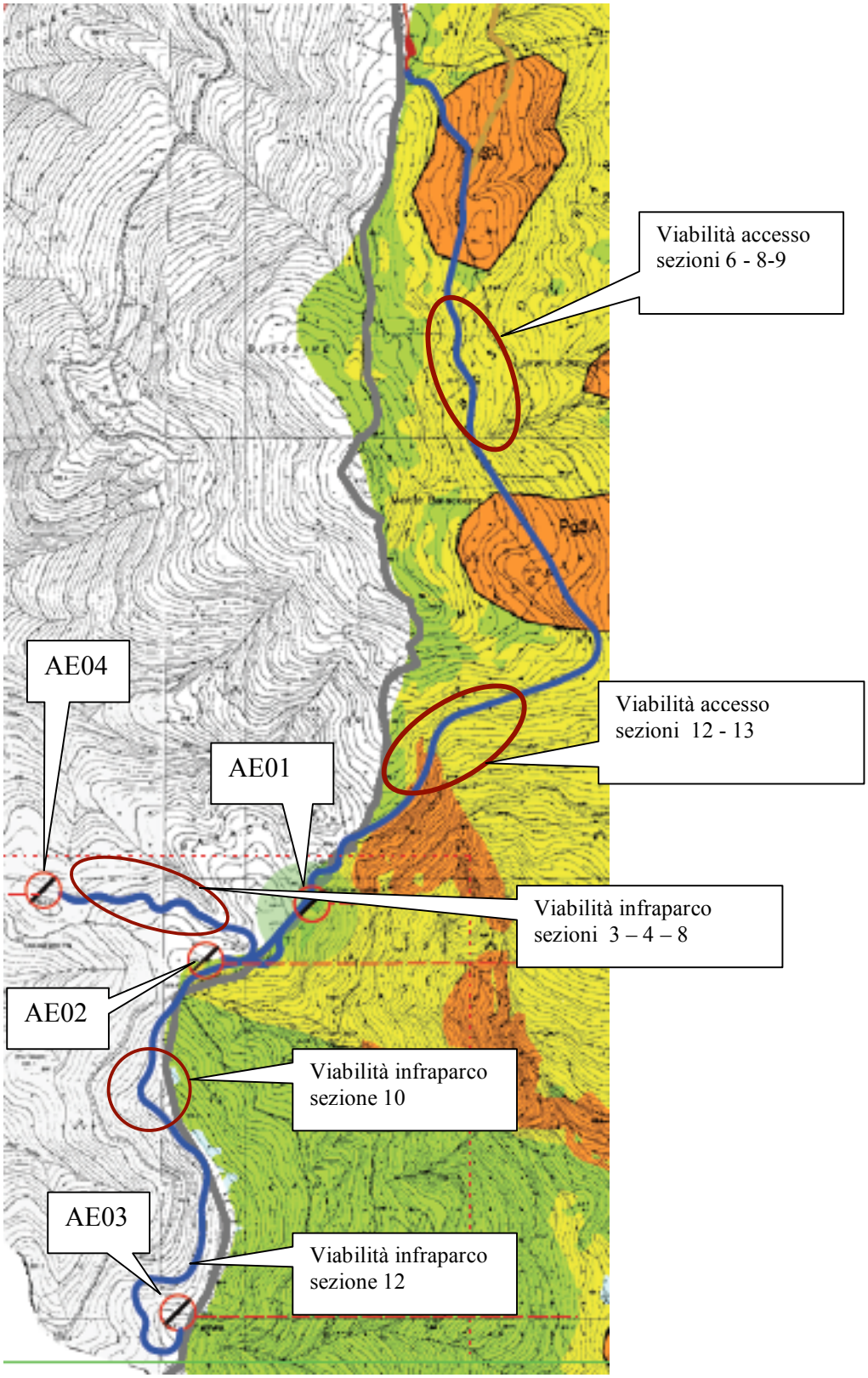
Viene quindi proposta una seconda sintesi delle attività svolte in situ e in "desk study" che sono consistite in :

- sopralluoghi e visite tecniche dedicate ad ogni singola ubicazione e ai siti interessati dalla viabilità di accesso
- analisi cartografica geologica e geomorfologica secondo quanto disponibile in letteratura
- verifica di compatibilità sotto il profilo geologico, idrogeologico e geomorfologico del progetto in argomento con particolare riferimento a quanto stabilito dalla vigente normativa (vincolo idrogeologico, Piani di Bacino Stralcio della Provincia di savona e PAI – Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po)
- esecuzione di alcune indagini geognostiche a carattere geofisico e di natura preliminare (prospezioni sismiche a rifrazione e n. 1 prova MASW su aerogeneratore AE01) al fine di supportare la caratterizzazione litostratigrafica e quella fisico-meccanica
- determinazione dell'azione sismica in situ
- ri - contestualizzazione degli interventi in progetto nell'ambito geomorfologico dei siti di installazione con indicazioni inerenti gli argomenti progettuali a carattere esecutivo che saranno affrontati nel prosieguo delle attività (con riferimento alla versione progettuale aggiornata a tutto il Dicembre 2012)

2) Il contesto territoriale sotto il profilo geologico, geomorfologico ed idrogeologico in relazione alle previsioni di progetto

Le installazioni degli aerogeneratori previste sono individuabili in prossimità dello spartiacque tirrenico-padano a quote intorno ai 600 – 750 m slm in un intorno compreso tra gli abitati di Altare a N-NE e di Roviasca (Quiliano) a S-SW lungo la direttrice N—S determinata dalle principali culminazioni morfologiche del Monte Burot e del Monte Baraccone. La particolarità di tale contesto da un punto di vista oro/idrografico sta nella esigua distanza dalla linea di costa del Mar Ligure contrapposta all'alimentazione "padana" fornita nell'arco di poche centinaia di metri dalle radici dei rii che costituiscono i livelli gerarchici più remoti dell'ampio bacino del fiume Bormida. Assai gerarchizzato appare anche il *pattern* idrografico sull'opposto versante tirrenico come è abbondantemente palesato dai successivi estratti cartografici relativi al reticolo fluviale.
Si segnala, inoltre, come bene evincibile dai successivi estratti cartografici PAI, l'assenza di fattori inibitori del progetto (per dissesti attivi o quiescenti) sul versante padano.





La suscettività al dissesto del PdB stralcio del torrente Quiliano (f.s.)

Il nuovo assetto progettuale vede l'inserimento degli aerogeneratori AE01 e (parzialmente) AE02 in aree di competenza del PdB del torrente Quiliano in aree a bassa o media

suscettività al dissesto (PG1 ovvero PG2) mentre AE03 e AE04 sono di pertinenza PAI in assenza di fattori geomorfologici ostativi.

Per quanto concerne la viabilità di accesso al parco si sottolinea come la versione progettuale di cui al presente documento presenti una assai limitata quantità di sezioni di progetto che richiedano significativi movimenti terra (vedasi seguente capitolo 6) .

Tra queste le sezioni 6 – 8 e 9 in figura indicate e più in oltre riportate ricadono nettamente in area PG2 mentre le sezioni 12 e 13 rispettivamente in area PG2 e PG3B.

La viabilità infraparco ricade, nella sua quasi totalità, in aree di pertinenza padana e in assenza di fenomeni di dissesto (o comunque ostativi) su base PAI.

Le restanti sezioni di progetto (cfr. atti progettuali Arch. Lanza) non trovano localmente formali vincoli comportando , comunque, movimenti terra del tutto limitati.

Da un punto di vista litostratigrafico l'areale di interesse progettuale è caratterizzato dalla contiguità tra i terreni dell'Unità di Molare e i termini metamorfici più antichi (Vigna 2002) : trattasi essenzialmente, i primi, di conglomerati poligenici con bancate areanaceo-marnose subordinate e caratterizzati da uno scheletro di elementi litoidi talora arrotondati e talora più spigolosi (facies basale della sequenza stratigrafica) di dimensioni eterometriche. Stratigraficamente si tratta di prodotti sedimentari marini di età oligomiocenica che costituiscono la formazione basale del cosiddetto BTP (Bacino Terziario Piemontese) ossia i più antichi prodotti della massiccia trasgressione marina sul basamento cristallino più antico.

Le coperture detritiche superficiali, di natura eluvio-colluviale, sono mediamente poco sviluppate e rappresentate da una cotica granulare a scheletro prevalente di ciottoli e ghiaia con abbondante matrice sabbiosa.

In questo contesto sedimentario la conducibilità idraulica è medio-elevata per porosità negli orizzonti detritici eluviali granulari più o meno grossolani mentre il bedrock s.s trova interfacce tra bancate arenaceo-marnose e stratificazioni conglomeratiche ove possono inserirsi limitati flussi idrici ipogei.

Lo scenario geologico e formazionale generale del sito è rappresentato, inoltre (con particolare evidenza sul versante tirrenico) dai terreni riferibili al cosiddetto Dominio Brianzonese Ligure la cui serie stratigrafica principale è suddivisibile tipicamente in tre parti : il basamento cristallino, il tegumento permo-carbonifero e la copertura meso-cenozoica . In particolare gli affioramenti rocciosi apprezzabili nell'areale di pertinenza

sono riconducibili al tegumento permo- carbonifero e, segnatamente, alla Formazione di Murialdo (Stefaniano 290 milioni di anni) (con brandelli associati di metavulcaniti più antiche e di termini qz-scistosi dello scitico riferibili alla copertura mesozoica) Trattasi, per quanto concerne la Formazione di Murialdo, essenzialmente di metasedimenti fini a carattere perlopiù filladico scuro con vene quarzose, talora grafitose. Il tegumento rappresenta la porzione di gran lunga più estesa degli attuali affioramenti brianzonesi liguri .

Lo sviluppo delle coltri in ambito metamorfico è invece correlabile agli aspetti mineralogici e alle condizioni strutturali-tettoniche. In generale i metasedimenti sono finemente scistosi e lamellari e trovano – talvolta - un maggiore sviluppo verticale delle potenze di coltre proprio in ragione della loro intrinseca alterabilità chimico – fisica .

Altresì la presenza di una matrice argillosa, talvolta non secondaria, conferisce ai detti materiali carattere di bassa o molto bassa permeabilità per cui, nel bilancio idrogeologico, la quota di infiltrazione è scarsa a favore – generalmente – di un ruscellamento significativo.

La collocazione in prossimità della linea di cresta dell'allineamento delle culminazione morfologiche della dorsale, localmente rappresentata sovente però da "spianate" altitudinali più o meno ampie, facilita l'inserimento delle installazioni in progetto.

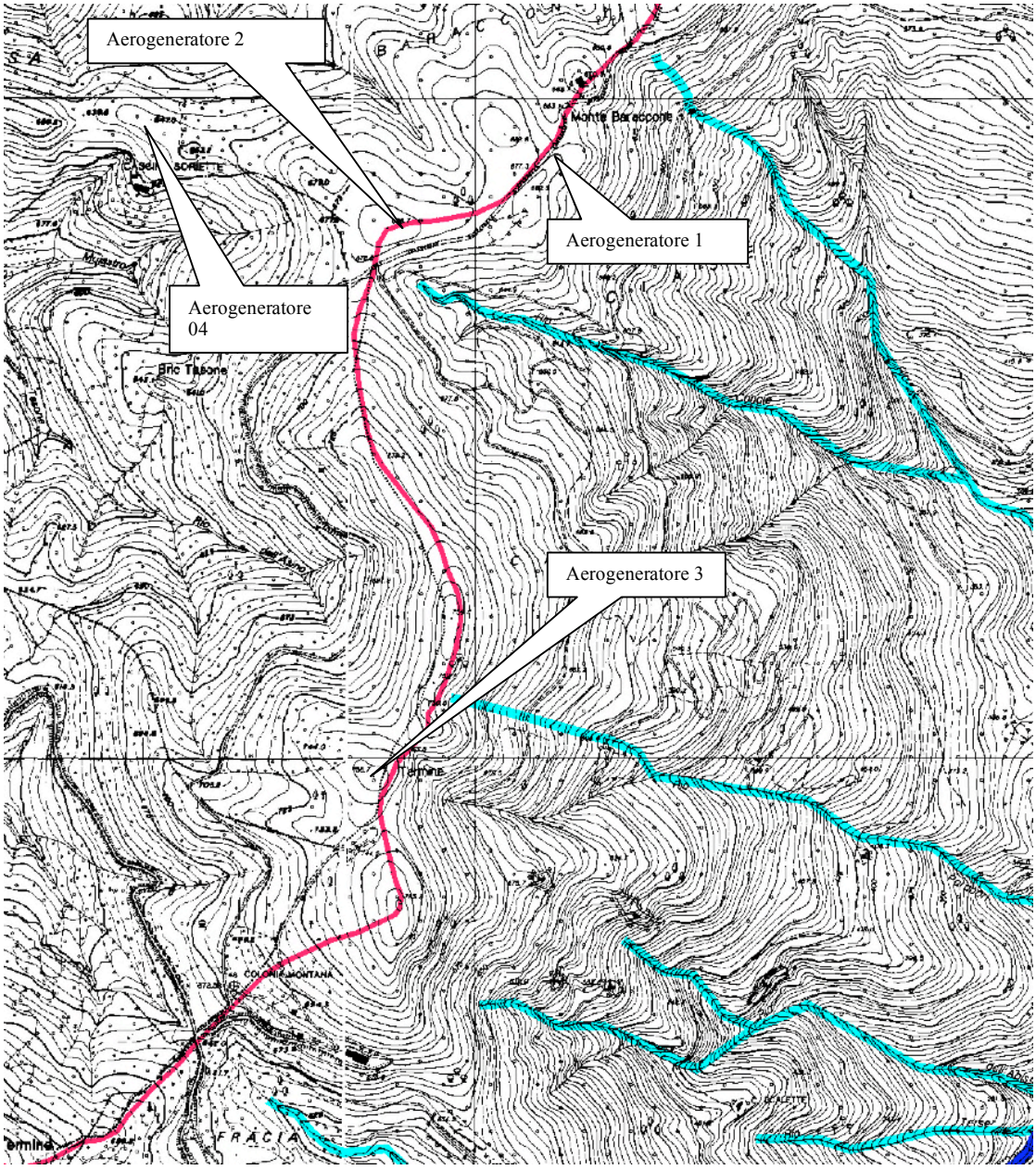
In tale ottica si esamini anche il contesto relativo alla suscettività al dissesto: si può apprezzare infatti come siano in ambito padano e di competenza PAI gli aerogeneratori AE04 e AE03 mentre AE01 e AE02 si trovino collocati in aree verdi-azzurre (Pg1 – Pg0) secondo il PdB – torrente Quiliano o in area gialla Pg2.

Da segnalare come il tracciato, ex novo, della traccia di accesso agli aerogeneratori n° 3 e n°4 ricada invece complessivamente in ambito di competenza PAI (cfr. elaborati progettuali) priva di problematiche di dissesto secondo quanto evidenziato dal PAI medesimo.

Ritornando allo sviluppo delle coltri eluvio-colluviali locali le risultanze delle prospezioni sismiche a rifrazione eseguite hanno permesso di stimare comunque una certa variabilità negli spessori di riferimento in corrispondenza delle piazzole degli aerogeneratori : trattasi di potenze mediamente comprese tra poche decine di centimetri e circa 2.0 m.

Le stesse prospezioni sismiche hanno invece marcato con una certa evidenza (si veda più oltre) le differenziazioni tra i diversi sviluppi verticali puntuali degli orizzonti di maggiore alterazione/destrutturazione (comunque sempre rilevanti) del bedrock.

Appare interessante segnalare come le velocità delle onde compressionali > 3.0 km/s individuate nel bedrock sano presso l'aerogeneratore AE 04 (già 200 kW) (come da esperienze in siti limitrofi condotte dallo scrivente) indirizzino l'interpretazione litostratigrafica puntuale verso una riferibilità ad un substrato di pertinenza conglomeratica (le velocità medie più elevate nei termini metamorfici locali non oltrepassano i 2.5 -2.7 km/s).



3) Le prospezioni sismiche a rifrazione : esiti

Sono state eseguite da Terra srl di Vado Ligure 5 prospezioni sismiche a rifrazione a 12 canali , energizzazione multipla, utilizzo di mazza battente su piastra metallica e geofoni verticali con frequenza propria di 14 Hz (2011) mentre nel Dicembre 2012 è stato eseguito un primo test MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) (si veda in allegato).
Nel seguito del presente documento sono riportati gli elaborati di dettaglio riguardanti le evidenze sismostratigrafiche. Si consideri che, in relazione all'avvenuto aggiornamento progettuale, e sulla base di una ri-verifica puntuale delle nuove ubicazioni si sono ritenute le risultanze ottenute nel 2011 come attendibili anche alla luce della nuova definizione progettuale.

Veniamo quindi a sintetizzarne le risultanze :

Aerogeneratore AE01

Oltre alla citata presenza di una poco sviluppata cotica detritica eluviale superficiale sfumante nel regolite di totale destrutturazione del bedrock (potenza media c.a 2.0 m) troviamo un orizzonte rifrattivo caratterizzato da un intervallo di velocità delle onde compressionali P compreso tra 1.3 – 1.5 km/s , a testimonianza, ancora, di un elevato grado di destrutturazione del substrato localmente presente, con una potenza compresa tra 4.0 e 8.0 m.
Segue un rifrattore a velocità > 2.3 – 2.4 km/s riferibile ad un substrato più sano ma comunque affetto da fratturazione/scistosità spinte.

Aerogeneratore AE2

Situazione analoga con due iniziali sismostrati a bassa velocità delle onde di compressione ma con una potenza complessiva sino a circa 4.0 m, riconducibili alla cotica eluviale detritica sfumante nell'orizzonte di massima destrutturazione, seguiti da un

rifrattore corrispondente a velocità delle onde P tra 1.8 e 2.0 km/s (destrutturazione media) per finire nel bedrock più veloce (Vp > 2.5 km/s).
Lo spessore dell'orizzonte a destrutturazione media è comunque compreso tra 4.0 e 8.0 m per cui il substrato in migliori condizioni geomeccaniche non è comunque individuabile a profondità < 10 – 12 m da p.c.

Aerogeneratore AE03 (già AE04)

Il sistema appare a tre sismostrati : un primo livello molto superficiale con basse velocità (< 0.5 km/s) di palese riconducibilità alla locale coltre eluviale o colluviale (potenza massima dell'ordine di 2.0 m) seguito dall'orizzonte intermedio con velocità dell'ordine di 1.0 – 1.1 km/s (destrutturazione molto spinta) per individuare a profondità medie non < 5.0 m , ma definite in sismostratigrafia anche sino a 10 m da p.c., il bedrock caratterizzato da velocità (comunque non molto elevate) di 2.0 – 2.2 km/s.

Aerogeneratore AE04 (già AE 200 kW)

La presumibile differente riferibilità litostratigrafica di questo specifico sito (Unità di Molare) ci presenta una situazione a tre strati caratterizzata da un primo livello a sviluppo verticale minimo (dell'ordine medio di c.a 1.0 m) di coltre granulare immediatamente seguito dal probabile conglomerato più alterato e meno cementato per una potenza media di circa 4.0 m (velocità delle onde P comunque dell'ordine 1.7 – 2.0 km/s) per raggiungere infine l'orizzonte rifrattivo del bedrock in migliori condizioni a profondità di 5/6 m da p.c (velocità delle onde P dell'ordine di 3.0 km/s caratteristiche dei litotipi arenaceo-conglomeratici di Molare.
Appare del tutto evidente come, su base sismica, le valutazioni espresse in ordine sia al grado di alterazione/destrutturazione/fratturazione che, soprattutto, in merito alla pertinenza litostratigrafica, siano da assoggettare a future verifiche dirette (sondaggi a carotaggio continuo da eseguirsi una volta che la viabilità lo consenta) anche al fine di una caratterizzazione geotecnica di dettaglio che permetta una progettazione fondazionale in linea con i dettami del D.M. 14.01.08 (nuove NTC 2008)..

4) Caratterizzazione fisico-meccanica preliminare

Secondo El Naqa (1996) abbiamo (per valori di velocità delle onde P < 3500 m/s) :

$$RQD = 36.7 \times V_p^{0.52}$$

Ove RQD = Rock Quality Designation (n/100) e V_p= velocità delle onde P misurate m/s
Possiamo quindi, per i terreni metamorfici interessanti gli aerogeneratori n°1,2,3 e 4, identificare :

- intervallo 0.7 – 1.7 km/s riconducibile al bedrock da completamente destrutturato a parzialmente destrutturato ma comunque in condizioni geomeccaniche del tutto scadenti (10 %< RQD < 18 %)
- valori > 2.0 km/s sino a 2.7 – 2.8 km/s bedrock molto fratturato (RQD comunque < 25 %)

La detta relazione di El Naqa appare meno praticabile nel caso dell'aerogeneratore AE 200kW in quanto la particolare natura delle formazioni arenaceo – conglomeratiche paga un forte contributo in termini di velocità delle onde P a seconda del grado di cementazione.
Rinnoviamo la sottolineatura riguardante la necessità degli approfondimenti necessari (con particolare riferimento ai valori di RQD) mediante la realizzazione futura di sondaggi a carotaggio continuo.
Argomento di interesse applicativo è la caratterizzazione geomeccanica del substrato locale in relazione agli aspetti fondazionali.
Ricordiamo come il criterio classificativo GSI (Geological Strenght Index) così come proposto, nella sua più recente versione, da alcuni Autori (Hoek, Marinos 2002) possa rappresentare un utile supporto. Il sistema classificativo GSI è finalizzato ad ottenere, mediante valutazioni qualitative, la determinazione di tutti i parametri necessari a stimare la resistenza al taglio del materiale roccia secondo il noto criterio di Hoek & Brown (1980) in particolare con l'uso di abachi dedicati.
Tale criterio è così espresso :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b\sigma_3/\sigma_{ci} + s)^a$$

ove σ_1 e σ_3 sono le tensioni principali efficaci massima e minima, σ_{ci}= resistenza alla compressione monoassiale mentre gli altri parametri sono funzione, secondo equazioni semiempiriche, del detto indice GSI (m_b è a sua volta legato a m_i che è valore dipendente dalla natura petrologica della roccia – tabellato da Hoek, nel nostro caso si può utilizzare l'intervallo 4 - 6). La relazione è :

$$m_b = m_i \exp [(GSI -100) / (28 – 14D)]$$

ove D è un fattore di disturbo che tiene conto del grado di disturbo subito dall'ammasso (pari a 0 per ammassi intatti sino a 1 per ammassi fortemente disturbati). Nel nostro caso è possibile ipotizzare un D = 0.3 – 0.4 . Senza entrare ulteriormente nello specifico (rimandando alla bibliografia più oltre citata per un eventuale approfondimento) evidenziamo soltanto come la definizione di questo indice (che è funzione del grado di fratturazione, laminazione ed alterazione e, quindi, anche della natura mineralogica e geostrutturale dell'ammasso messa in relazione al grado di disturbo meccanico esecutivo) permetta allora di derivare la determinazione della resistenza al taglio, in funzione delle specifiche condizioni tensionali al contorno, oltre che della rigidità/deformabilità dell'ammasso roccioso. Tecnicamente la definizione di GSI avviene utilizzando l'abaco riportato nella pagina seguente ; le caratteristiche strutturali dell'ammasso in termini di grado di fratturazione e disturbo sono intercorrelate con le caratteristiche delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento.

Secondo Hoek (1997), inoltre :

GSI + 5 = RMR (per GSI > 18)

Nel nostro caso avremo, per un intervallo di GSI tra 20 e 25, un valore di RMR compreso tra 25 e 30.

Con Sen e Sadagah (2003) abbiamo, invece che :

$c = 3.625\ RMR$ (kPa)

$\phi = 25\ [1+0.01RMR]$ (°)

(per RMR>20)

e, quindi , avremo ancora :

90.62 kPa < c < 108.75 kPa

31.2° < ϕ < 32.5°

A titolo indicativo applichiamo anche il criterio classificativo denominato Slope Rock Mass Rating (SRMR) (Robertson 1988) utile alla definizione del grado di stabilità dei versanti in roccia.

Il valore di SRMR è definito :

$$SRMR = A1 + A2 + A3 + A4$$

A1 = valore numerico dalla resistenza della roccia intatta
A2 = valore numerico derivato dall'indice RQD
A3 = valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
A4 = valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

Il valore A1 può andare da un minimo di 0 sino ad un massimo di 30 . Per l'intervallo di resistenza alla compressione monoassiale compreso (come nel nostro caso) tra 5 e 25 MPa il valore di A1 può essere indicato in 17.
Il valore di A2 è funzione dell'indice RQD e varia da un minimo di 3 (per valori < 25%) ad un massimo di 20 per RQD > 90 %. Nel nostro caso è applicabile un valore 3. A3 è funzione della spaziatura delle discontinuità con un valore variabile tra 5 e 20 ; essendo 5 il valore per spaziatura media < 6.0 cm applichiamo questo valore. A4 è, infine, funzione delle condizioni delle discontinuità e varia tra 0 e 30 ove 0 coincide a

condizioni di apertura > 5 mm con riempimento. Possiamo cautelativamente porre un valore 10

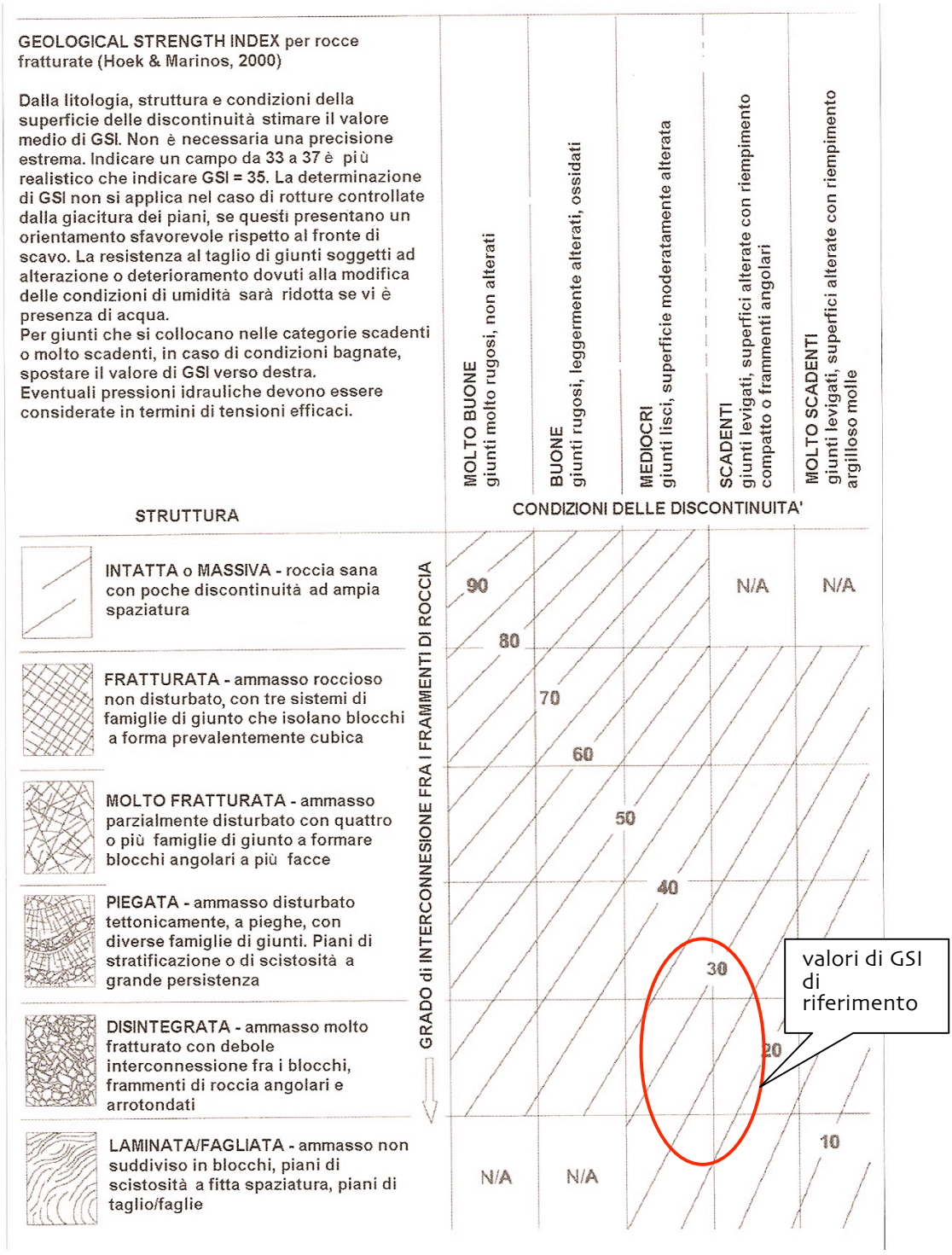
Avremo allora che :

$$SRMR = 17 + 3 + 5 + 10 = 35$$

Secondo Robertson per valori > 40 la stabilità del versante in roccia è governata dall'orientamento e dalla resistenza al taglio delle discontinuità, mentre, per valori inferiori (ovvero nel nostro caso) la rottura avviene indipendentemente dalla giacitura per rototraslazione lungo superfici circolari o mistilinee (sostanzialmente come nei terreni sciolti). Robertson propone anche la seguente tabella correttiva del classico Rock Mass Rating (RMR) secondo Bieniawski (1989 e succ.) :

SRMR	CLASSE	COESIONE (kPa)	ANGOLO DI ATTRITO (°)
40 - 35	IVa	138	40
35-30	IVa	86	36
25 – 30	IVb	50 - 72	30 - 34
20 - 25	IVb	50 - 70	26 - 30
20 - 15	Va	50 - 60	24 – 27.5
15 - 5	Va	14 - 50	21 - 24

Con un valore pari a 35 il nostro versante si inserisce nella classe IVa con una coesione ragionevolmente ipotizzabile pari a 138 kPa ed un angolo di attrito pari a 40°. In tal senso le valorizzazioni ottenute con Sen & Sadagah (2003) sarebbero conservative confrontate con i risultati ottenuti mediante SRMR.



Per quanto attiene, invece, all' AE04 segnaliamo che la caratterizzazione geomeccanica della roccia conglomeratica è di difficoltosa generalizzazione proprio in ragione del non uniforme comportamento in funzione della variabilità della percentuale reciproca (in termini composizionali) tra clasti e matrice-cemento, delle dimensioni e natura petrografica dei clasti medesimi e della variabilità determinata dalla presenza di interstrati arenacei o arenaceo-marnosi più o meno potenti.

Si consideri, ad esempio, un intervallo di riferimento (molto ampio) per la resistenza a compressione monoassiale tra i 2.00 – 4.00 MPa e i 30.00 – 40.00 MPa per i livelli maggiormente arenaceo-marnosi o meno cementati, e valori di oltre 60 – 70 MPa per i livelli molto cementati con grandi clasti di rocce dure e resistenti (es. quarziti o rocce ultrabasiche non alterate).

Volendo inserire i locali termini della Formazione di Molare in un ambito classificativo secondo Bieniawski (1989) si può ragionevolmente affidare l'ammasso roccioso conglomeratico locale (con velocità delle onde P dell'ordine di 3.0 o più km/s) alle classi III° o II° (media o buona) mentre i livelli decisamente di peggiore qualità (velocità dell'ordine di 2.0 km/s) potranno essere sporadicamente riferibili anche alla classe IV° (scadente).

Per quanto concerne le coltri di copertura eluvio-colluviali (che, ribadiamo, ovunque non oltrepassano spessori dell'ordine dei 2.0 m) possiamo ipotizzare valori del peso di volume naturale dell'ordine di 19 kN/mc e resistenza al taglio drenata governata da valori di angolo di attrito efficace dell'ordine di 34° - 36° con valori bassi - molto bassi di coesione drenata C' (< 20 kPa).

5) Azione sismica in situ

Il presente paragrafo viene presentato per ottemperare a quanto recentemente introdotto dalle NTC 2008 in tema di verifica dell'azione sismica. Il quadro sismotettonico locale ai sensi del D.G.R. 1308 del 24.10.2008: "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria" che accoglie le direttive della O.P.C.M. 3519/2006 individuano per i territori comunali interessati dalla progettazione un medio-basso grado di rischio sismico (Classe 3 per Quiliano e classe 4 per Altare ai sensi della recente DGR 1362/2010 della R.L).

Nella determinazione delle spettro di risposta elastico l'Eurocodice 8 e la recente normativa nazionale prevedono la valutazione dell'effetto di sito, attraverso l'adozione di un coefficiente S, detto stratigrafia del suolo di fondazione, attraverso il quale stimare gli effetti di amplificazione del sisma.

Nel caso specifico il sottosuolo assunto (in termini cautelativi) è di tipo "A" Tale assunzione è stata confermata per la progettazione geotecnica esecutiva sulla base di un test in situ specifico tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves per la determinazione corretta del parametro Vs30) presso AE01

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Quest'ultima viene definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero;
- ordinate dello spettro di risposta;

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri sismici:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_r periodo di ritorno del sisma;
- T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Utilizzando il programma GEOSTRU PS (www.geostru.com), utilizzabile gratuitamente, vengono inseriti i seguenti dati:

- coordinate geografiche del sito in esame;
- classe d'uso dell'opera in progetto;
- categoria di sottosuolo;
- categoria topografica.

Si ottengono quindi i coefficienti sismici relativi alle opere in progetto per i diversi stati limite (SLO (operatività); SLD (danno); SLV (vita); SLC (collasso)):
Ss (amplificazione stratigrafica); St (amplificazione stratigrafica); Cc (categoria di sottosuolo); Kh e Kv (orizzontali e verticali).
A seguire vengono forniti i parametri ed i coefficienti sismici propri dell'area di intervento (definibili per interventi di classe 3) ex NTC 2008 :
In fase di progettazione geotecnica fondazionale esecutiva e a seguito di ulteriori indagini tipo MASW o Down Hole si dovranno riverificare le amplificazioni sismiche puntuali.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,2944118435694

longitudine: 8,40381874169092

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17354 Lat: 44,2752Lon: 8,3921 Distanza: 2330,351

Sito 2 ID: 17355 Lat: 44,2782Lon: 8,4618 Distanza: 4952,304

Sito 3 ID: 17133 Lat: 44,3281Lon: 8,4577 Distanza: 5690,122

Sito 4 ID: 17132 Lat: 44,3251Lon: 8,3880 Distanza: 3639,572

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,019	g
Fo:	2,578	
Tc*:	0,158	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,025	g
Fo:	2,542	
Tc*:	0,187	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%

Tr: 475 [anni]

ag: 0,057 g

Fo: 2,611

Tc*: 0,306 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,073 g

Fo: 2,651

Tc*: 0,325 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,000

Cc: 1,000

St: 1,200

Kh: 0,004

Kv: 0,002

Amax: 0,219

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,000

Cc: 1,000

St: 1,200

Kh: 0,006

Kv: 0,003

Amax: 0,289

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,000

Cc: 1,000

St: 1,200

Kh: 0,014

Kv: 0,007

Amax: 0,674

Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,000

Cc: 1,000

St: 1,200

Kh: 0,018

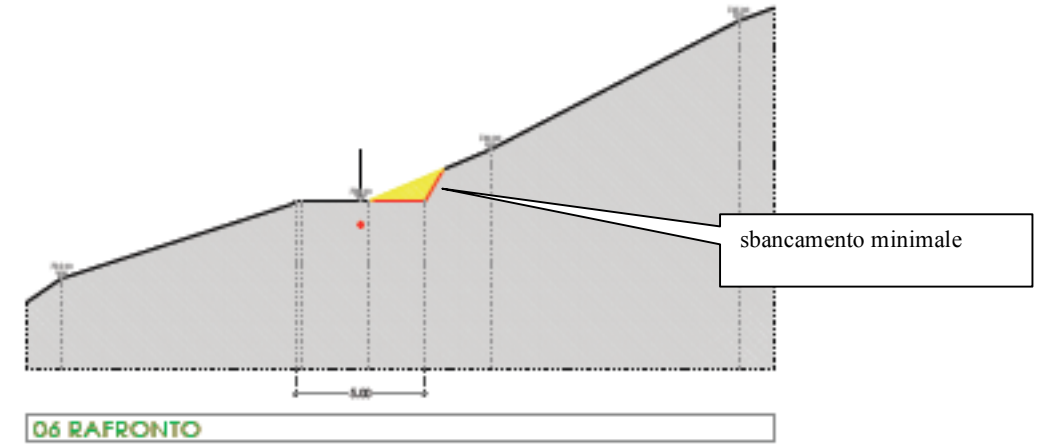
Kv: 0,009

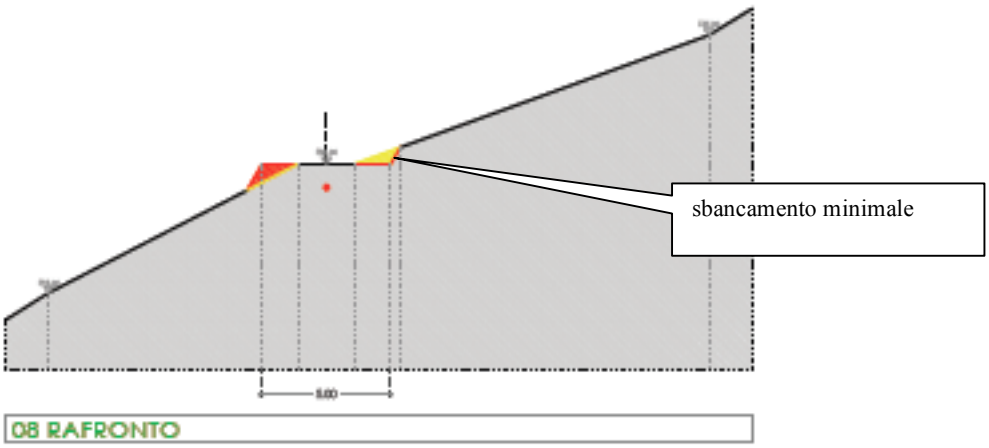
Amax: 0,863

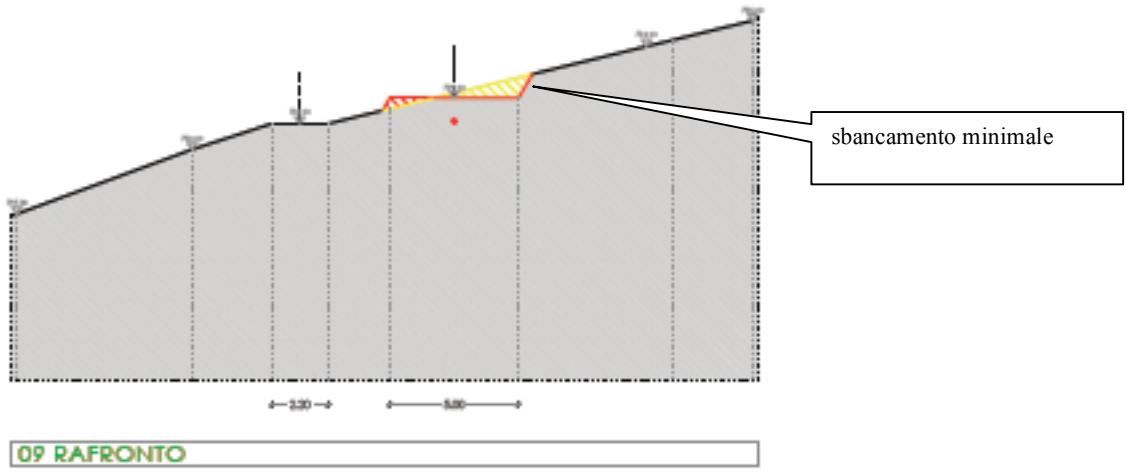
Beta: 0,200

6) Considerazioni geologiche a carattere esecutivo

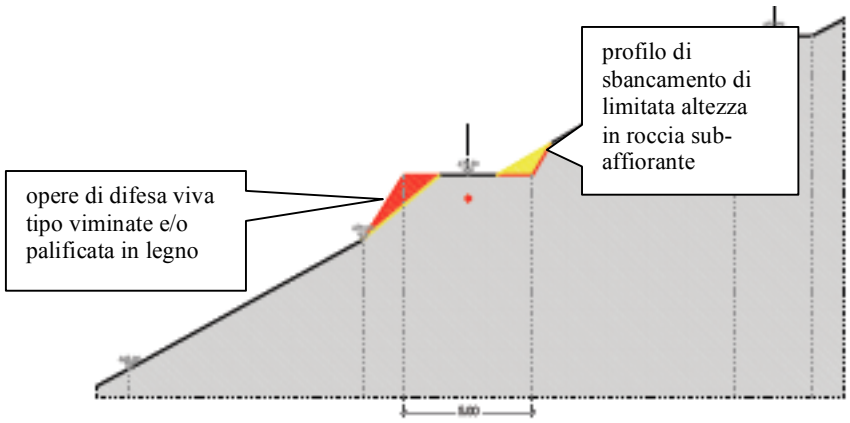
Sono di seguito evidenziate le poche sezioni di progetto afferenti alla viabilità che richiedano movimenti terra, peraltro costantemente poco significativi e le sezioni "fondazionali" degli aerogeneratori con alcuni commenti successivi. Sono unicamente quindi segnalate le sezioni che ad avviso dello scrivente siano parse connotate da aspetti geologici e geotecnici di, se pur minimo, interesse.



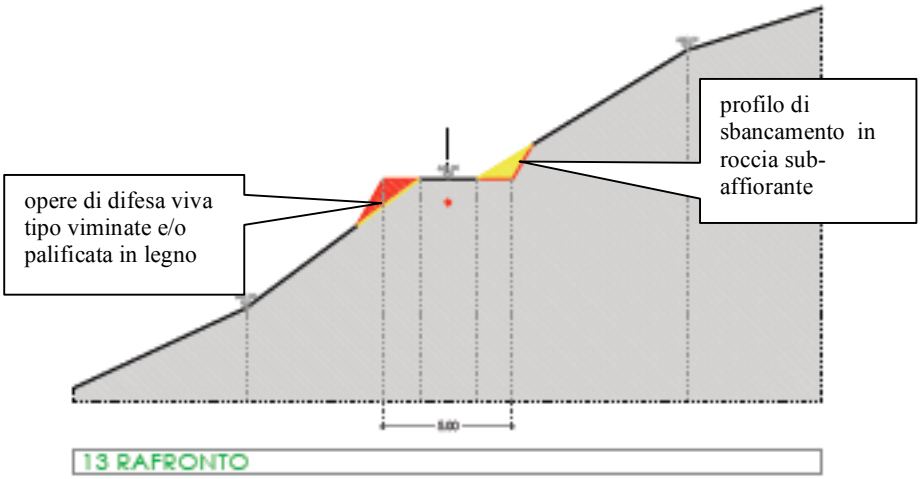




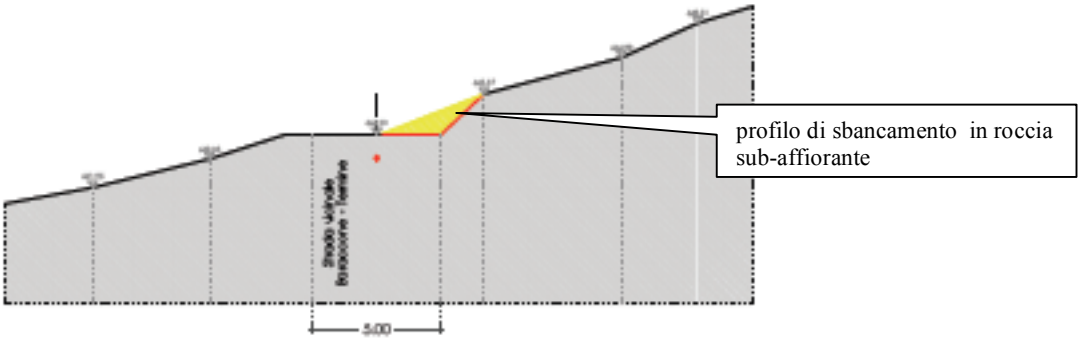
09 RAFRONTO



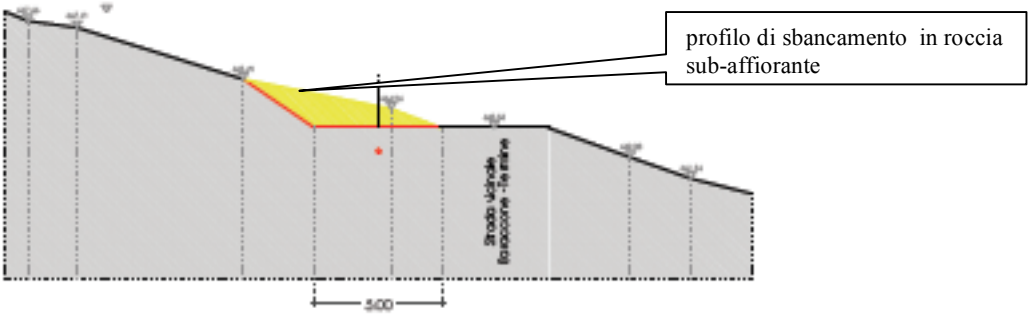
12 RAFRONTO



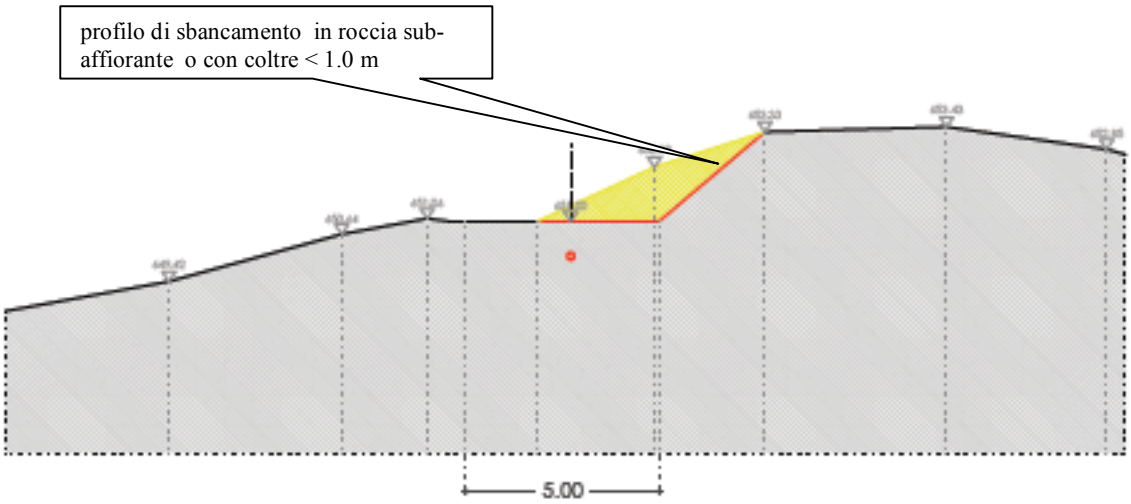
13 RAFFRONTO



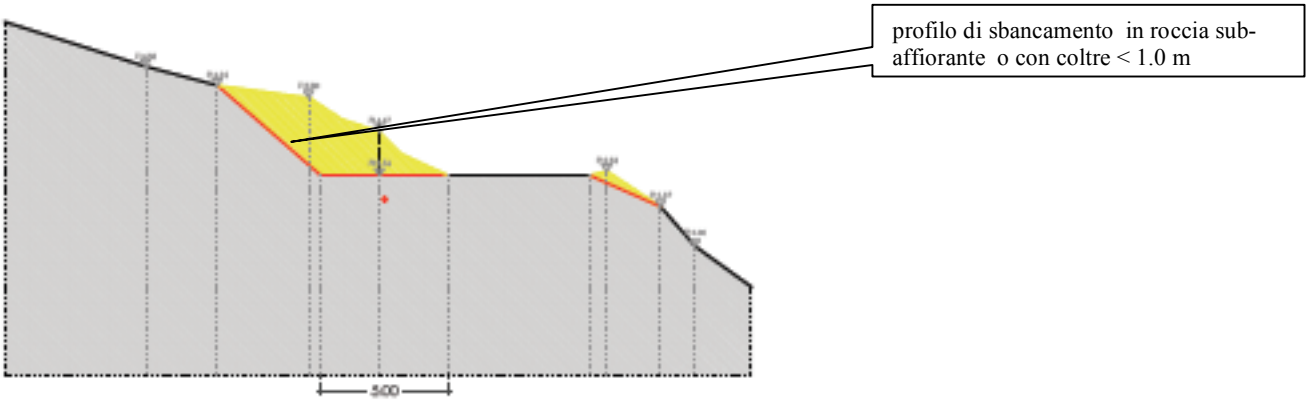
03 RAFFRONTO



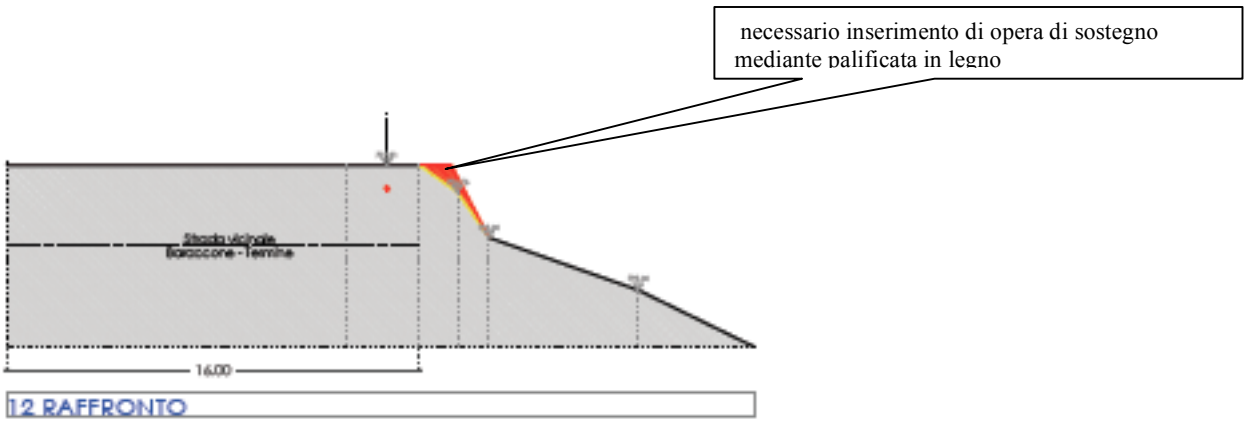
04 RAFFRONTO



08 RAFFRONTO



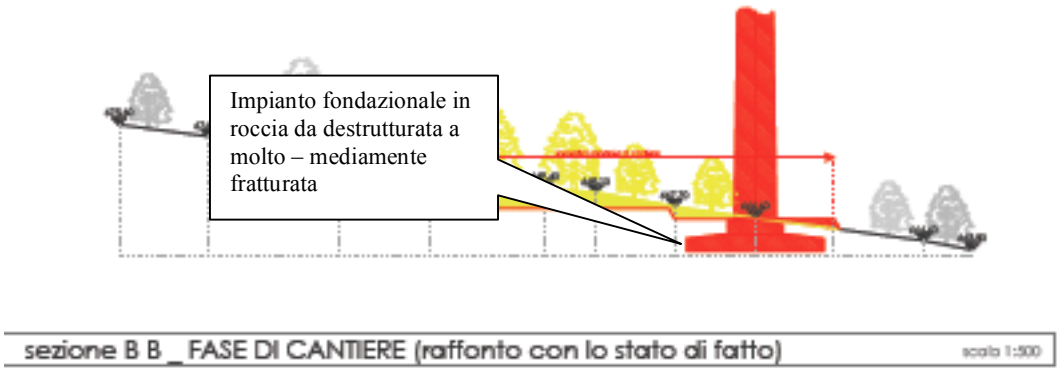
10 RAFFRONTO



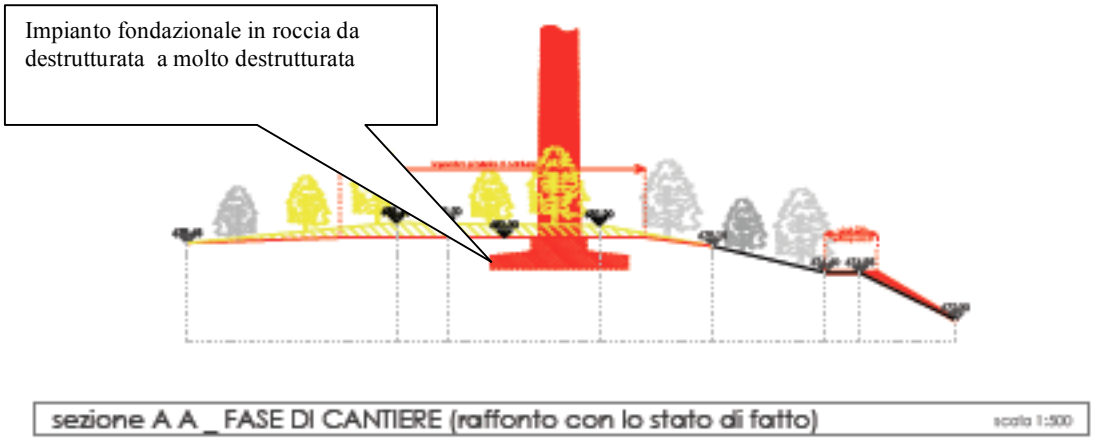
dalla analisi visiva delle sopra evidenziate sezioni di raffronto (riferibili come da sopra riportato estratto planimetrico) (cfr. elaborati progettuali) trattasi di interventi di basso o medio-basso impatto geotecnico : là dove sono stati indicati profili definiti come "minimali" va da sé la sostanziale ininfluenza geotecnica sia in relazione alla dimensione dei fronti di scavo sia in relazione alla puntuale natura del terreno (prevalenza di roccia subaffiorante).

La stabilità dei fronti, di dimensioni solo lievemente maggiori evidenziati, ad esempio nelle sezioni (viola) 8 e (blu) 12 è comunque garantita dalle locali condizioni di subaffioramento roccioso e dalle condizioni di conservazione degli ammassi rocciosi.

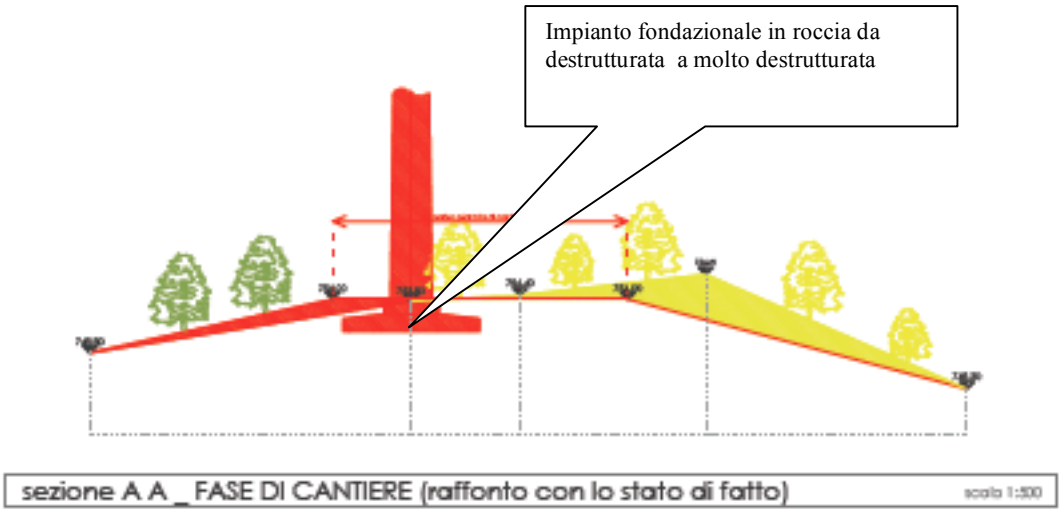
I limitati riporti "verso valle" prevedono, ai fini della stabilità, il necessario inserimento di opere di difesa viva (palificate in legno o viminate).



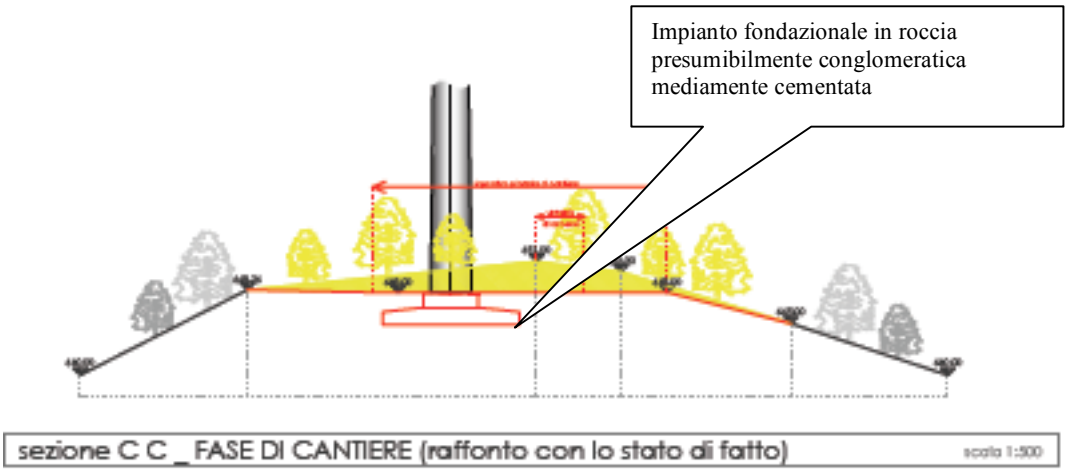
AE01


Impianto fondazionale in roccia da destrutturata a molto destrutturata
sezione A A _ FASE DI CANTIERE (raffonto con lo stato di fatto)
scala 1:500

AE02


Impianto fondazionale in roccia da destrutturata a molto destrutturata
sezione A A _ FASE DI CANTIERE (raffonto con lo stato di fatto)
scala 1:500

AE03


Impianto fondazionale in roccia presumibilmente conglomeratica mediamente cementata
sezione C C _ FASE DI CANTIERE (raffonto con lo stato di fatto)
scala 1:500

Nelle immagini sopra riportate sono evidenziati i piani di fondazione delle singole installazioni ; come risulta evidente dalle annotazioni aggiunte i livelli/orizzonti alle quote indicate sono da considerarsi caratterizzati da forte destrutturazione e bassa qualità geomeccanica.

Un caso presumibilmente differente, ribadiamo, è rappresentato dall' AE04 in quanto inserito in un contesto litostratigrafico differente.

In tale prospettiva l'Ingegnere progettista delle fondazioni (alla luce degli accertamenti successivamente descritti) dovrà considerare il ricorso ad apparati fondazionali profondi (micropali).

Alla luce di quanto appena indicato risulta evidente la necessità di ribadire come in fase di progettazione esecutiva (ai fini dell perfezionamenteo della Relazione Gotecnica ex D.M. 14.01.08) debbano essere quindi eseguiti i necessari approfondimenti geognostici (1 sondaggio a carotaggio continuo sino a 20 m da p.c per ognuno degli aerogeneratori con la esecuzione di ulteriori test tipo MASW in superficie ovvero Down – Hole in foro) .

In avanzamento potranno essere eseguite prove di caratterizzazione geotecnica in foro rappresentate da prove pressiometriche tipo Menard particolarmente utili in *weak rocks* quali quelle di interesse progettuale.

Nelle coltri s.s. potranno essere eseguite, ove possibile, anche prove tipo SPT (Standard Penetration Test).

Per quanto concerne le verifiche geotecniche di progetto esse saranno contenute nella Relazione Geotecnica ex D.M. 14.01.08.

7) Conclusioni

Ad esaurimento dell'incarico ricevuto lo scrivente professionista è in grado di formulare le seguenti conclusioni :

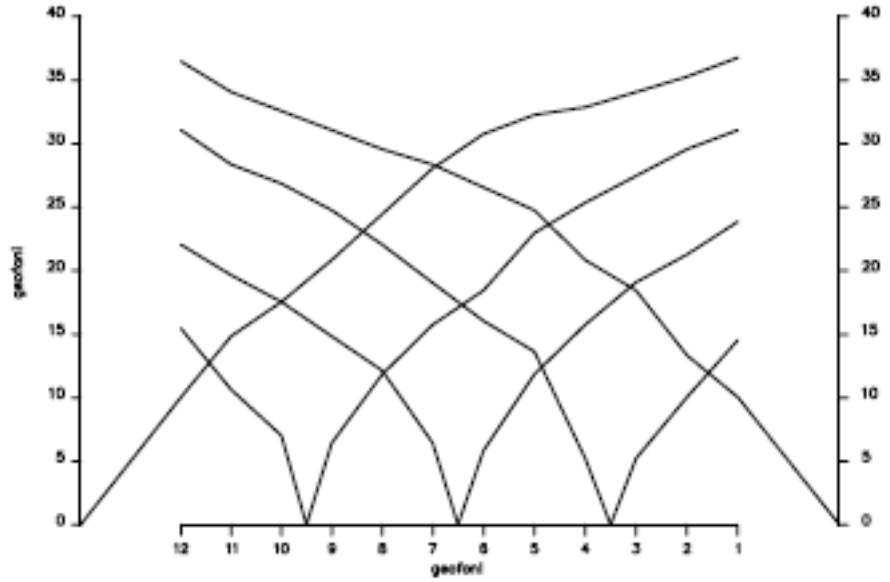
- Il progetto del Parco Eolico "Monte Baraccone" è inserito in un contesto geologicamente,strutturalmente e tettonicamente complesso con la contigua associazione dei terreni sedimentari del BTP che si appoggiano (come risultato di una antica trasgressione marina) su orizzonti metamorfici estremamente disarticolati e tettonizzati principalmente del tegumento permocarbonifero

- Le indagini eseguite a carattere preliminare e di tipo geofisico (prospezioni sismiche a rifrazione e n. 1 MASW) hanno permesso di caratterizzare litostratigraficamente le ubicazioni delle singole installazioni
- Il rilevamento geologico e geomorfologico unitamente all'analisi della cartografia disponibile e di quella contenuta nel Piano di Bacino Stralcio del Torrente Quiliano hanno permesso di individuare le argomentazioni geologico – geotecniche di progetto anche a riguardo dell'impatto territoriale della infrastruttura viaria di servizio.
- Il progetto ha subito variazioni significative in termini di contenuti geotecnici e geologici riducendo il relativo impatto nella presente versione aggiornata 2012
- Gli interventi appaiono, nel loro complesso, attuabili e compatibili con lo strumento del Piano di Bacino del torrente Quiliano e con le previsioni del PAI.
- Altresì si ritiene operabile la rimozione del vincolo idrogeologico localmente presente
- Da segnalare come i quantitativi di "terre e rocce da scavo" determinati dai computi di progetto sia a riguardo dell'adeguamento viario che della puntuale sistemazione delle singole installazioni renda necessaria una gestione delle medesime secondo le previsioni normative vigenti .

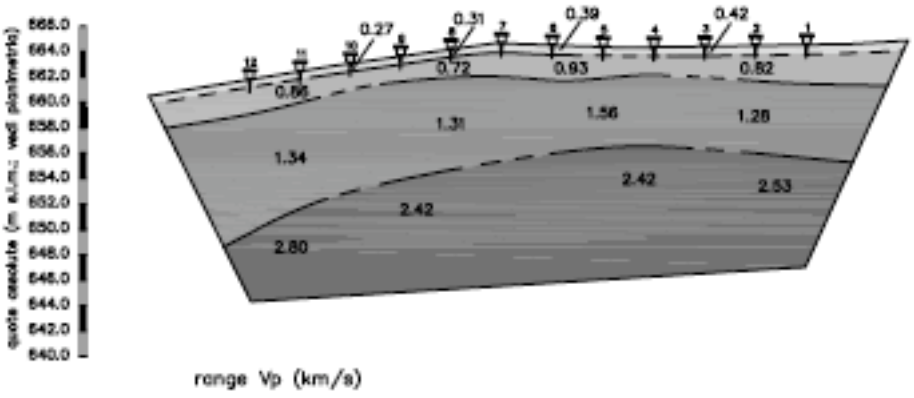
Dicembre 2012

Diego Minuto – Geologo

STENDIMENTO SISMICO "AE1": DROMOCRONE, SCALA 1:500

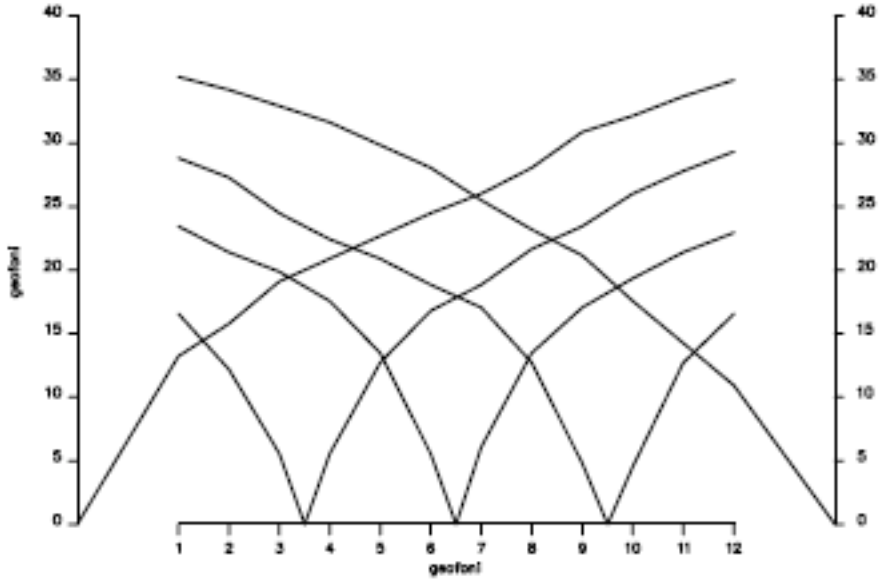


SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA "AE1", SCALA 1:500

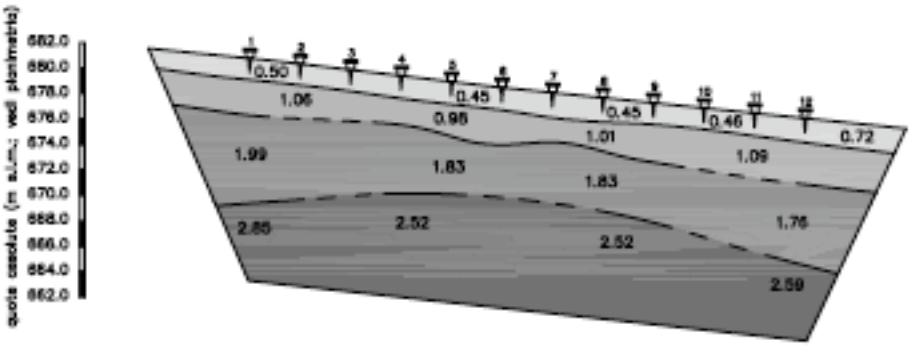


	0.27–0.42:	coperture eluviali.
	0.72–0.93:	orizzonte maggiormente alterato–destrutturato del substrato roccioso (materiale detritico parzialmente cementato).
	1.28–1.56:	substrato roccioso in condizioni geomeccaniche medie verosimilmente scadenti–discrete.
	2.42–2.80:	substrato roccioso in condizioni geomeccaniche medie verosimilmente buone–ottime.

STENDIMENTO SISMICO "AE2": DROMOCRONE, SCALA 1:500



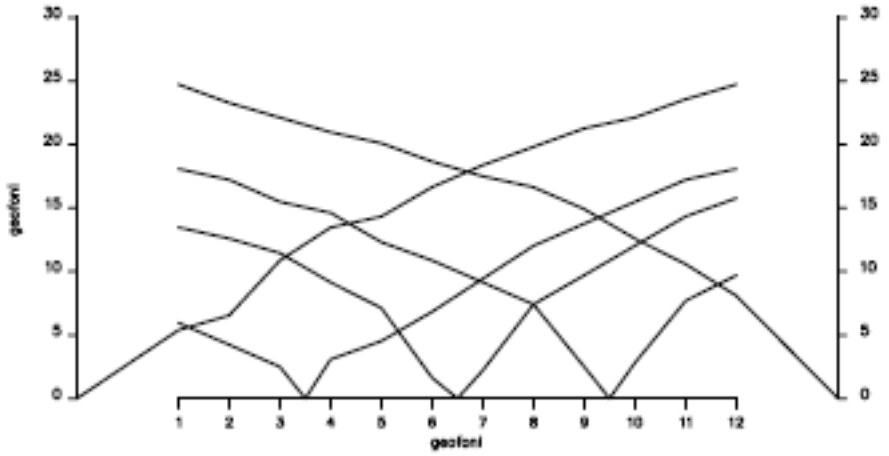
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA "AE2", SCALA 1:500



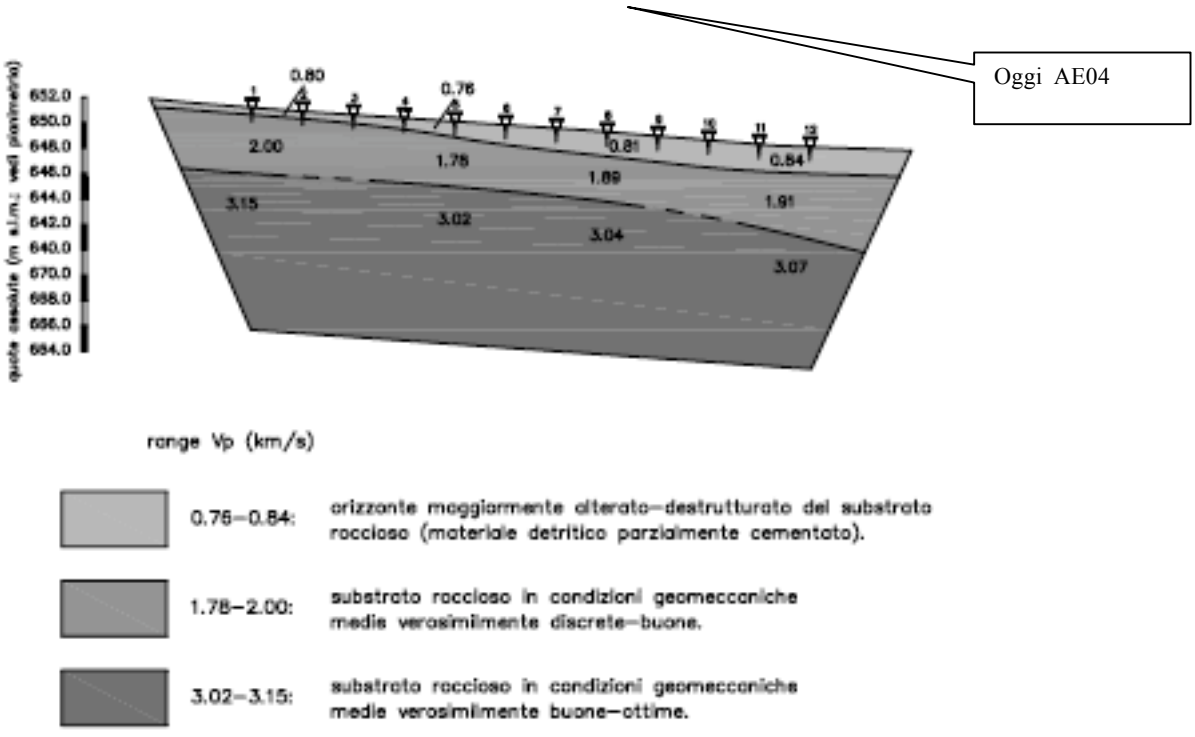
range Vp (km/s)

	0.45–0.72:	coperture eluviali prevalentemente detritiche.
	0.98–1.09:	orizzonte maggiormente alterato–destrutturato del substrato roccioso (materiale detritico parzialmente cementato).
	1.76–1.99:	substrato roccioso in condizioni geomeccaniche medie verosimilmente discrete–buone.
	2.52–2.85:	substrato roccioso in condizioni geomeccaniche medie verosimilmente buone–ottime.

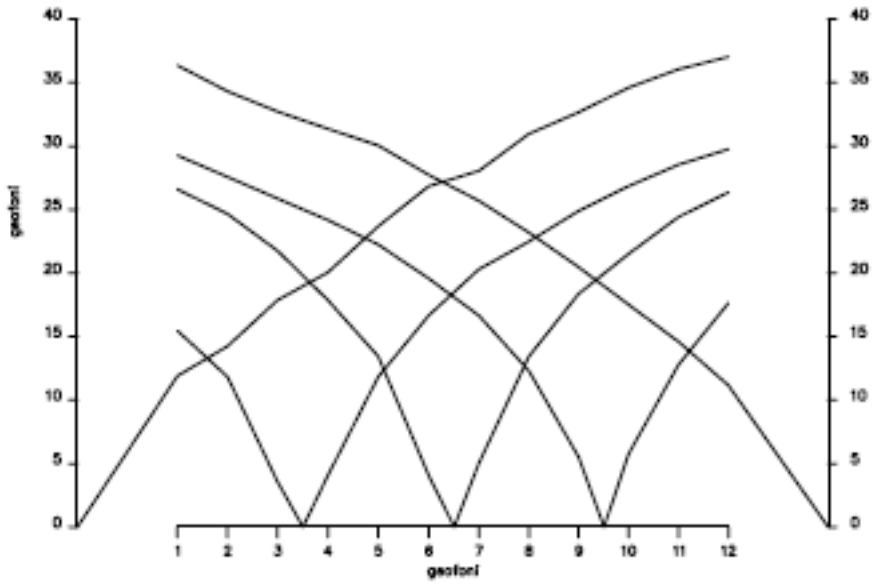
STENDIMENTO SISMICO "AE200kw": DROMOCRONE, SCALA 1:500



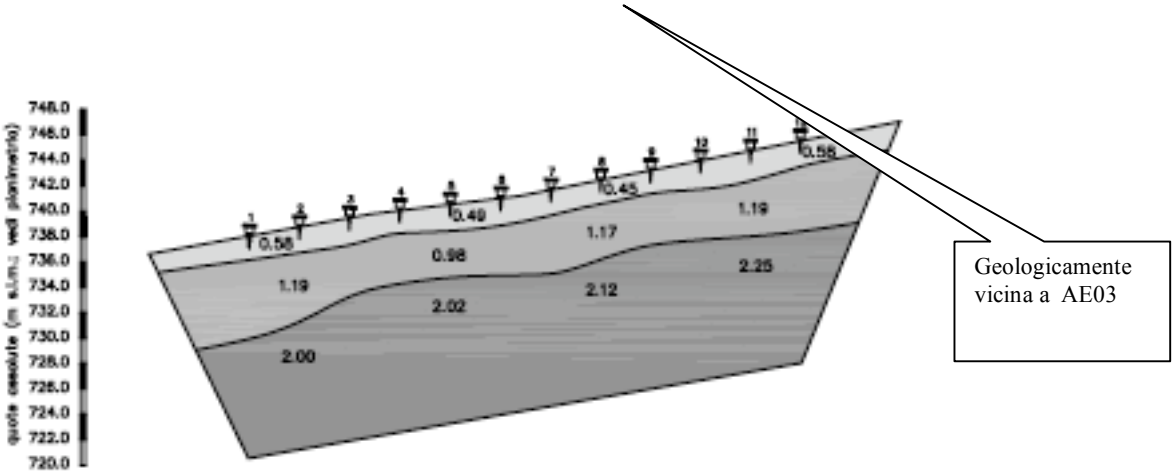
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA "AE200kw", SCALA 1:500



STENDIMENTO SISMICO "AE4": DROMOCRONE, SCALA 1:500



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA "AE4", SCALA 1:500



range Vp (km/s)

	0.45–0.58:	coperture eluviali prevalentemente detritiche.
	0.98–1.19:	orizzonte maggiormente alterato–destrutturato del substrato roccioso (materiale detritico parzialmente cementato).
	2.00–2.25:	substrato roccioso in condizioni geomeccaniche medie verosimilmente discrete–buone.

COMUNE DI QUILIANO (SV)

Committente: AEVENTO s.r.l. Savona

Prospezione sismica MASW presso futura sede di installazione di aerogeneratore "AE_01", Monte Baraccone



RELAZIONE DI COMMENTO ALL'INDAGINE

Geologo dott. Giorgio Lombardi
Indagini geofisiche - Consulenze geologiche
Via Mongrifone 4/3B – 17100 SAVONA
tel: 338 5086317 e-mail: giorgiolombardi@ymail.com
partita IVA: 01584990095

INDICE

1. PREMESSA.....3

2. CENNI TEORICI SULLE INDAGINI SISMICHE CON METODOLOGIA MASW 3

2.1. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 5
2.2. CLASSIFICAZIONE SISMICA – RISULTATI DELL'INDAGINE MASW 7

1. PREMESSA

Lo scrivente ha eseguito una prospezione sismica con metodologia MASW, come richiesto dalla Committenza, finalizzata ad individuare un profilo di velocità di riferimento delle onde di taglio secondo i dettami del D.M.14.01.08 e giungere quindi a definire la "classe di sottosuolo" in termini di suscettività sismica presso la futura sede di installazione dell'aerogeneratore "AE_01" nel contesto del parco eolico del Monte Baraccone.
La tecnica utilizzata e le risultanze ottenute saranno brevemente descritte nel seguito.

2. CENNI TEORICI SULLE INDAGINI SISMICHE CON METODOLOGIA MASW

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e che a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase (VR). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali è differente. In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associati proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.
Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione. Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.
La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni: essa, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidezza del mezzo, e posto di riuscire a misurarla sperimentalmente può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un processo di inversione avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidezza del mezzo (terreni).
La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.
La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo MASW è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e

che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.
Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura A.1 e A2, può essere suddiviso in tre fasi:

1) Acquisizione attiva (Figura A.1);
2) Processing (Figura A.2);
3) Inversione (Figura A.3).

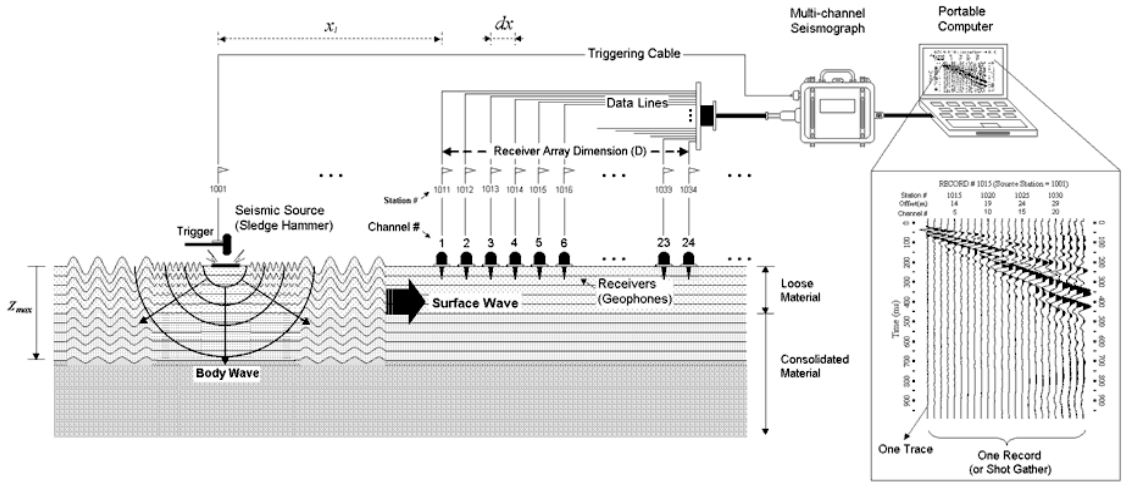


Figura A.1- Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis ® versione 2.0, Kansas University USA).
Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh VR, determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:
$VR(f) = 2\pi f/k$

Riportando le coppie di valori (VR,f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura A.2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo (visco)-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura A.3).

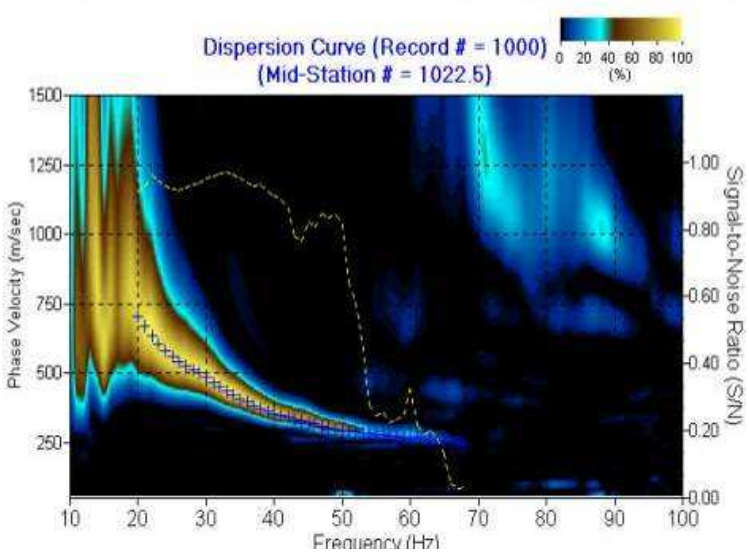


Figura A.2 Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

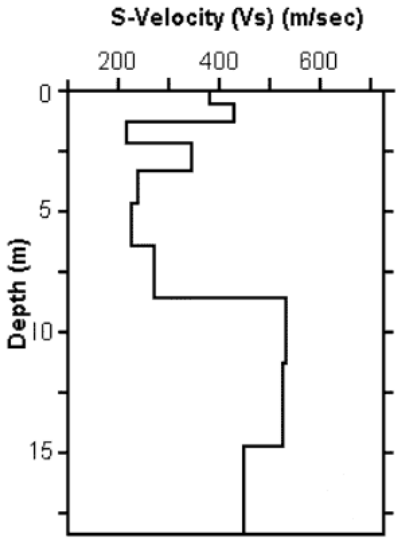


Figura A.3 Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs

2.1. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici da superficie con tecnica MASW è avvenuta in data 12.12.12 ed è stata realizzata con sismografo Daq LinkII a 24 bit di ultima generazione prodotto da Seismic Source ltd., associato a geofoni Sunful a bassa frequenza (4.5 Hz). L'adozione di sensori a bassa frequenza congiuntamente ad un acquisitore ad elevata dinamica consente una fedele ricostruzione del segnale ed un dettagliato campionamento dell'impulso sismico.



Sistema Seismic Source Daq Link III 24 bit

L’energizzazione è stata ottenuta con mazza battente con testa da 8 kg e piastra di contrasto con sistema di *trigger* a cortocircuito.

Le basi di energizzazione sono state disposte all'estremità iniziale dello stendimento a distanza di 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 m dal primo geofono. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati cinque impulsi sismici. Il geophone spacing utilizzato è di 2.0 m.

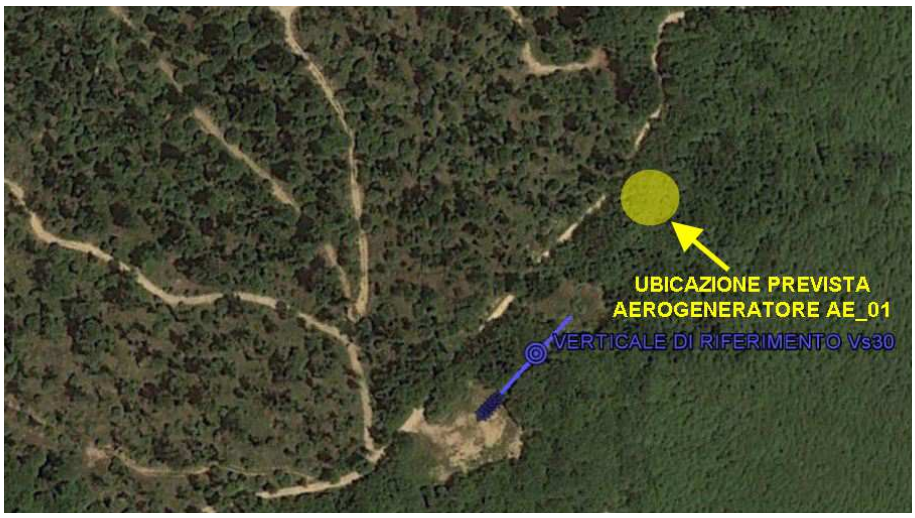


Stendimento MASW: prima stazione di energizzazione

2.2. CLASSIFICAZIONE SISMICA – RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

Lo stendimento MASW è stato realizzato nel tratto indicato nella seguente immagine satellitare. Le "stelle" rappresentano i punti di energizzazione in offset. Si indica inoltre il punto indicativo di emersione della "verticale di rigidità dei terreni" di riferimento.

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta alcune decine di metri a SW del punto di installazione previsto per l'aerogeneratore, ovvero in corrispondenza della piazzola in cui fu installato l'anemometro e della pista di accesso alla stessa. La ragione è strettamente connessa con le criticità operative della tecnica di prospezione MASW: è assolutamente necessario scegliere ubicazioni nelle quali non siano presenti brusche variazioni di assetto planoaltimetrico lungo l'array geofonico al fine di ottenere una buona curva di dispersione. Il sottobosco presso il punto preciso di installazione non presenta simili caratteristiche e quindi il dato acquisito in tale sito sarebbe stato quasi certamente inficiato da errore.



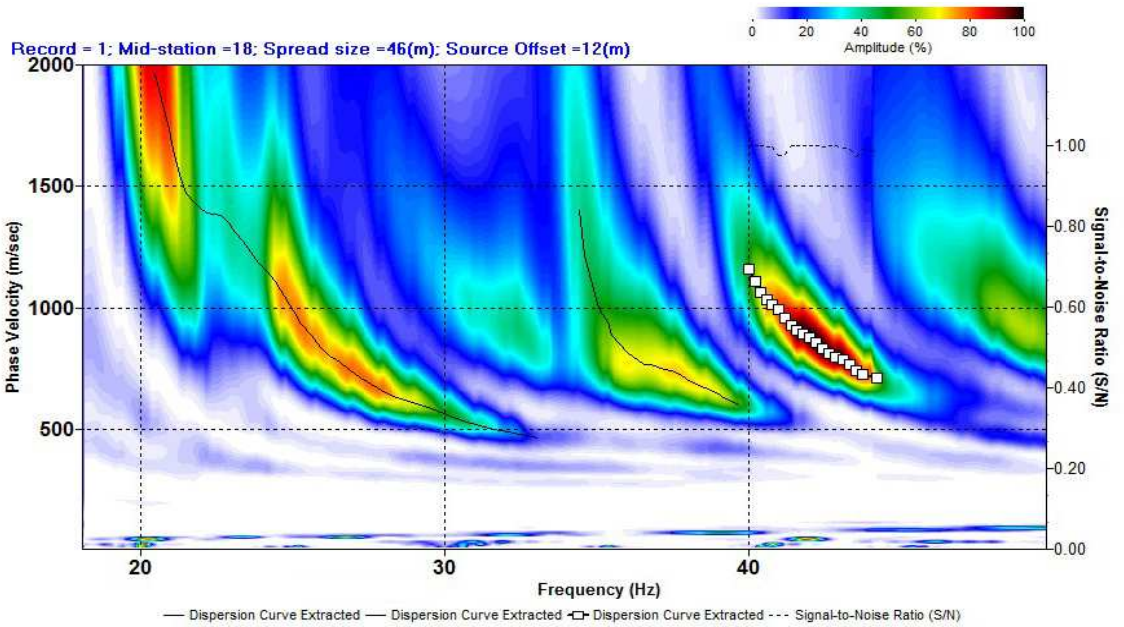
La normativa sismica vigente (D.M. 14/01/08) individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano di fondazione (**Vs_{30}**) e viene calcolato con la seguente formula:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

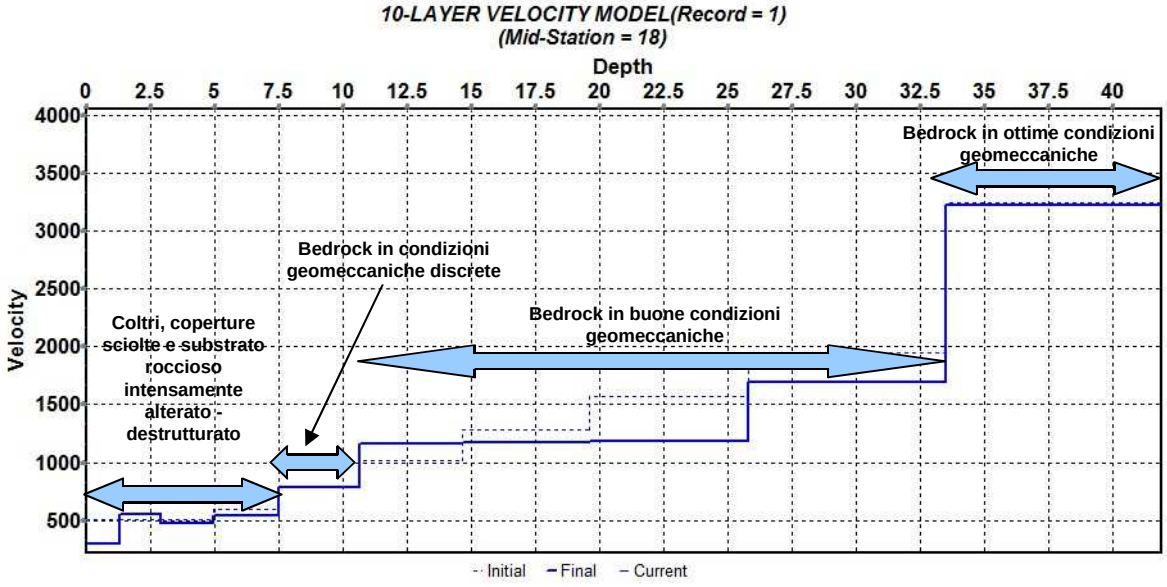
nella quale h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato *i*-esimo, per un totale di *N* strati presenti nei 30 m superiori. In tabella seguente si riporta la suddivisione in tipologie di suolo relative ai valori di Vs_{30}.

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

La curva di dispersione è risultata sufficientemente definita. Il *picking* lungo i punti di massima ampiezza della curva di dispersione è risultato sufficientemente agevole . Il picking è stato eseguito per il modo fondamentale ed il primo ed il secondo modo superiore.



Il *picking* eseguito ha consentito di definire, a seguito delle inversioni, un profilo verticale delle onde di taglio illustrato e commentato con una possibile interpretazione stratigrafica nel seguente grafico. I risultati ottenuti ben si accordano a quelli delle indagini geognostiche eseguite in precedenza: oltre le coperture eluviali, potenti circa 1.5 m, si individuano valori di velocità delle onde di taglio (Vs intorno a 500 m/s) associabili ad un substrato roccioso intensamente alterato e disarticolato ed assimilabile ad un orizzonte detritico parzialmente cementato. Il substrato roccioso in condizioni francamente litoidi, quindi con caratteristiche geomeccaniche discrete (Vs = 781 m/s, prossimo al "valore soglia" Vs = 800 m/s), inizia ad essere presente alla profondità di 7.5 m dal piano campagna ed assume caratteristiche geomeccaniche decisamente buone (Vs > 1000 m/s) a partire dalla profondità dal piano campagna di 10.5 m circa.

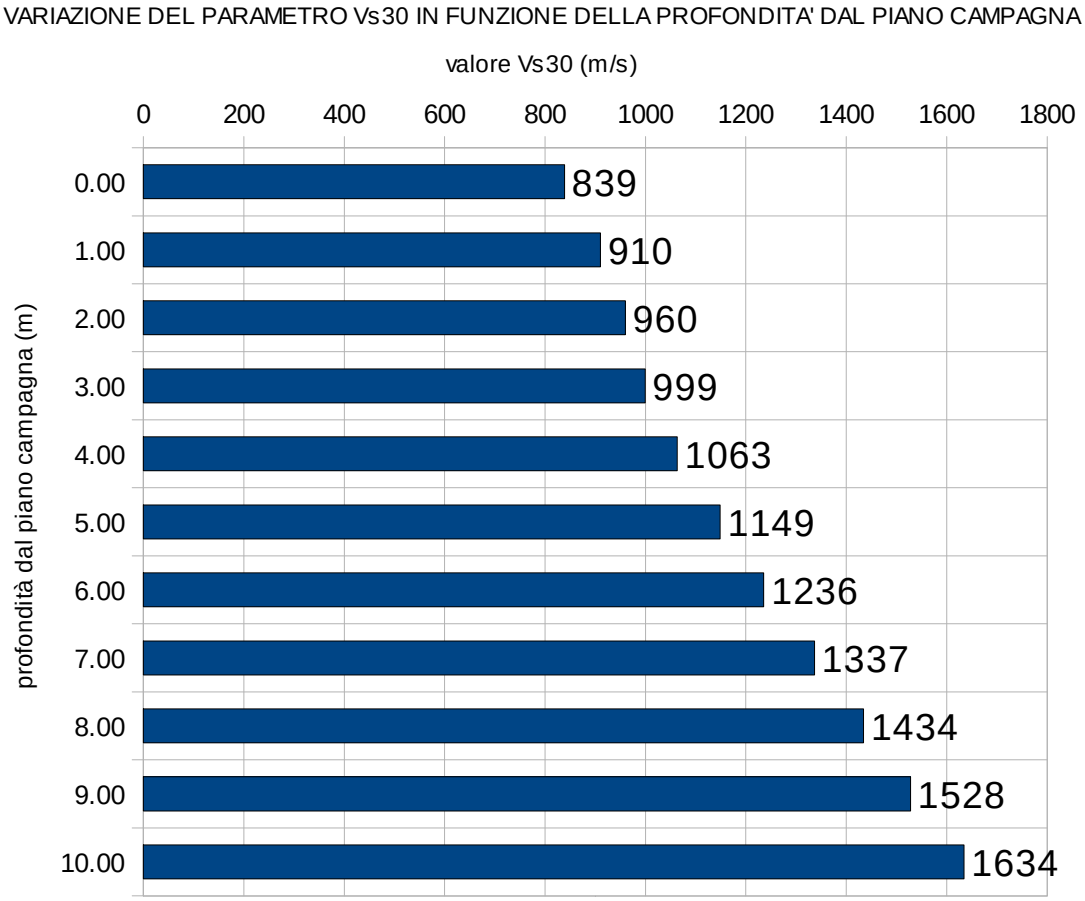


Avendo a disposizione un profilo di rigidità dei terreni esteso fino alla profondità di oltre 40 m è stato possibile fornire il parametro Vs_{30} partendo dal piano campagna e riferendosi a profondità via via crescenti con step metrico fino alla profondità di 10 m dal piano campagna stesso.

La Normativa impone di riferire il parametro Vs_{30} alla quota di fondazione delle opere strutturali: avendo a disposizione i diversi valori del parametro Vs_{30} riferiti alle varie profondità dal piano campagna, lo Strutturista potrà riferirsi a quello più adeguato in funzione delle scelte progettuali.

Si nota come i valori del parametro Vs_{30} facciano ricadere il sottosuolo nella classe "**A**" (Vs > 800 m/s) a prescindere dalla profondità di riferimento.

Nel grafico seguente si riassumono i risultati ottenuti per il parametro Vs_{30} alle varie profondità di riferimento.



Savona, 16.12.12

Geologo dott. Giorgio Lombardi