

**PROGETTO:** NURRI IR" INTEGRALE RICOSTRUZIONE DEL PARCO EOLICO DI NURRI (SU)  
INTERVENTO DI REPOWERING CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORI  
ESISTENTI E RELATIVA RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE

Elaborato:

Relazione Geotecnica

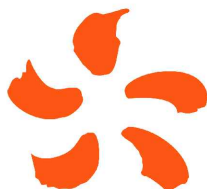
Codice Elaborato

NIR.REL12

Scala

Formato elaborato

PROPONENTE



**EDISON**  
EDF GROUP

EDISON RINNOVABILI Spa  
Foro Buonaparte, 31  
20121 Milano MI

Timbro e firma

Timbro e firma

REDATTORE



**Dott. Geol. Cosima Atzori**

Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente  
Loc. Scala Sa Perda sn, 09028 SESTU (CA)  
info@giaiconsulting.eu

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato
02					
01					
00	08/2023	Emissione per validazione	Cosima Atzori		

## INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>3</b>
<b>1 PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>5</b>
<b>3 STUDI E INDAGINI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE</b>	<b>7</b>
<b>5 CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA</b>	<b>11</b>
<b>6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>13</b>
6.1 DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO	13
<b>7 ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>15</b>
7.1 CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	16
7.2 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	21
7.3 CARATTERISTICHE E DINAMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE	23
7.4 ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI	24
<b>8 INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>25</b>
8.1 GENERALITÀ SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE	25
8.1.1 Caratteristiche delle stese sismiche	26
8.1.2 Caratteristiche della Strumentazione impiegata	26
8.1.3 Elaborazione dei dati	27
8.2 INDAGINI SISMICHE: MASW	27
8.3 SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE	28
8.4 CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	28
8.5 INTERPRETAZIONE DEI SEGNALI ACQUISITI	28
8.6 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	29
8.7 UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE	30
8.8 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M1-R1	31
8.8.1 Masw M1	31
8.8.2 Sismica a rifrazione R1	32
8.9 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M2-R2	34
8.9.1 Masw M2	34
8.9.2 Sismica a rifrazione R2	35
8.10 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M3-R3	37
8.10.1 Masw M3	37
8.10.2 Sismica a rifrazione R3	38
8.11 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M4-R4	40
8.11.1 Masw M4	40
8.11.2 Sismica a rifrazione R4	41
<b>9 MODELLO GEOLOGICO DI SITO</b>	<b>43</b>
9.1 MODELLO GEOLOGICO 01	44
<b>10 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE DEGLI AEROGENERATORI</b>	<b>45</b>
<b>11 AZIONI E RESISTENZE NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE</b>	<b>47</b>
<b>12 VERIFICHE DI SICUREZZA (§C6.4.2)</b>	<b>48</b>
12.1 VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) (§C6.4.2.1)	48

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

---

12.2	VERIFICHE DI ESERCIZIO (SLE) (§C6.4.2.2)	48
13	CONDIZIONI DI CARICO DELLE FONDAZIONI DEGLI AEROGENERATORI	50
14	MODELLI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE	51
15	FRONTI DI SCAVO (§C6.8.6)	54

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti	25
Tabella 2 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	32
Tabella 3 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	35
Tabella 4 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	38
Tabella 5 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	41

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 1 Localizzazione del progetto	7
Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, quadro d'unione	8
Figura 3 Inquadramento topografico su I.G.M. scala 1:25000	9
Figura 4 Paesaggio caratteristico dell'area di studio	10
Figura 5 Schema tettonico-strutturale della Sardegna	13
Figura 6 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione	15
Figura 7 Tipologia di frana: 1. Crollo; 2. Ribaltamento; 3. Scivolamento	15
Figura 8 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	17
Figura 9 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso	17
Figura 10 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia	18
Figura 11 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.	19
Figura 12 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione dei Basalti delle Giare	20
Figura 13 Reticolo Idrografico	22
Figura 14 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo	24
Figura 15 Geometria di acquisizione - sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0	26
Figura 16 Geometria di acquisizione - MASW con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0	28
Figura 17 Caratteristiche geometriche della fondazione	46

## **1 PREMESSA**

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "**GUZZINI**" dislocato nel territorio comunale di **Nurri** Provincia del Sud Sardegna (SU), al fine di avere un quadro maggiormente dettagliato del contesto geologico, geomorfologico e idrogeologico in relazione alle opere e alla loro potenziale interazione con le matrici suolo, sottosuolo e acque è stata redatta la presente **Relazione Geotecnica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto attraverso:

1. La caratterizzazione geotecnica preliminare del modello geologico di sito;
2. L'analisi dell'interazione opera-terreno nel volume significativo in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta, in relazione alla generica tipologia di fondazioni previste e le potenziali interazioni con le dinamiche di circolazione sotterranea eventualmente esistenti.
3. La valutazione preliminare della portanza dei terreni e l'indicazione delle indagini da realizzarsi in fase esecutiva necessarie alla determinazione dei parametri geotecnici specifici per ogni sito.

## **2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente è redatta in osservanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

1. D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
2. Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
3. Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
4. D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
5. Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.
6. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale"

### **3 STUDI E INDAGINI DI RIFERIMENTO**

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

1. Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
2. Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
3. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
4. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG).
5. Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
6. RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
7. I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
8. RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
9. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
10. RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
11. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
12. Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguite rispettivamente in data 05-06/07/2023 nella zona di interesse.

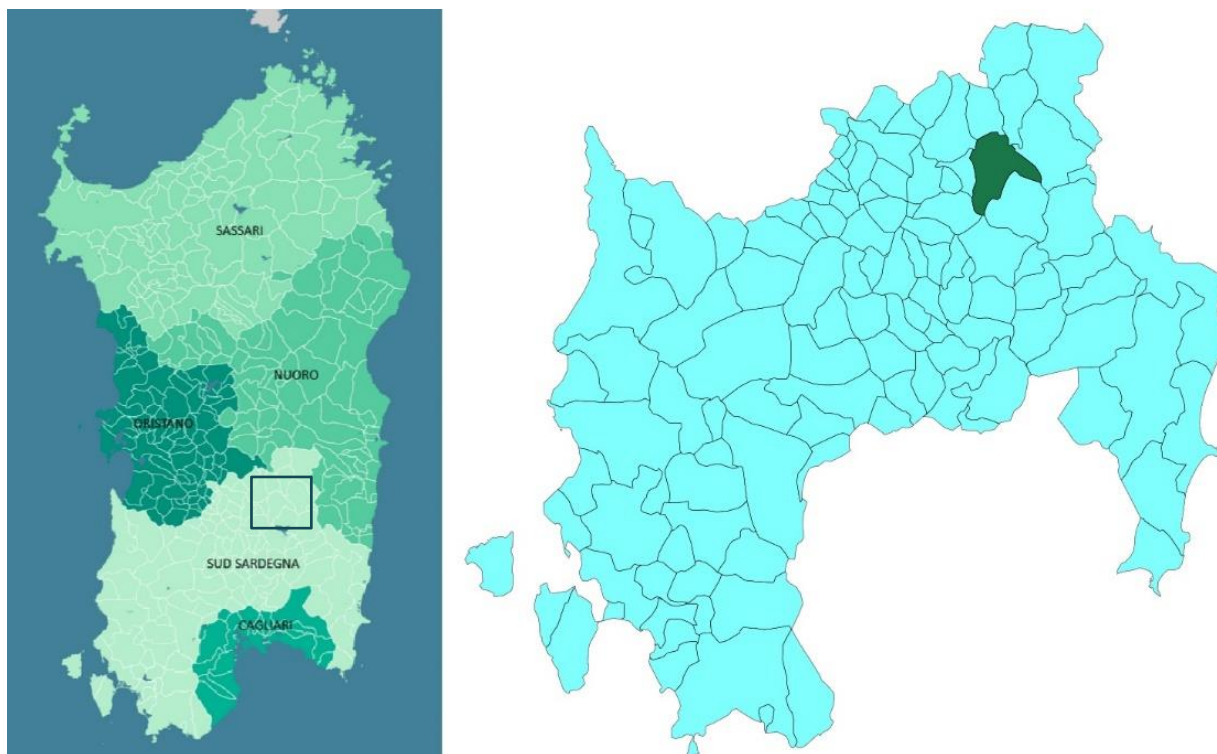
## **4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE**

Nurri è un comune della provincia del Sud Sardegna situato nella Sardegna centro-meridionale, e confina con il comune di Esterzili, Isili, Mandas, Orroli, Sadali, Serri, Siurgus Donigala e Villanova Tulo. L'area che interessa le opere in progetto è situata nel territorio a nord-ovest dell'abitato di Nurri.

Il territorio comunale di Nurri fu abitato già in epoca prenuragica, nuragica, punica e romana, per la presenza nel territorio di numerose Domus de Janas e di diversi nuraghi. Accanto al paese si trovava la città punico-romana di Biora, distrutta dai Goti, di cui rimangono alcuni resti, come alcuni ruderi, mosaici e tombe. Il paese attuale fu fondato probabilmente dai profughi di Biora intorno al 550 d.C.

Nel Medioevo il paese appartenne al Giudicato di Cagliari e fece parte della curatoria di Siurgus. Alla caduta del giudicato (1258) passò sotto il dominio pisano e dal 1324 sotto quello aragonese. Gli aragonesi nel 1604 incorporarono il paese nel ducato di Mandas, feudo dei Maza. In epoca sabauda la signoria passò ai Tellez-Giron d'Alcantara, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale.

Ai sensi della Legge Regionale n. 9 del 12 luglio 2001, che ha previsto l'istituzione delle nuove province sarde, il comune di Nurri, che era in provincia di Nuoro, avrebbe dovuto essere aggregato alla neonata provincia del Medio Campidano; con successiva Legge Regionale n. 10 del 13 ottobre 2003 si stabilì invece che passasse a quella di Cagliari, di cui fece parte fino alla successiva riforma del 2016.



**Figura 1 Localizzazione del progetto**

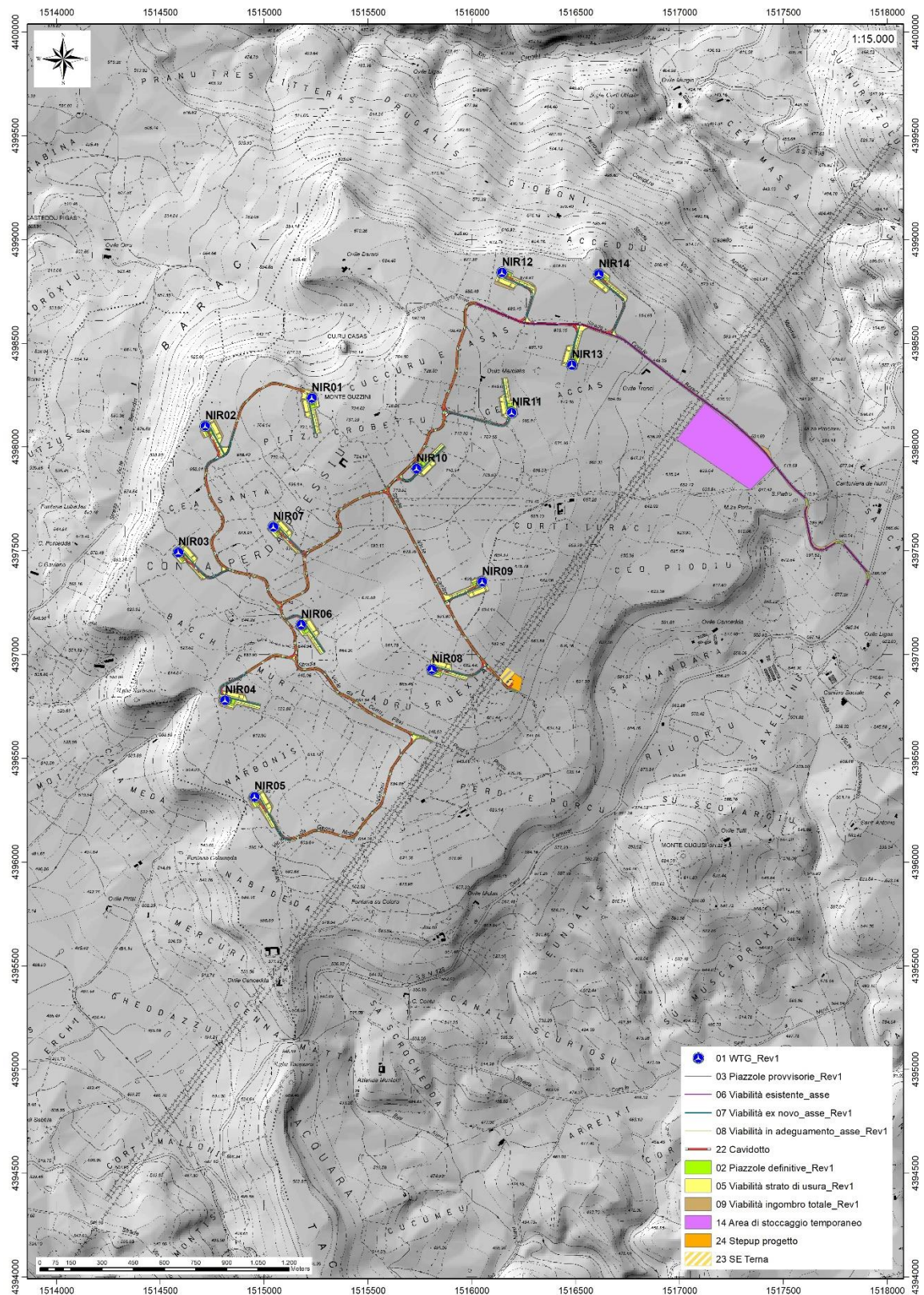
L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

1. Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **540 sez. I** "Nurri".
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **540070 "Nurri"**.



**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**



**Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, quadro d'Unione**

# "NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE

## Relazione Geotecnica

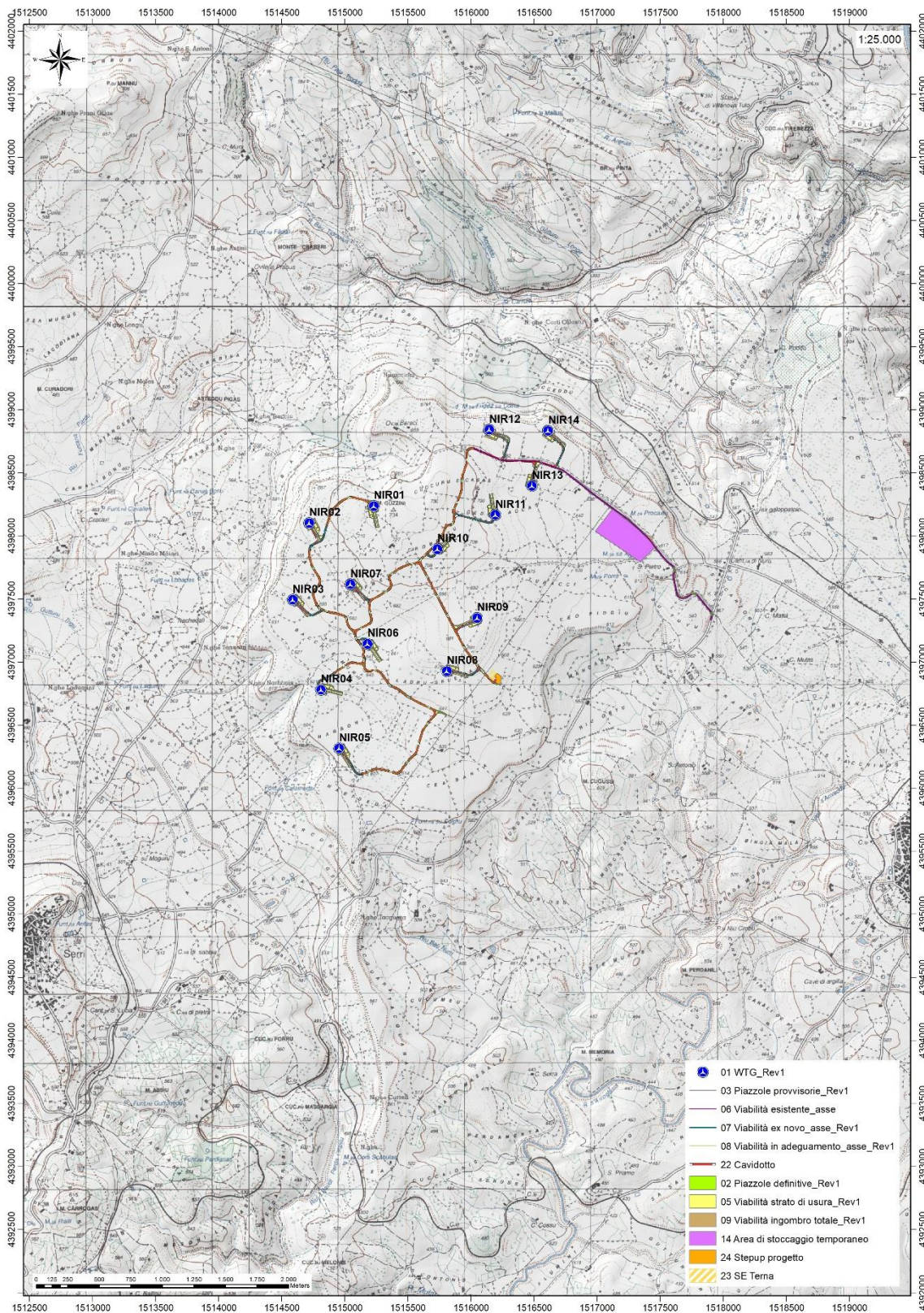


Figura 3 Inquadramento topografico su I.G.M. scala 1:25000

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORI ESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

---



**Figura 4 Paesaggio caratteristico dell'area di studio**

## **5 CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA**

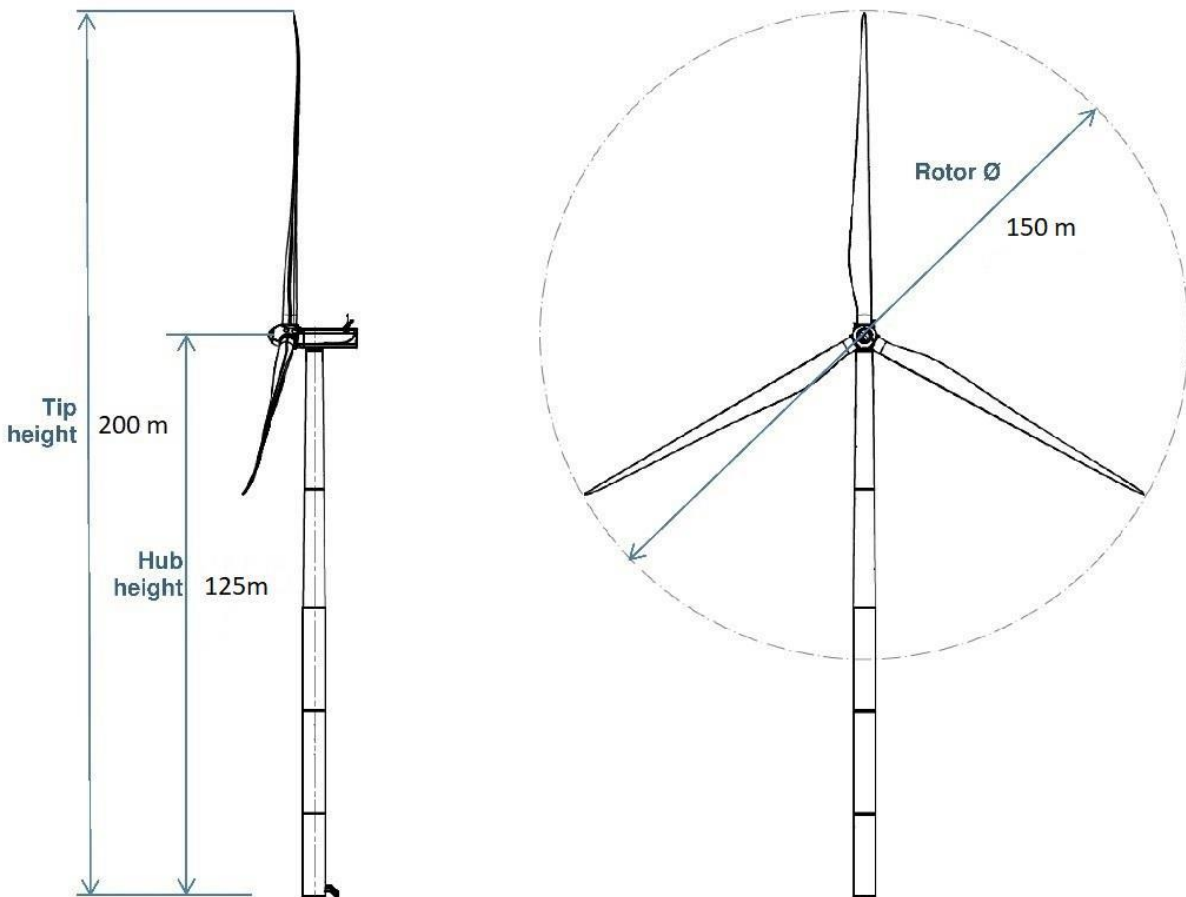
Il nuovo parco eolico, denominato "GUZZINI", sarà composto da 14 aerogeneratori di ultima generazione ad asse orizzontale di potenza pari a 6,6 MW ciascuno, per una potenza di picco di 92,4 MW ed una potenza in immissione di 90,0 MW, nel rispetto della domanda di connessione e così come riportato nella STMG n°202101471 rilasciata da TERNA in data 22.12.2022. Tale riduzione di potenza si potrà con i sistemi di controllo elettronico in dotazione agli aerogeneratori. Il nuovo parco, che si estenderà su un'area di circa 600 ha, si comporrà di quattordici aerogeneratori, denominati in ordine crescente da NIR01 a NIR14 (N.I.R. Nurri Integrale Ricostruzione), tutti ricadenti su terreni di privati.

L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, salvo gli autoconsumi di centrale.

La produzione di energia elettrica sarà garantita dai 14 aerogeneratori che saranno montati su torri tubolari di acciaio che avranno il mozzo del rotore a un'altezza da terra di 125 metri dal piano campagna, diametro delle pale di 150 metri e l'altezza massima dal suolo di ogni macchina (compresa la massima estensione da terra della terna di pale) sarà pertanto di 200 metri con un'area spazzata di 17'671 m<sup>2</sup>.

Per l'alimentazione dei servizi ausiliari (Illuminazione, Videocontrollo, Monitoraggio impianto) del parco eolico, sarà richiesta al Distributore una fornitura dedicata in bassa tensione da 50 kW.

Gli aerogeneratori previsti sono macchine con potenza nominale pari a 6,6 MW, orientati sopravento, con controllo attivo del pitch delle pale e dello yaw della navicella.



Il rotore (rotor) del generatore è composto da tre pale ognuna di lunghezza pari a 73,65 metri. Nel complesso, il gruppo rotante ha un diametro di 150 metri, e spazza un'area pari a 17'671 metri quadrati. Il mozzo del generatore sarà collocato ad un'altezza di 125 metri (hub height), mentre l'altezza massima raggiunta da ogni generatore (tip height), inclusa l'altezza massima da terra delle pale, sarà di 200 metri.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

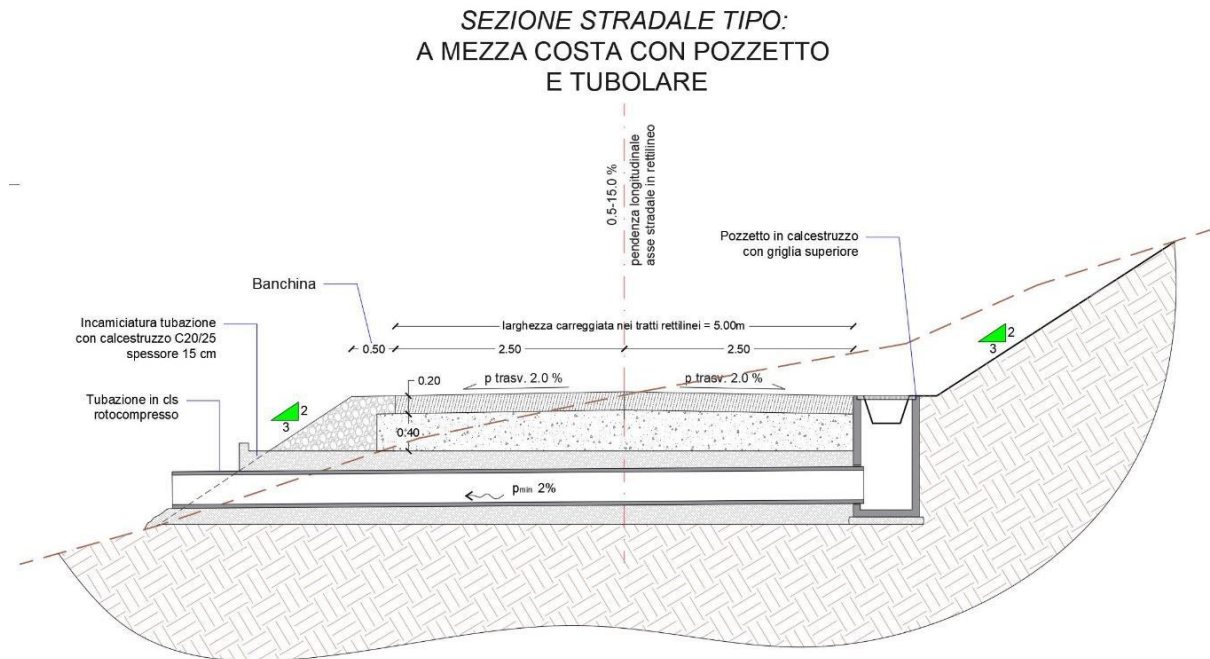
**Relazione Geotecnica**

Ognuna delle tre pale è controllata da un gruppo di motoriduttori che ne regolano il pitch generando l'effetto di portanza necessario a ottimizzare la coppia rotante generata dal flusso del vento o, in caso di fermo macchina, a garantire assieme al freno lo stazionamento del rotore per manutenzione o non disponibilità della rete.

La navicella su cui è montato il gruppo rotore comprensivo delle pale, sarà montata sulla torre con una ralla di brandeggio (yaw), anch'essa controllata da un gruppo di motoriduttori che orienteranno il generatore sopravento rispetto al vento, massimizzando la captazione del flusso d'aria da parte della superficie del rotore. Sulla navicella sarà inoltre installato un gruppo di sensori che, collegati al sistema di controllo, governerà orientamento della navicella, inclinazione delle pale, freno dell'albero motore e ogni altra attività del generatore.

La viabilità interna del parco eolico sarà caratterizzata dalla larghezza minima della carreggiata di 5,0 m oltre 0,50 m per parte di cunetta in terra e dovrà essere caratterizzata da una portanza minima di 2 kg/cm<sup>2</sup> e sopportare un carico per asse del camion pari a 12 t.

Nella figura seguente è riportata una sezione stradale tipo a mezza costa:



Si rimanda agli elaborati specialistici di progetto per ogni ulteriore dettaglio.

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

1. Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
2. Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
3. Definizione del modello geologico di sito;

### 6.1 DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea. L'isola riflette una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni. L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa. Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanzata si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è stato oggetto di intenso magmatismo. Intrusioni di differente composizione, danno luogo a un batolite granitico composito a carattere calcoalcalino, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Si tratta di plutoni messi in posto durante le fasi estensionali di collasso gravitativo della catena ercinica, e che caratterizzano l'area di studio.

L'area di studio ricade nella zona a Falde Esterne del basamento varisico sardo; principalmente è costituita dalle metamorfiti di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfiti dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa, dalle coperture sedimentarie eoceniche, **dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari.**

Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

L'impilamento tettonico delle Falde esterne, nell'area di studio, vede alla base L'Unità tettonica di Riu Gruppa, su cui sovrascorre l'Unità del Gerrei a sua volta sovrascorsa dall'Unità di Meana Sardo. Queste tre unità tettoniche sono caratterizzate da significative differenze nella

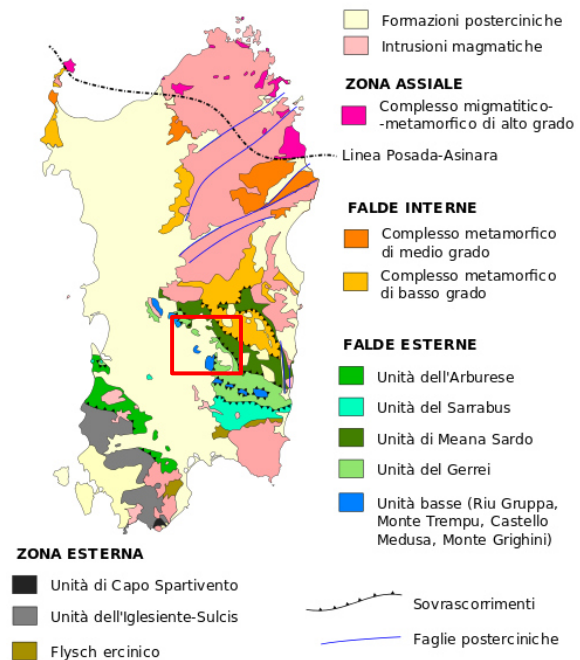


Figura 5 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORI ESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

---

successione stratigrafica, soprattutto nella successione vulcanica dell'Ordoviciano medio.

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora. Le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria in quella di Monte Lora.

Le unità tettoniche sono interessate da una serie di fasi plicative compressive, tardo compressive e distensive che generano sistemi di pieghe e una foliazione pervasiva di piano assiale. Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Grappa.

Il basamento varisco è stato interessato da più fasi di emersione a partire dal Permiano; nel Cretaceo si ha nuovamente emersione, che sembra aver interessato tutta l'isola, che ha generato una lacuna che comprende quasi tutto il Paleocene, ricoperta dai depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore e del Miocene, **dai prodotti dell'attività vulcanica Pliocenica, e dalle coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.**

## 7 ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La fratturazione e il grado di alterazione, producono sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il grado di fissilità. Pertanto è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto.

Si può definire un range di spaziatura alla mesoscala, tale da individuare una potenziale compagine di blocchi in grado di staccarsi dall'ammasso se le condizioni geostrutturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio):

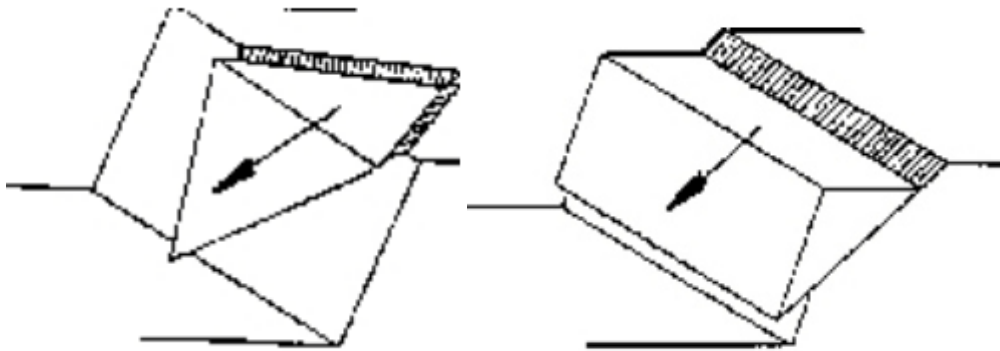


Figura 6 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

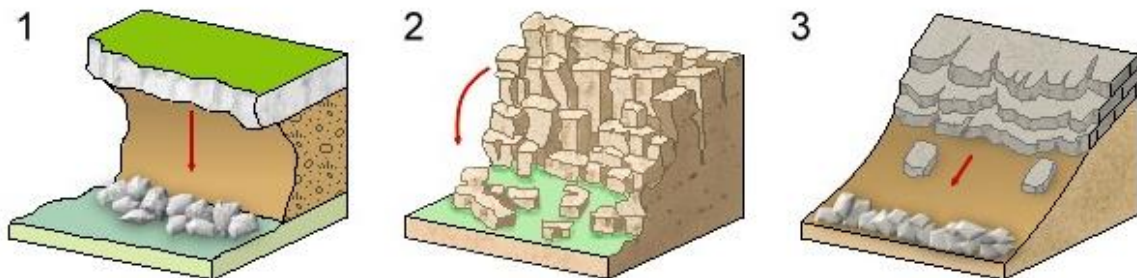


Figura 7 Tipologia di frana: 1. Crollo; 2. Ribaltamento; 3. Scivolamento

Tali dimensioni possono essere individuate tra il decimo di metro cubo a qualche metro cubo. La variabilità direzionale delle famiglie di giunti che individuano i blocchi è piuttosto marcata e diversificata in funzione, come detto della competenza degli strati soggetti agli sforzi.

Ne deriva di fatto, una difficile previsione delle potenziali propensioni a fenomeni di crollo e/o ribaltamento, ma si tratta di caratteri locali la cui eteropia laterale risulta sempre molto marcata.

In generale si può affermare che versanti come questi sono oggetto di due fenomeni di crollo distinti in relazione al dominio di famiglie di giunti.

Di fatto quindi, non potendo generalizzare alla piccola scala è sempre d'obbligo un rilievo puntuale sugli affioramenti ove possibile. Il materiale distaccato si raccoglie ai piedi del pendio, in accumuli più o meno estesi in funzione della pendenza.



## 7.1 CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione delle turbine si appoggia, è stato adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrukturali rilevati in sito in pareti esposte, laddove disponibili, dai dati derivanti dai sondaggi geognostici.

Sulla base di tale classificazione, il cui criterio di rottura è definito dalla relazione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (mb (\sigma'_3 / \sigma_{ci}) + s)^a$$

dove:

$\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

$mb$  = costante d'ammasso

$s$  ed  $a$  = costanti d'ammasso

$\sigma_{ci}$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

È stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr-Coulomb.

Tale metodologia si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

1. Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS) stimata su base empirica (Fig.60) e su valori di Point Load.
2. Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può essere definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Fig. 61) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
3. Determinazione della costante  $mi$  (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia ( $\sigma_{ci}$  e  $mi$ ) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.62, che riassume i valori della costante  $mi$  per diversi tipi di roccia.

Sulla base di queste caratteristiche si ottengono i seguenti valori di  $mb$ ,  $s$ ,  $a$  :

$$mb = mi [(GSI-100)/28]$$

$$s = e [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = 0,5 \text{ (per GSI >25)}$$

tramite i quali si stimano coesione e angolo di attrito interno secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\sigma'_1 = (2c' \cos \varphi' / 1 - \sin \varphi') + (1 + \sin \varphi' / 1 - \sin \varphi') \sigma'_3$$

I valori coesione e di angolo di attrito interno ottenuti attraverso l'applicazione di tale classificazione sono in generale rispondenti alla tipologia litologica interessata.

È utile sottolineare che esistono delle correlazioni dirette fra i valori di GSI e il valore RMR del sistema di classificazione di Bieniawski

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

CLASSE [*]	DESCRIZIONE	RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE (MPa)	INDICE DI RESISTENZA (POINT LOAD) (MPa)	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA IN SITO	ESEMPI
R6	Resistenza estremamente elevata	> 250	> 10	Un campione può essere scheggiato solamente con un martello geologico	Basalto intatto, silice, selce, diabase, gneiss granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria basalto, gabbro, gneiss, granodiorite calcare, marna riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato	Calcarea, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcarea bianca, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

[\*] In accordo a Brown E.T. Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods, pp. 171-183. Oxford, Pergamon (1981).  
 \*\*[\*\*] La prova meccanica point load su rocce con resistenza a compressione monoassiale inferiore a 25 MPa fornisce risultati poco attendibili.

**Figura 8 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia**

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA	CONDIZIONI SUPERFICIALI					INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)
	MOLTO BUONE	BUONE	DISCRETE	SCADENTE	MOLTO SCADENTE	
<p>Sulla base dell'apparenza della roccia, scegliere la categoria che si pensa sia la migliore descrizione delle condizioni "medie" dell'ammasso indisturbato presente in sito. Da notare che la superficie visibile della roccia ottenuta da una rivolta con esplosivo può dare una impressione fuorviante sulla qualità della roccia sottostante. Occorre pertanto correggere opportunamente la valutazione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso per tenere in conto il disturbo arrecato dallo scavo con esplosivo. A questo riguardo può essere utile l'esame di carotaggi ottenuti da perforazioni a carotaggio continuo con corona diamantata o l'osservazione della superficie creata da uno scavo realizzato con tecniche di abbattimento controllato. È inoltre importante ricordare che il criterio di rottura di Hoek-Brown dovrebbe essere applicato dove la dimensione del "volume unitario" di ammasso roccioso risulta piccola in confronto alle dimensioni dello scavo in considerazione.</p>	<p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p>					<p>Dalle sigle, determinate con la tabella riportata precedentemente che descrivono la struttura e le condizioni superficiali dell'ammasso roccioso, selezionare l'appropriata casella della presente tabella. Stimare il valore medio di GSI delle linee di uguale valore di GSI che attraversano la casella di riferimento. A quest'ultimo riguardo non è importante essere troppo precisi, indicare per GSI un valore compreso tra 30 e 42 è molto più realistico che indicare GSI=35.</p>
<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>

**Figura 9 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso**

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19 Grovacche (18)	Siltite 9	Argillite 4
		Non clastiche	Organogene		Calcare bianco (7) Carbone (8-21)	
	Carbonatiche		Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
	Chimiche			Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
	Scure		Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
		Norite 22				
	Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

**Figura 10 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia**

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{100 \sigma_{u(r)} \sigma_3 + 50^2 \sigma_{u(r)}}$ <p><math>\sigma_1</math> = tensione efficace principale massima  <math>\sigma_3</math> = tensione efficace principale minima  <math>\sigma_{u(r)}</math> = resistenza a compressione monoassiale  m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argillite, siltite, siltiti argillose con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenaria e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, diabasi, gabbro e norite</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolite, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite</p>
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</p> <p>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</p> <p>Indice CSIR: RMR = 100 Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</p> <p>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</p> <p>Indice CSIR: RMR = 85 Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.082	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.082
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</p> <p>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente distur- bato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</p> <p>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 44 Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pul- ta compattata.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 23 Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con mate- riale fine.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 3 Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

CSIR (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) Organizzazione Scientifica ed Industriale di Ricerca (Bieniawski 1974)  
NGI Norway Geotechnical Institute (Barton 1974)

Figura 11 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione delle principali litologie che caratterizzano le formazioni presenti.

Per il calcolo degli indici e della relativa trasformazione in parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb è stato utilizzato il software RocData vers.3.0 della Rocscience Inc.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr –Coulomb, in base alle osservazioni su campo e unitamente ai dati ottenuti dalle prospezioni geofisiche, si è ipotizzata una variazione del grado di fratturazione del substrato al variare della profondità per unità omogenee in relazione anche ai dati geofisici, che vanno dalle "terre debolmente addensate" al "substrato roccioso sano".

*Si tratta di valori stimati in base a indagini indirette e a osservazioni su campo, pertanto da confermare puntualmente in fase di progettazione esecutiva.*

**Formazione dei Basalti delle Giare**

Standard ISRM = R5 Un campione richiede molti colpi di martello geologico per essere fratturato

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo, per crollo

Ammasso roccioso= da poco a fratturato

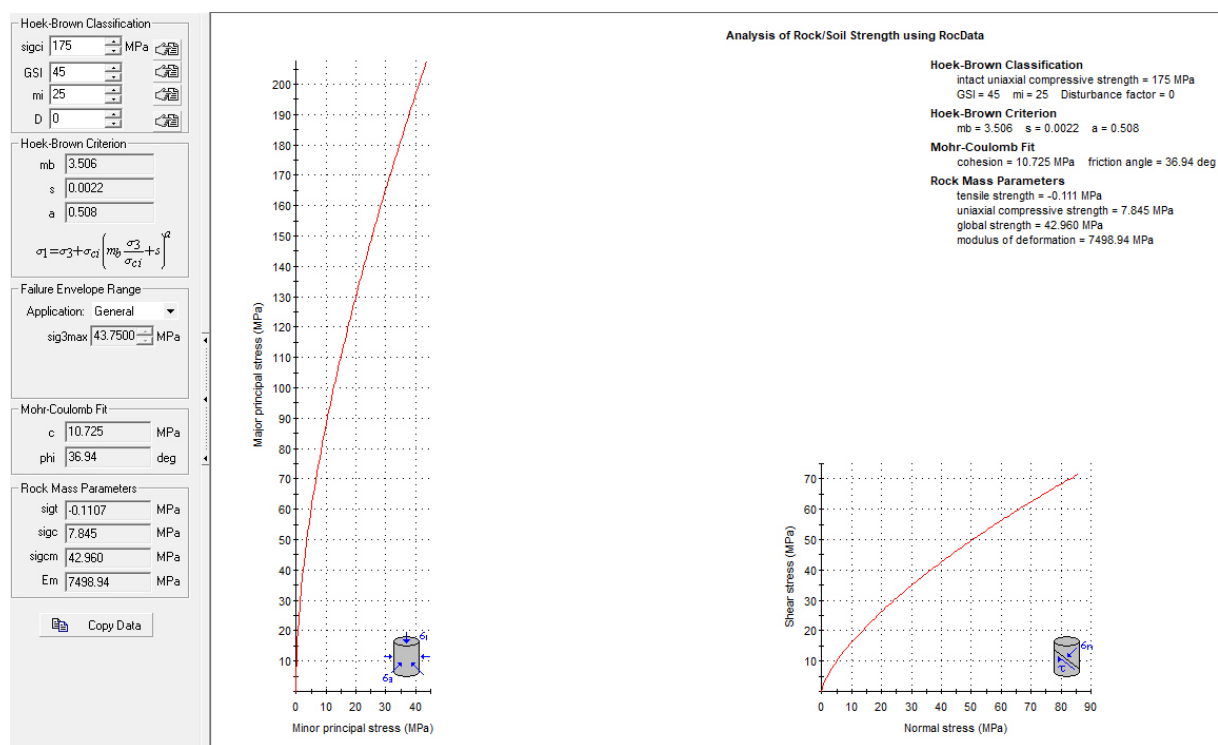
Struttura= massiva

Alterazione= da poco a debolmente alterata

Pareti – poco alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida



**Figura 12 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti per la formazione dei Basalti delle Giare**

## **7.2 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA**

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata in tutta l'area vasta che include le zone di interesse per il progetto. Sono presenti diversi corsi d'acqua lungo tutta l'area di interesse, e i relativi affluenti.

L'impianto è posizionato su di un altopiano basaltico avente superficie sub orizzontale. Sul tavolato non sono presenti linee di deflusso preferenziale in ragione della sua natura litologica e della connessa fratturazione. Il sistema idrografico che verrà descritto interessa pertanto l'area vasta.

A parte il Flumendosa, che scorre a oriente dell'area di interesse, sono presenti alcuni corsi d'acqua che costeggiano l'area di studio.

Tra questi, il Riu Carrulo che scorre con direzione E-W verso il Lago Flumendosa., che scorrono con direzione circa NW-SE, e più a sud si riversano nel Lago Mulargia.

Il Riu Mulargia scorre nella parte orientale dell'area. In esso convergono gli affluenti Riu Gravelloni, e il Riu Orracesus a sud delle medesime. Anche il Rio Arroglasia confluisce nel Riu Mulargia, e scorre nell'area compresa tra la zona di installazione delle torri e l'abitato di Nurri.

A sud si citano il Riu Bau Nurri che confluisce nel Rio Arroglasia, il Riu Paudi Perda Ollastu mentre ad ovest il Riu Funtana Pardu, il Riu Gutturu Tigu.

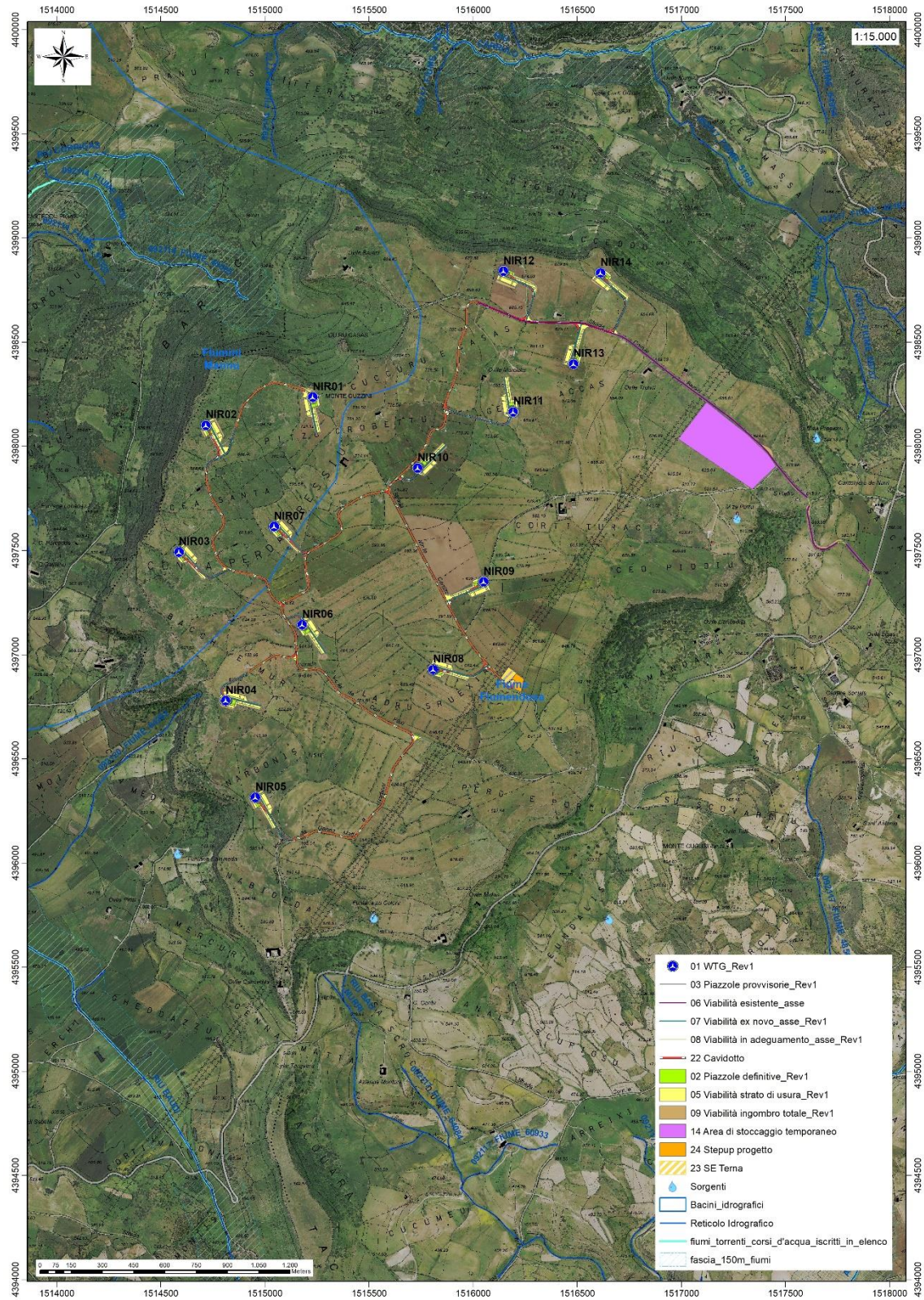
Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso, spesso orientate NW-SE come le principali faglie.

Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto modesto.

Il progetto prevede l'installazione delle torri eoliche sugli alti topografici, e i corsi d'acqua presenti scorrono allontanandosi da queste aree. Ne consegue che, le aree in studio si collocano in concomitanza con gli spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi che interessano la zona (Bacino del Flumini Mannu e Bacino del Flumendosa)

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**



**Figura 13 Reticolo Idrografico**

### **7.3 CARATTERISTICHE E DINAMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera.

Le rocce si presentano raramente compatte. La proprietà di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che le compongono, detta porosità, esprime l'attitudine che ha la roccia ad immagazzinare ed a liberare acqua sotterranea.

Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche. A causa dell'acclività dei versanti, i suoli mancano quasi del tutto su molti rilievi, questo è particolarmente evidente in corrispondenza del basamento Paleozoico. L'impermeabilità del bacino, l'acclività dei versanti con la concentrazione stagionale delle precipitazioni, possono determinare deflussi unitari fra i maggiori di tutti i corsi d'acqua della Sardegna soprattutto in corrispondenza degli eventi alluvionali, che interessano con una certa cadenza, gran parte della Sardegna orientale. Complessivamente, le forti pendenze dei versanti non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche: la circolazione idrica profonda è di modesta entità e strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Le litologie che interessano l'area di progetto presentano una permeabilità secondaria o anche detta per fessurazione, acquisita dalla roccia a seguito della sua formazione.

Tale proprietà può esser limitata dalla presenza di riempimento delle fratture costituito da materiali derivanti dall'alterazione della roccia madre ad alta componente argillosa. Ne consegue che seppur presente una buona rete di fratture anche con importanti spaziature, la presenza di tali riempimenti limita fortemente il passaggio delle acque. La parte superficiale dell'ammasso roccioso è generalmente più fratturata e pertanto con permeabilità più elevata rispetto alla parte più profonda meno interessata dalla fratturazione, al contatto tra le due si possono sviluppare delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale legato all'andamento pluviometrico generale. Nel caso di studio le risorgive sono presenti alla base del versante Ovest, su litologie marnoso-calcaree notoriamente più permeabili in contatto con quelle paleozoiche.

La conformazione idrogeologico-strutturale dell'area, in cui prevalgono acquiferi fessurati e frammentati dalla tettonica e dalla geomorfologia articolata in alti e incisioni favorisce la nascita di **emergenze naturali** che per l'area di interesse hanno portate esigue e piuttosto variabili alcune invece presentano deflussi apprezzabili come ad esempio **Funtana Lobadas**, **Canali Bonu**, **Ladumini** con 0,10 l/sec e **Cavalleri** con 0,15 l/sec situate a ovest del tavolato a contatto tra le marne e le intercalazioni calcareo-arenacee.

Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione accumulo e circolazione legato al regime delle piogge e caratterizzante in analogo misura sia le litologie metamorfiche che quelle intrusive nella porzione sommitale e di interesse alle opere del parco eolico.

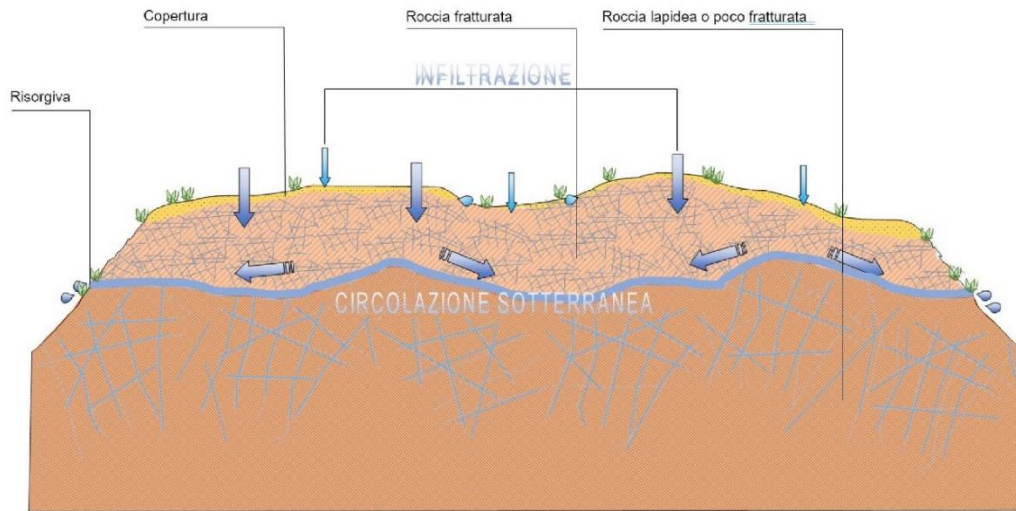
Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere il bordo dell'altopiano oltre il quale si riversano lungo valli strette a V ancora in evoluzione geomorfologica.

La frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infiltra nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse.

Maggiore è la presenza di fratture, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità. Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti che si hanno lungo i versanti e nei tagli erosivi sono per l'appunto legate principalmente alla presenza dei sistemi di frattura a diversa scala e dal materiale derivante dall'alterazione superficiale degli ammassi rocciosi.

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile dal Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna, si evince che l'area di studio presenta nella zona di installazione delle turbine, una permeabilità media per fratturazione.





**Figura 14 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo**

Nell'area di studio si possono distinguere:

- litologie con permeabilità alta – medio-alta, come i Basalti delle Giare(BGR), le Dolomie (DOR e MUK), per via della fratturazione o del carsismo;
- litologie con permeabilità medio-bassa, come le formazioni di Nurallao (NLL) e di Genna Selole (GNS), che si presentano mediamente permeabili per porosità, fratturazione, grado di cementazione o per via della presenza di livelli argillosi;
- litologie con permeabilità bassa, come i depositi eluvio-colluviali, i depositi marnoso-arenacei-siltosi delle marne di Gesturi (GST), le vulcaniti della formazione di Aragixi (ARX), i conglomerati della formazione di Ussana (USS) e le rocce del basamento paleozoico (SGA, MSV, ORR, ecc...), la cui permeabilità è influenzata dalla presenza di livelli impermeabili o da scarsa fratturazione.
- Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in tre gruppi principali:
- Basamento Paleozoico. È costituito da rocce massive e scistose semipermeabili per fratturazione (porfiroidi, porfidi, quarziti, metarenarie,), da rocce impermeabili (filladi, metapeliti), e da rocce permeabili (calcarei e calcari marnosi). Complessivamente la permeabilità del basamento metamorfico è scarsa, con Coefficienti di Permeabilità variabili tra 10<sup>-7</sup> e 10<sup>-9</sup>.
- Coperture eoceniche e oligo-mioceniche. Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta sia alla porosità delle arenarie e dei conglomerati che alla permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce carbonatiche intercalate nelle successioni.
- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate e raggiungono spessori poco significativi, la permeabilità è di tipo medio-alta per porosità. Le alluvioni terrazzate recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. I depositi di versante invece essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi.

## **7.4 ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI**

Ai fini della tutela della risorsa idrica si è operata una valutazione qualitativa della vulnerabilità degli acquiferi presenti in relazione alle opere da realizzare e in relazione alle varie attività di cantiere.

Non sono presenti sorgenti alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo) e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni geologiche è tale che quest'ultimo non venga influenzato dalle opere in possesso e con il normale deflusso delle acque sotterranee. Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

## **8 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

1. Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
2. Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
3. Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare, si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Sono stati eseguiti di n°4 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici ma sono leggermente più lunghi (69,0 m).

È stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di sismica.

Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

<b>Stendimento</b>	<b>Metodo di indagine</b>	<b>Orientamento</b>	<b>Geofoni/Picchetti</b>	<b>Interdistanza tra geofoni (m)</b>	<b>Lunghezza (m)</b>
<b>R 1 (SM01)</b>	Rifrazione	SE-NO	24	3,00	69,0
<b>R 2 (SM02)</b>	Rifrazione	SE-NO	24	3,00	69,0
<b>R 3 (SM03)</b>	Rifrazione	SSO-NNE	24	3,00	69,0
<b>R 4 (SM04)</b>	Rifrazione	SSE-NNO	24	3,00	69,0
<b>M 1 (SM01)</b>	MASW	SE-NO	24	3,00	69,0
<b>M 2 (SM02)</b>	MASW	SE-NO	24	3,00	69,0
<b>M 3 (SM03)</b>	MASW	SSO-NNE	24	3,00	69,0
<b>M 4 (SM04)</b>	MASW	SSE-NNO	24	3,00	69,0

**Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti**

### **8.1 GENERALITÀ SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE**

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica. Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-istanze (dromocrone).

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna visualizzati a monitor. I tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono), vengono memorizzati in appositi files che costituiscono i dati in input del software utilizzato. Per ciascun tiro, quindi, si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso.

L'interpretazione delle dromocrone consiste, quindi, nel suddividere la funzione tempi/distanze in segmenti a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo. Questa operazione viene eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; modello che consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nella maggior parte dei casi, comunque, si riscontrano variazioni stratigrafiche che non corrispondono a variazioni di tipo litologico in senso stretto, ma alla naturale variazione di compattezza dello stesso materiale che, per alterazione superficiale o per semplice decompressione, si presenta più allentato in prossimità della superficie rispetto alle zone più profonde.

In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

Con questa tecnica il sottosuolo viene suddiviso in elementi finiti di forma quadrata e di dimensioni estremamente piccole (dell'ordine di grandezza di decimetri) un software specifico, (nel nostro caso si è utilizzato il software RAYFRACT vers 4.01), che stima le velocità sismiche compatibili con ogni singolo elemento affinché i tempi di percorso dei vari fronti d'onda, generati nei punti di tiro disposti lungo il profilo, risultino il più possibile simili ai tempi misurati e letti sui sismogrammi. Il risultato che si ottiene è una griglia di valori di velocità dalla superficie fino alle massime profondità di indagine che caratterizzano i vari elementi in cui è stato suddiviso il sottosuolo.

Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

### 8.1.1 Caratteristiche delle stese sismiche

Per tutte le basi sismiche sono state eseguite 9 energizzazioni intervallate ogni 3 geofoni secondo lo schema di acquisizione definito dalla specifiche tecniche.

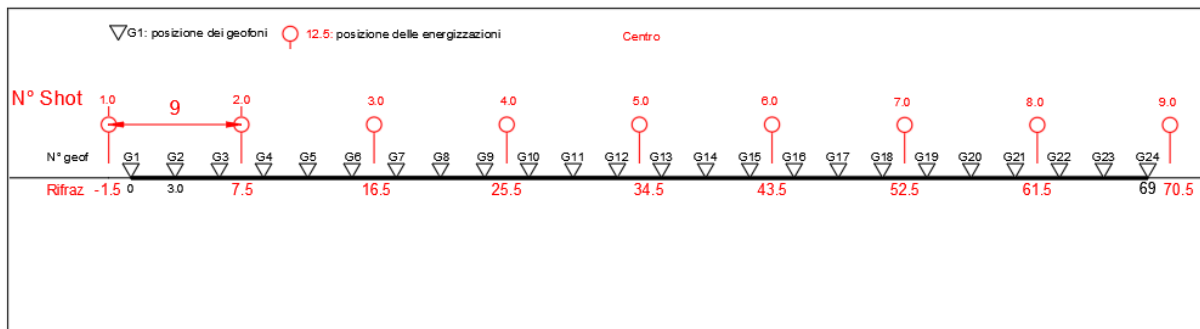


Figura 15 Geometria di acquisizione - sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0

### 8.1.2 Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz.

Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite una livella digitale e GPS differenziale marca Stonex in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

### 8.1.3 Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi). La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare.

In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono. Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati.

## 8.2 INDAGINI SISMICHE: MASW

### **Metodologia**

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### **Moto del segnale sismico**

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### **Onde di Rayleigh – "R"**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### **Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le

onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

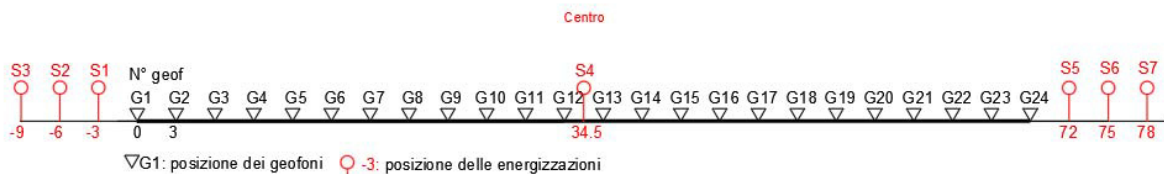
#### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### **8.3 SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE**

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a **3,0 m** in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.



**Figura 16 Geometria di acquisizione - MASW con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0**

### **8.4 CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata utilizzata una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg

### **8.5 INTERPRETAZIONE DEI SEGNALI ACQUISITI**

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

## 8.6 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. 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

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

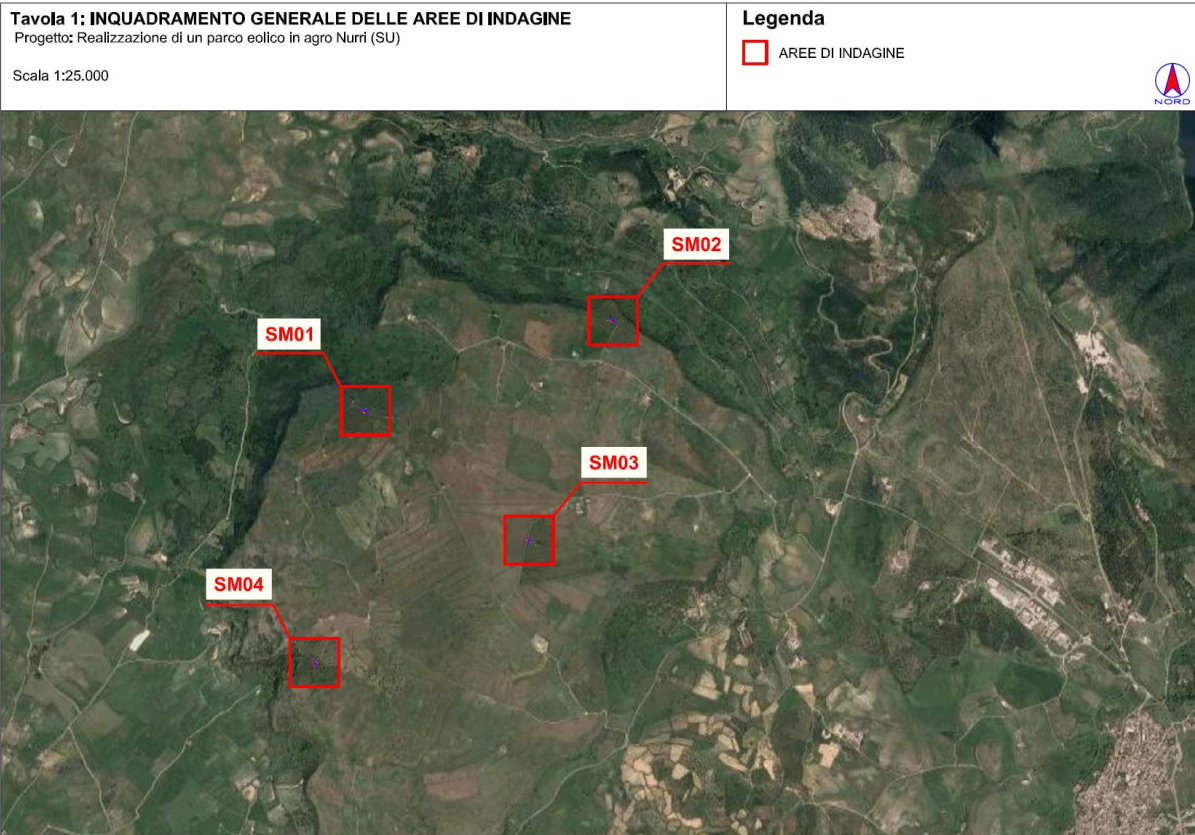
$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato  $H$  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. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**Tabella 3.2.II.** Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

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

## 8.7 UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE



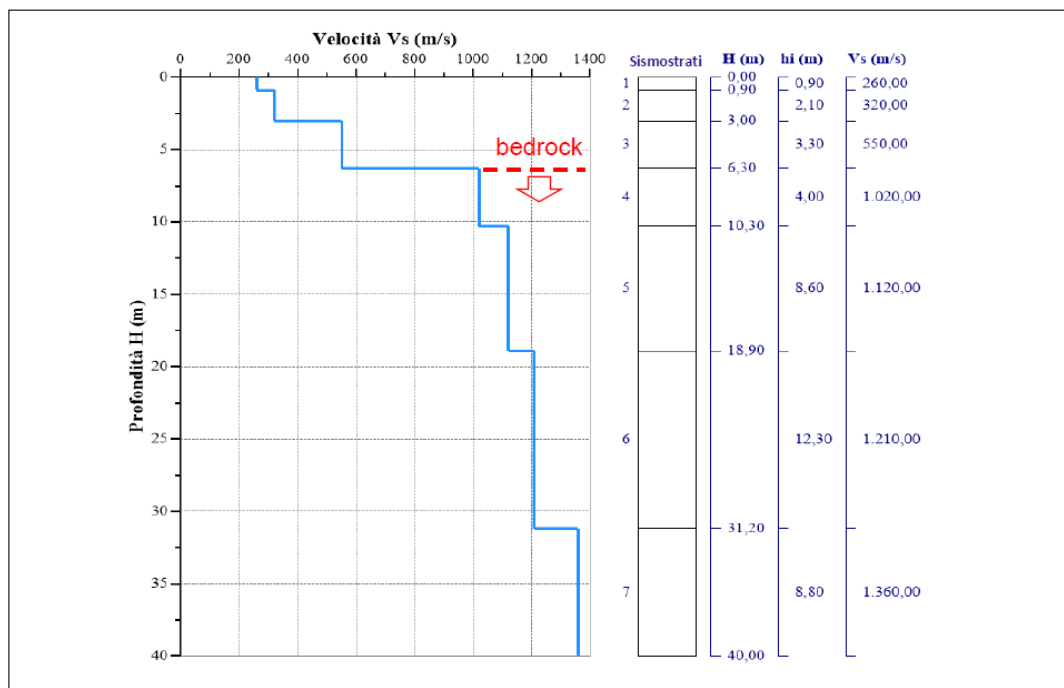
## 8.8 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M1-R1

### 8.8.1 Masw M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 0,9	1° sismostrato con Vs di 260 m/s Terre poco addensate
0,9 - 3,0	2° sismostrato con Vs di 320 m/s Terre mediamente addensate
3,0 - 6,3	3° sismostrato con Vs di 550 m/s Terre da mediamente addensate a molto addensate
6,3 - 10,3	4° sismostrato con Vs di 1020 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
10,3 - 18,9	5° sismostrato con Vs di 1120 m/s Substrato roccioso da intensamente a moderatamente fratturato
18,9 - 31,2	6° sismostrato con Vs di 1210 m/s Substrato roccioso da leggermente fratturato a sano
31,2 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 1360 m/s Substrato roccioso sano

MASW M1-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	0,90	0,90	260,00	0,90	0,90	0,00346
2	3,00	2,10	320,00	3,00	2,10	0,00656
3	6,30	3,30	550,00	6,30	3,30	0,00600
4	10,30	4,00	1020,00	10,30	4,00	
5	18,90	8,60	1120,00	18,90	8,60	
6	31,20	12,30	1210,00	30,00	11,10	
7	40,00	8,80	1360,00	0,00	0,00	



**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

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

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

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato 6,30 m ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,30 m di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{s,eq} = 6,30/0,0160 = 393,16$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria 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.

**Tabella 2 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche**

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 0,9	terre	1.800	520	260	0,33	324	39	118	324
2	0,9 - 3,0	terre	2.000	640	320	0,33	549	66	206	549
3	3,0 - 6,3	terre	2.100	1.100	550	0,33	1.697	204	637	1.697
4	6,3 - 10,3	12%	2.200	2.040	1020	0,33	6.100	732	2.285	6.100
5	10,3 - 18,9	15%	2.350	2.240	1120	0,33	7.865	1.180	2.952	7.865
6	18,9 - 31,2	22%	2.400	2.420	1210	0,33	9.375	2.063	3.511	9.375
7	31,2 - 40,0	25%	2.450	2.720	1360	0,33	12.082	3.020	4.531	12.082

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

**8.8.2 Sismica a rifrazione R1**

Dall'esame della sezione si riconoscono **4 unità sismostratigrafiche** principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 2800 m/s.

Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 2,1 e 3,0 metri da p.c e un andamento analogo al piano campagna.

Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 7,0 m dal p.c.

Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 3,6 e 14,1 m di profondità dal p.c.

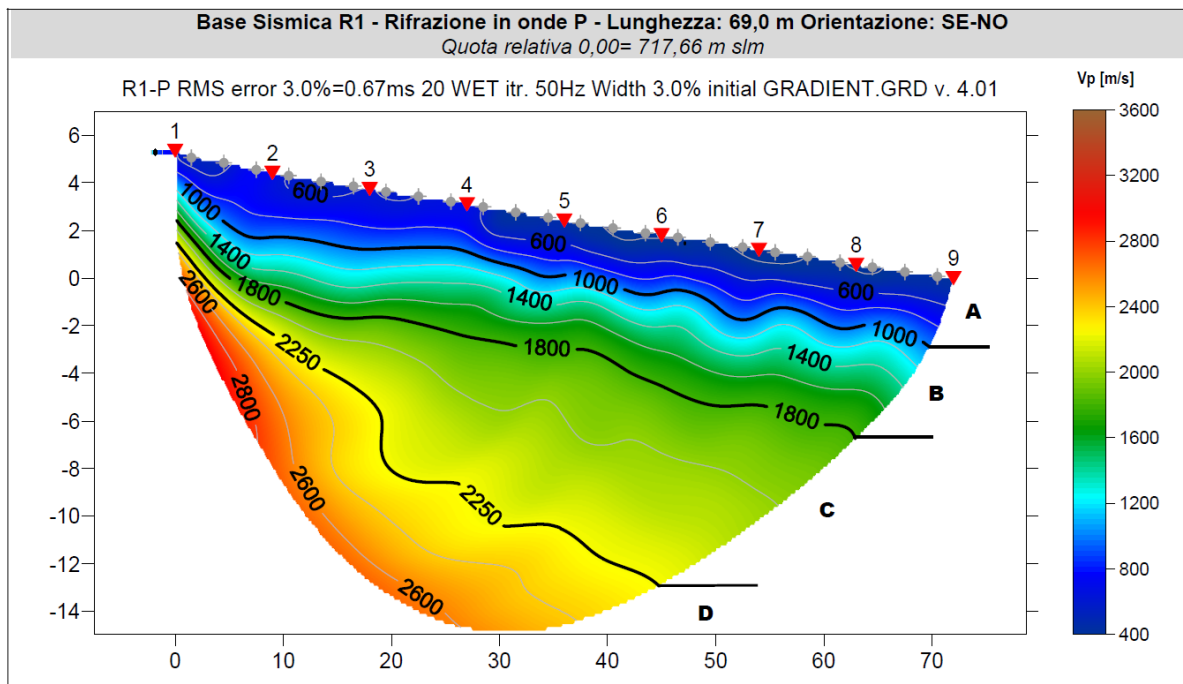
Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità  $V_p$  medie e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 15,0/20,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle  $V_p$  con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,0 e 7,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 3,6 e 14,1 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 5,0 e 7,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già a profondità comprese tra 6,0 e 10,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,1/3,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,1/3,0 a 3,0/7,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/7,0 a 3,6/14,1	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 3,6/14,1 a 15,0-20,0	2400-2800



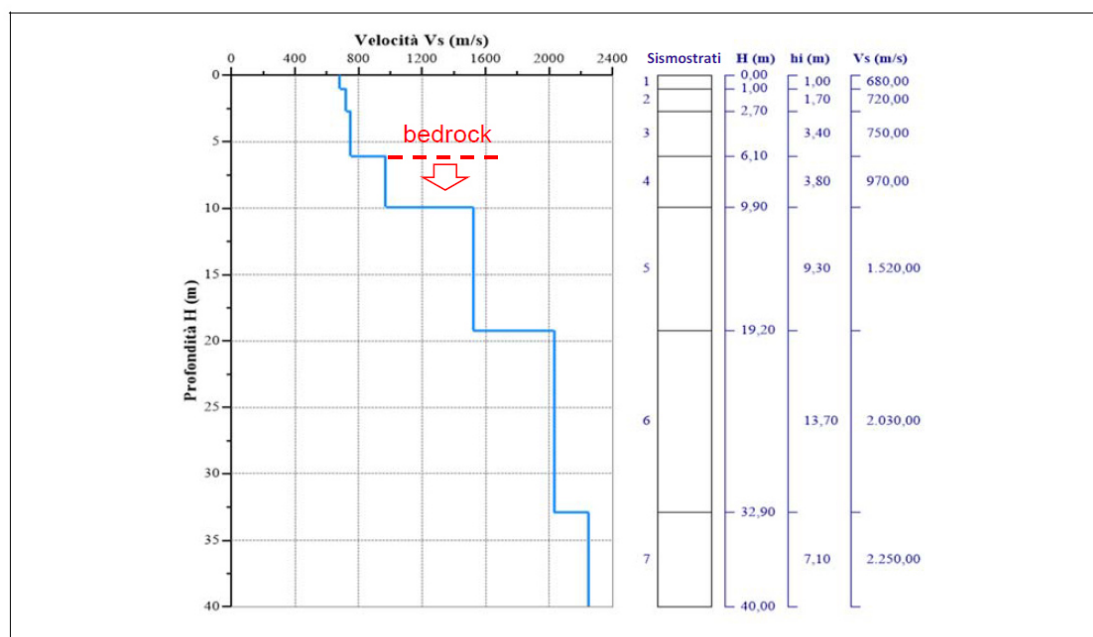
## 8.9 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M2-R2

### 8.9.1 Masw M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 680 m/s Terre poco addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 720 m/s Terre mediamente addensate
2,7 - 6,1	3° sismostrato con Vs di 750 m/s Terre da addensate a molto
6,1 - 9,9	4° sismostrato con Vs di 970 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
9,9 - 19,2	5° sismostrato con Vs di 1520 m/s Substrato roccioso da mediamente a leggermente fratturato
19,2 - 32,9	6° sismostrato con Vs di 2030 m/s Substrato roccioso sano
32,9 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 2250 m/s Substrato roccioso sano

MASW M2-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	680,00	1,00	1,00	0,00147
2	2,70	1,70	720,00	2,70	1,70	0,00236
3	6,10	3,40	750,00	6,10	3,40	0,00453
4	9,90	3,80	970,00	9,90	3,80	
5	19,20	9,30	1520,00	19,20	9,30	
6	32,90	13,70	2030,00	30,00	10,80	
7	40,00	7,10	2250,00	0,00	0,00	

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

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

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

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **6,10 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **6,10 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{s,eq} = 6,10/0,0083 = 729,23$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria 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.

**Tabella 3 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche**

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.360	680,00	0,33	2.216	267	834	2.216
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	1.440	720,00	0,33	2.766	333	1.040	2.766
3	2,7 - 6,1	terre	2.100	1.500	750,00	0,33	3.148	380	1.177	3.148
4	6,1 - 9,9	12%	2.200	1.940	970,00	0,33	5.521	663	2.069	5.521
5	9,9 - 19,2	15%	2.350	3.040	1520,00	0,33	14.475	2.171	5.433	14.475
6	19,2 - 32,9	22%	2.400	4.060	2030,00	0,33	26.371	5.802	9.895	26.371
7	32,9 - 40,0	25%	2.450	4.500	2250,00	0,33	33.078	8.270	12.406	33.078

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

### 8.9.2 Sismica a rifrazione R2

Dall'esame della sezione si riconoscono **4 unità sismostratigrafiche** principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3200 m/s.

Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 1,0 e 2,0 metri da p.c. e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna.

Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 2,0 e 5,2 m dal p.c.

Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 3,0 e 9,0 m di profondità dal p.c.

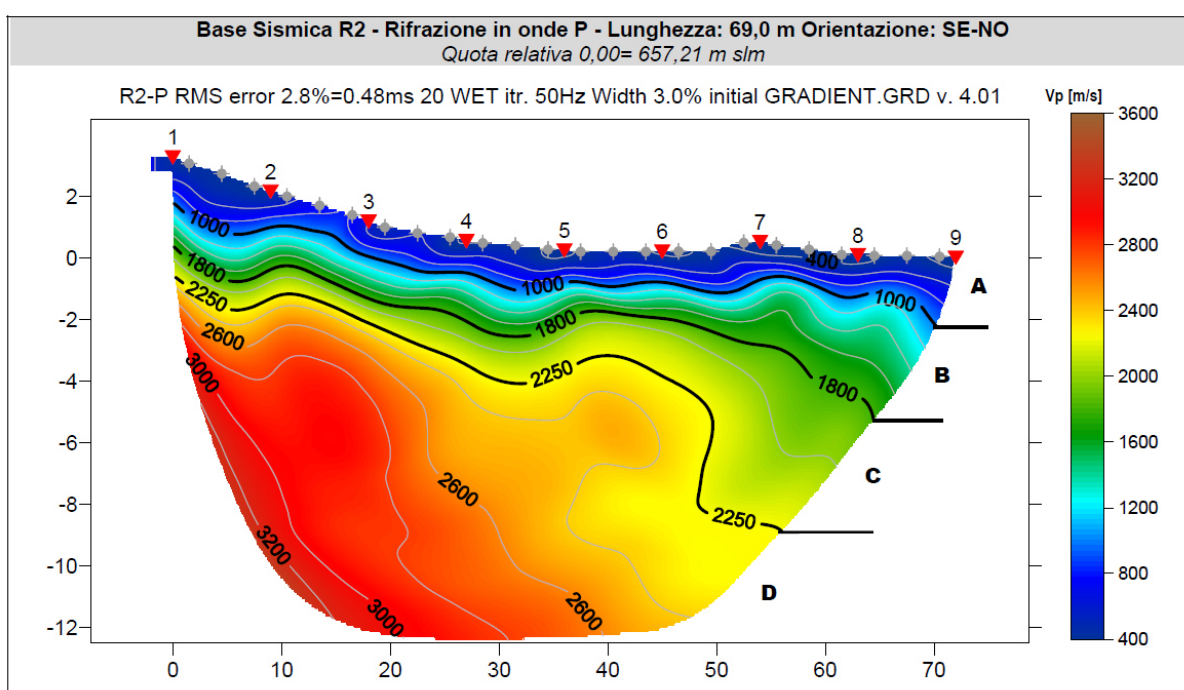
Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medioalte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 12,2/16,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle  $V_p$  con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso: si può notare come dalla progressiva 45 m della sezione le velocità  $V_p$  siano minori, presentando una diminuzione laterale delle velocità rilevate; il materiale presente presenta delle qualità elastomeccaniche inferiori.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,0 e 5,2 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 3,0 e 9,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

Stendimento R2	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/2,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/2,0 a 2,0/5,2	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,0/5,2 a 3,0/9,0	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 3,0/9,0 a 12,2-16,0	2250-3200



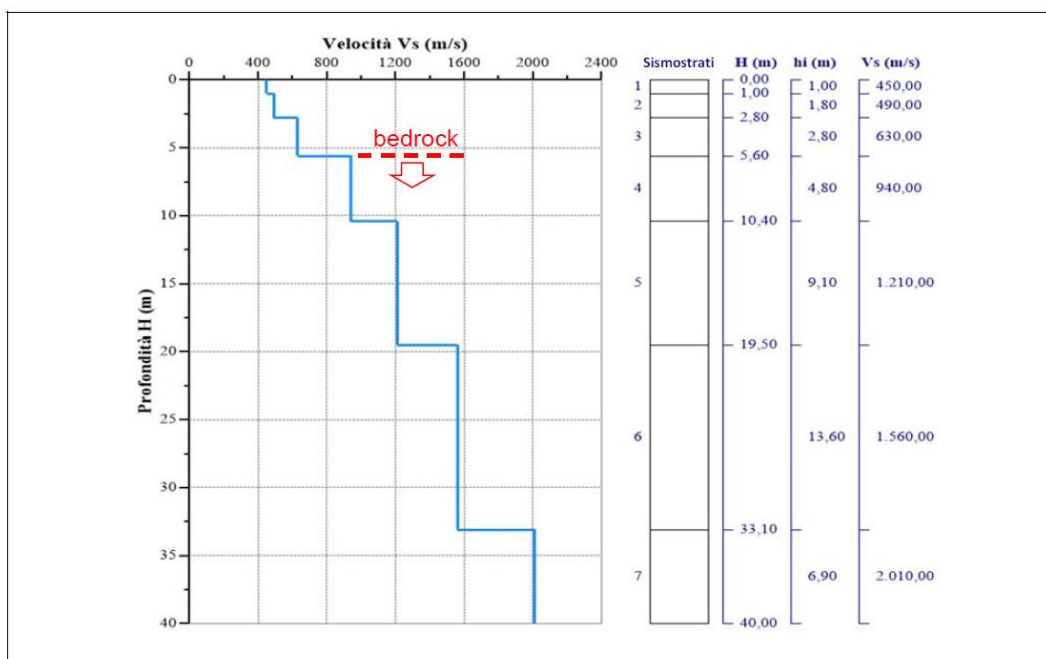
## 8.10 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M3-R3

### 8.10.1 Masw M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 450 m/s Terre poco addensate
1,0 - 2,8	2° sismostrato con Vs di 490 m/s Terre mediamente addensate
2,8 - 5,6	3° sismostrato con Vs di 630 m/s Terre molto addensate
5,6 - 10,4	4° sismostrato con Vs di 940 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
10,4 - 19,5	5° sismostrato con Vs di 1210 m/s Substrato roccioso mediamente fratturato
19,5 - 33,1	6° sismostrato con Vs di 1560 m/s Substrato roccioso da poco fratturato a sano
33,1 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 2010 m/s Substrato roccioso sano

**MASW M3-PROFILO Vs**



**Sismostratigrafia e calcolo Vs eq**

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	450,00	1,00	1,00	0,00222
2	2,80	1,80	490,00	2,80	1,80	0,00367
3	5,60	2,80	630,00	5,60	2,80	0,00444
4	10,40	4,80	940,00	10,40	4,80	
5	19,50	9,10	1210,00	19,50	9,10	
6	33,10	13,60	1560,00	30,00	10,50	
7	40,00	6,90	2010,00	0,00	0,00	

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

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

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

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **5,60 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **5,60 m** di profondità dal p.c. è pari a:  **$V_{s,eq} = 5,6/0,0103 = 541,58$  m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria 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.

**Tabella 4 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche**

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	900	450	0,33	971	117	363	971
2	1,0 - 2,8	terre	2.000	980	490	0,33	1.285	155	481	1.285
3	2,8 - 5,6	terre	2.100	1.260	630	0,33	2.226	268	834	2.226
4	5,6 - 10,4	12%	2.200	1.880	940	0,33	5.188	623	1.942	5.188
5	10,4 - 19,5	15%	2.350	2.420	1210	0,33	9.179	1.377	3.442	9.179
6	19,5 - 33,1	22%	2.400	3.120	1560	0,33	15.573	3.426	5.845	15.573
7	33,1 - 40,0	25%	2.450	4.020	2010	0,33	26.400	6.600	9.895	26.400

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

### 8.10.2 Sismica a rifrazione R3

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3000 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 1,3 e 2,8 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,2 e 6,5 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 5,0 e 9,3 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medioalte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 10,0/14,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle  $V_p$  con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

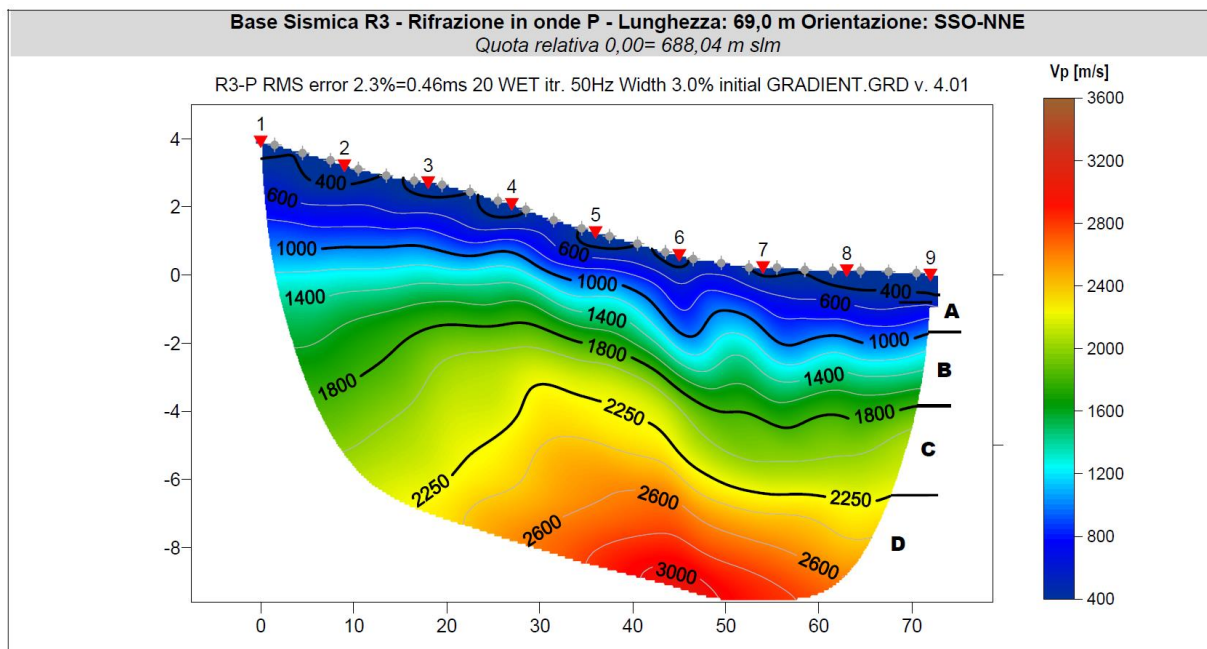
In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,2 e 6,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 5,0 e 9,3 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

comprese tra 4,0 e 5,0 m dal p.c i terreni risultano difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 5,0 e 6,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

Stendimento R3	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,3/2,8	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,3/2,8 a 3,2/6,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,2/6,5 a 5,0/9,3	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 5,0/9,3 a 10,0-14,0	2250-3000





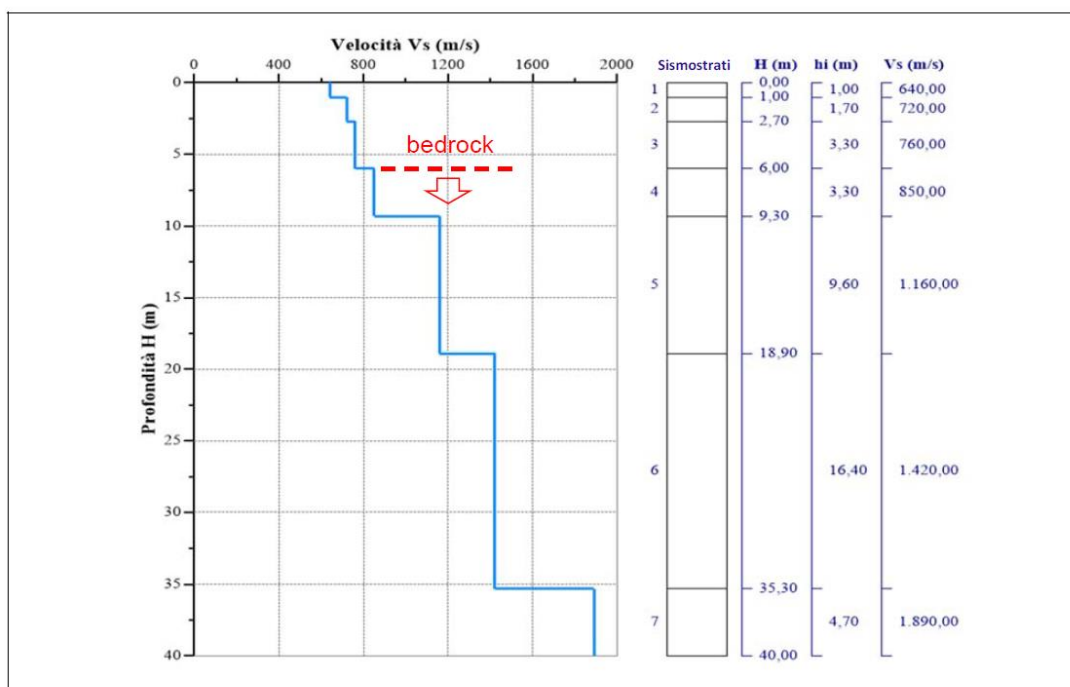
## 8.11 RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO M4-R4

### 8.11.1 Masw M4

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M4, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 640 m/s Terre addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 720 m/s Terre molto addensate
2,7 - 6,0	3° sismostrato con Vs di 760 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
6,0 - 9,3	4° sismostrato con Vs di 850 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
9,3 - 18,9	5° sismostrato con Vs di 1160 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
18,9 - 35,3	6° sismostrato con Vs di 1420 m/s Substrato roccioso sano
35,3 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 1890 m/s Substrato roccioso sano

MASW M4-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	640,00	1,00	1,00	0,00156
2	2,70	1,70	720,00	2,70	1,70	0,00236
3	6,00	3,30	760,00	6,00	3,30	0,00434
4	9,30	3,30	850,00	9,30	3,30	
5	18,90	9,60	1160,00	18,90	9,60	
6	35,30	16,40	1420,00	30,00	11,10	
7	40,00	4,70	1890,00	0,00	0,00	

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

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

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

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **6,00 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **6,00 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{s,eq} = 6,0/0,0082 = 725,89$  m/s che dà luogo ad una categoria A, ossia:

**Categoria 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.

**Tabella 5 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche**

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.280	640	0,33	1.961	236	736	1.961
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	1.440	720	0,33	2.766	333	1.040	2.766
3	2,7 - 6,0	terre	2.100	1.520	760	0,33	3.236	390	1.216	3.236
4	6,0 - 9,3	12%	2.200	1.700	850	0,33	4.237	508	1.589	4.237
5	9,3 - 18,9	15%	2.350	2.320	1160	0,33	8.434	1.265	3.158	8.434
6	18,9 - 35,3	22%	2.400	2.840	1420	0,33	12.906	2.839	4.835	12.906
7	35,3 - 40,0	25%	2.450	3.780	1890	0,33	23.340	5.835	8.748	23.340

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

### 8.11.2 Sismica a rifrazione R4

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 2800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 0,4 e 1,3 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento simile al precedente e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 4,0 m dal p.c. Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 5,0 e 7,0 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 13,0/15,2 m dal p.c.

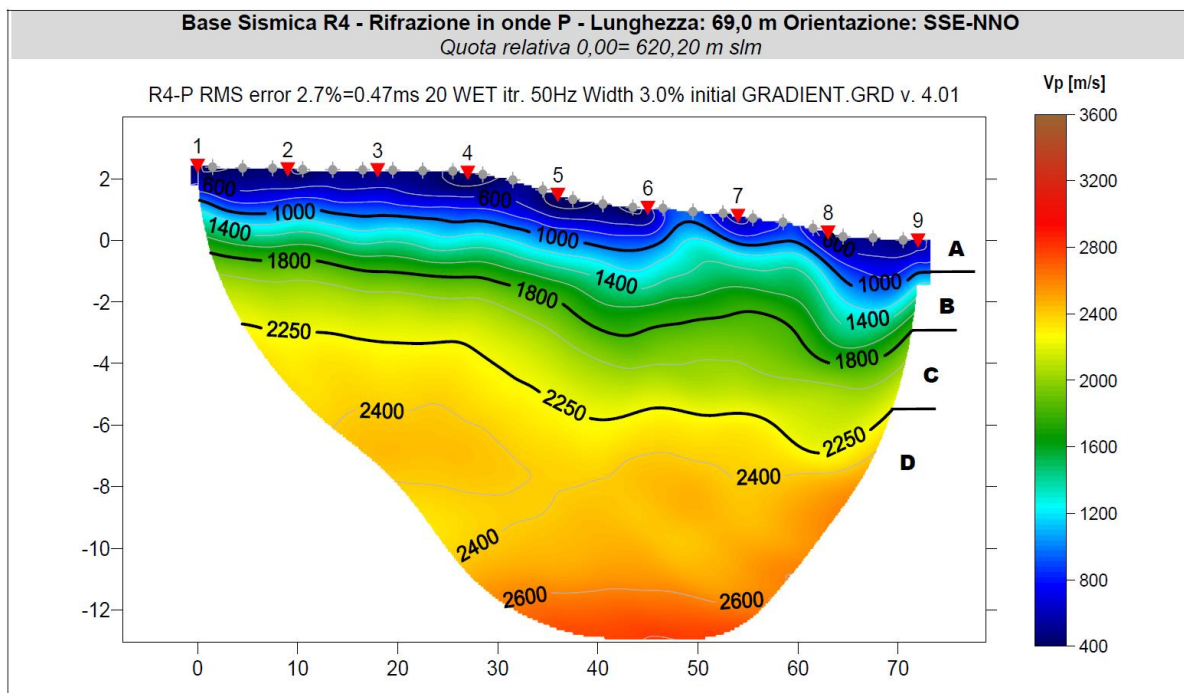
Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,0 e 4,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 5,0 e 7,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. comprese tra 4,0 e 5,0 m dal p.c i terreni risultano difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 5,0 e 6,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

Stendimento R4	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,4/1,3	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 0,4/1,3 a 3,0/4,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/4,0 a 5,0/7,0	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 5,0/7,0 a 13,0-15,2	2250-2800



## **9 MODELLO GEOLOGICO DI SITO**

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

1. Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. I sistemi di fratturazione presenti generano variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
2. Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, è stato individuato **nr.01 modello geologico rappresentativo** descritto di seguito:

in generale l'intera area interessata dal progetto è interessata da un substrato roccioso da fratturato a sano costituito dalle facies basaltiche descritte nei capitoli precedenti al cui letto ( profondità variabile dai 2 ai 30m) poggiano senza soluzione di continuità le facies marnoso- calcaree della formazione di Gesturi, costituite da conglomerati, marne e calcareniti.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

**9.1 MODELLO GEOLOGICO 01**

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geognostiche e dalla classificazione degli ammassi rocciosi si definiscono i parametri geotecnici rappresentativi del modello geologico che andrà confermato in sede di progettazione esecutiva con indagini più dettagliate sui singoli siti di imposta delle fondazioni.

Pertanto, nell'ottica dell'individuazione di un modello geologico rappresentativo del sito si propone il seguente schema:

0,00 - 2,00m	depositi eluvio-colluviali / roccia fortemente alterata (regolite) <b>(S1)</b>
2,00 - 3,00m	substrato roccioso da fortemente fratturato a fratturato <b>(S2)</b>
3,00 -3,60m	substrato roccioso da fratturato a poco fratturato <b>(S3)</b>
3,60m –10,30m	substrato da poco fratturato a sano <b>(S4)</b>
10,30m - 20,00m	substrato roccioso sano <b>(S5)</b>

MODELLO GEOLOGICO 01						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4	S5
<b>Descrizione</b>		Depositi eluvio-colluviali/roccia fortemente alterata	Substrato roccioso da fortemente fratturato a fratturato	Substrato roccioso da fratturato a poco fratturato	Substrato roccioso da fratturato a sano	Substrato roccioso sano
<b>Peso di volume**</b>	[kg/mc]	1.800	2.000	2.100	2.200	2.350
<b>Peso di volume saturo**</b>	[kg/mc]	1.900	2.100	2.100	2.200	2.350
<b>Angolo di attrito* interno</b>	[°]	30,12	34,60	36,94	38,25	45
<b>Coesione*</b>	[Mpa]	0.05	0,524	1,072	1,254	2,5
Dati Parametri Deformabilità						
<b>Modulo elastico **</b>	[Mpa]	39	66	204	732	1180
<b>Coefficiente di Poisson**</b>	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<b>Modulo di taglio (G)**</b>	[Mpa]	118	206	637	2.235	2.952
<b>Velocità onde di taglio Vs**</b>	[m/sec]	260	320	550	1020	1120

\*Valori ricavati da interpolazioni su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

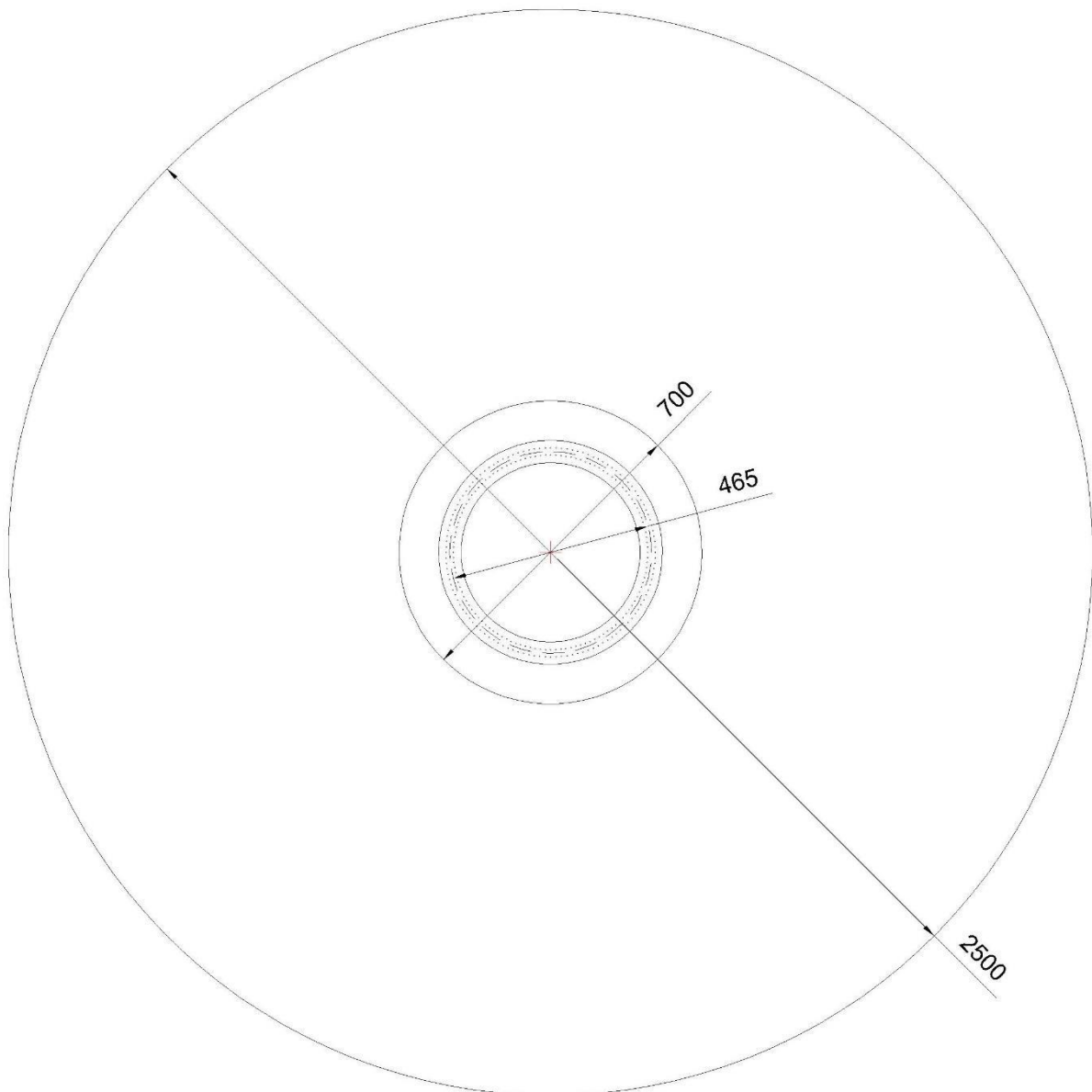
\*\* Valori ricavati da dati derivati dalle indagini geofisiche da confermare con indagini dirette e puntuali

## 10 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE DEGLI AEROGENERATORI

Il dimensionamento preliminare, in attesa della scelta progettuale del committente, tiene conto del modello tipologico di aerogeneratore descritto in premessa.

In questa fase si prevede la realizzazione di opere di fondazione di tipo diretto costituite da un plinto con forma tronco-conica, con pianta circolare avente diametro massimo pari a 25,00 m ed una sezione trapezia avente altezza minima al bordo esterno pari a 1,00, altezza di 2,50m nel profilo della connessione della parte tronco-conica con il colletto centrale dove raggiunge i 4,00m d'altezza.

### PIANTA MODELLO PLINTO AEROGENERATORE D.25,0 m.



SEZIONE MODELLO PLINTO AEROGENERATORE D.25,0 m.

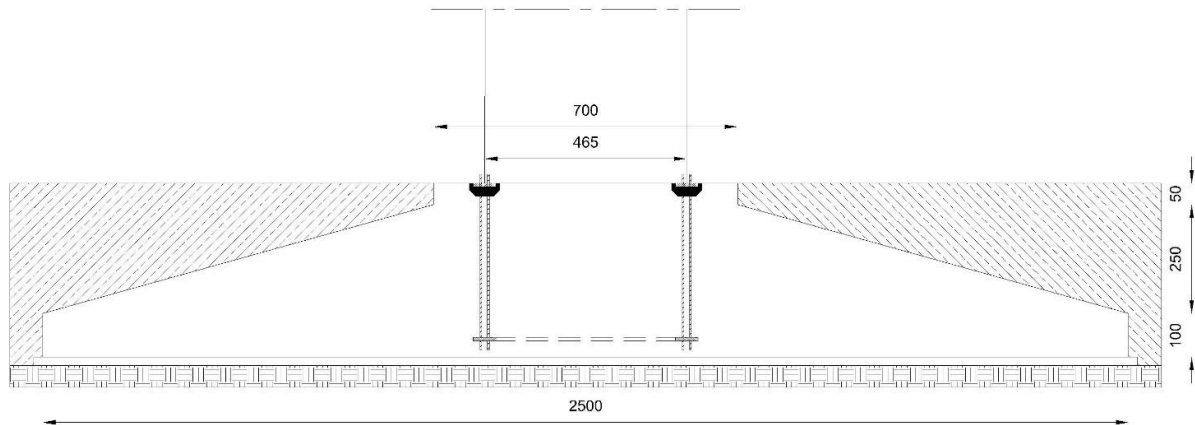


Figura 17 Caratteristiche geometriche della fondazione

Volume plinto:  $V_p = 1.065,78 \text{ m}^3$

Peso proprio plinto:  $W_p = 26.111,61 \text{ kN}$

Volume netto terreno riportata di ricoprimento:  $V_t = 897,7 \text{ m}^3$

Peso proprio netto terreno riportata di ricoprimento:  $W_t = 14.004,12 \text{ kN}$

## 11 AZIONI E RESISTENZE NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

La nuova normativa sulle costruzioni prevede i coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni indicati nella Tab. 6.2.I. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 delle NTC. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità. Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel Cap. 2.

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Nel caso specifico di fondazioni superficiali come quella in progetto [6.4.2] "si considerano azioni sull'opera di fondazione quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi, all'acqua, ad eventuali ancoraggi presollecitati, ad urti e collisioni, alle variazioni di temperatura e al ghiaccio.

Per quanto concerne i sovraccarichi si deve tener conto della eventuale presenza di costruzioni, di depositi di materiale, di veicoli in transito, di apparecchi di sollevamento.

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniaassiale  $q_u$  deve essere applicato un coefficiente parziale  $\gamma_{qu}=1,6$ . Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

Nello specifico, la normativa evidenzia anche che ...[6.2.4] nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangono documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione può essere basata sul metodo osservazionale.

Nell'applicazione di tale metodo si deve seguire il seguente procedimento:

1. devono essere stabiliti i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
2. si deve dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
3. devono essere previste soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
4. deve essere istituito un adeguato sistema di monitoraggio in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.



## 12 VERIFICHE DI SICUREZZA (§C6.4.2)

### 12.1 VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) (§C6.4.2.1)

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

1. SLU di tipo geotecnico (GEO)
2. collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
3. collasso per scorrimento sul piano di posa
4. stabilità globale
5. SLU di tipo strutturale (STR)
6. raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I, seguendo almeno uno dei due approcci:

**Approccio 1:**

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

**Approccio 2:**

(A1+M1+R3).

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

**Nel caso in esame le verifiche dovranno essere condotte secondo l'approccio 1 combinazione 2.**

**Tab. 6.4.I** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

### 12.2 VERIFICHE DI ESERCIZIO (SLE) (§C6.4.2.2)

Si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7).

Analogamente, forma, dimensioni e rigidità della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei già menzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORI ESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

---

Si fa notare come la scelta di valori dei parametri geotecnici "cautelativi" in mancanza di indagini dirette su ogni singolo aerogeneratore potrebbe sottostimare la capacità portante dei terreni di imposta. E' quindi opportuno, in fase esecutiva disporre un accurato piano di indagini localizzato sulle singole postazioni.

## **13 CONDIZIONI DI CARICO DELLE FONDAZIONI DEGLI AEROGENERATORI**

Nella fase di predimensionamento si utilizzano i carichi sulle fondazioni calcolati in accordo alla norma IEC 61400-1 Ed.4 e definiti per un aerogeneratore di riferimento; in questo caso verranno adottati i carichi di progetto dichiarati per il modello EnVentus EV150-6.0 MW-H125 prodotto dalla società Vestas Wind Systems A/S.

Si riportano qui di seguito i valori contenuti nel documento ufficiale [0096-8470] VER 04 rilasciato dal produttore in data 13/10/2021; si rimanda alla fase di progettazione esecutiva il dimensionamento sui dati relativi al fornitore scelto.

### **Extreme loads EV150-6.0 MW-H 125**

Load case	Load factor	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kNm)	Mz (kNm)
Production loads	1,35	1.317,34	-7.079,00	147.900,00	-16.545,64

I carichi forniti da Vestas come "Extreme loads" sono i carichi statici massimi per la specifica turbina eolica calcolati per qualsiasi condizione.

Includono il comportamento dinamico della struttura e corrispondono al caso più sfavorevole alla base dell'aerogeneratore tra i diversi casi di carico, secondo la norma IEC 61400-1.

Pertanto, i carichi forniti da Vestas come "Extreme loads" sono i carichi di progetto della fondazione e non devono essere divisi o combinati con altri carichi.

## 14 MODELLI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE

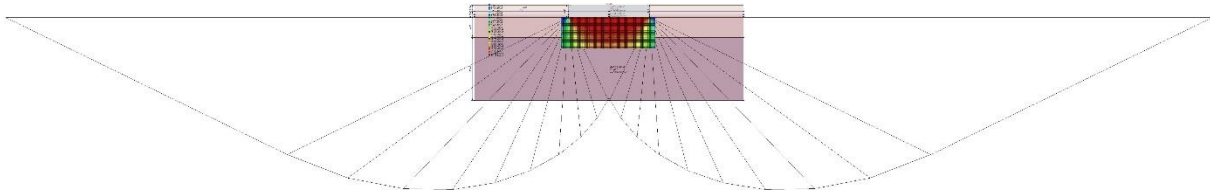
Le verifiche sono state eseguite sul modello geotecnico 01 maggiormente cautelativo e rappresentativo. Il piano di appoggio del basamento di fondazione è stato ipotizzato sullo Strato n. 02, S2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturata, a quota pari a circa 4,00 m da piano campagna, considerando che gli strati superficiali saranno rimossi dalle attività di scavo; si rimanda alle successive fasi della progettazione la valutazione dei dati geotecnici puntuali per ogni singola piazzola di installazione.

È stato utilizzato il software Loadcap 2023 della GEOSTRU. La fondazione è stata schematizzata come una piastra circolare dello spessore pari all'altezza delle due fondazioni proposte, in quanto il programma non permette l'inserimento di plinto circolare a sezione tronco-conica, con un leggero surplus di carico dovuto al differente peso tra c.a. e terreno di riporto.

**La fondazione proposta risulta verificata.**

Si riporta di seguito la sintesi delle analisi effettuate e si rimanda all'Allegato 1 - Relazione di calcolo allegata alla presente per le specifiche di ogni caso analizzato.

La scelta di valori dei parametri geotecnici "cautelativi", in mancanza di indagini dirette su ogni singolo aerogeneratore, potrebbe sottostimare la capacità portante dei terreni di imposta. E' quindi opportuno, in fase esecutiva disporre un accurato piano di indagini localizzato sulle singole postazioni.



### DATI GENERALI

=====  
Normativa NTC\_2018  
Zona Nurri  
Lat./ Long. [WGS84] 40.412899017334/9.3665657043457  
Diametro della fondazione 25.0 m  
Profondità piano di posa 4.0 m  
Profondità falda 2.0  
Sottofondazione...Sporgenza, Altezza 0.1/0.1 m  
Correzione parametri  
=====

### SISMA

=====  
Accelerazione massima (amax/g) 0.038  
Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)  
Coefficiente sismico orizzontale 0.0075  
=====

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

=====  
Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
Classe d'uso: Classe IV  
Vita nominale: 50.0 [anni]  
Vita di riferimento: 100.0[anni]  
=====

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T1

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60.0	0.249	2.685	0.3
S.L.D.	101.0	0.307	2.73	0.307
S.L.V.	949.0	0.587	2.976	0.371
S.L.C.	1950.0	0.693	3.061	0.393

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.2988	0.2	0.0061	0.003
S.L.D.	0.3684	0.2	0.0075	0.0038
S.L.V.	0.7044	0.2	0.0144	0.0072
S.L.C.	0.8316	0.2	0.017	0.0085

**STRATIGRAFIA TERRENO**

Spesso re strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesio ne [kN/m <sup>2</sup> ]	Coesio ne non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Elastic o [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Edome trico [kN/m <sup>2</sup> ]	Poisso n	Coeff. consoli daz. primari a [cmq/s]	Coeff. consoli dazion e second aria	Descriz ione
2.0	17.65	18.63	30.12	50.0	0.0	39000.0	0.0	0.33	0.0	0.0	S1
1.0	19.61	20.59	34.6	524.0	0.0	66000.0	0.0	0.33	0.0	0.0	S2
0.6	20.59	20.59	36.94	1072.0	0.0	204000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S3
6.7	21.57	21.57	38.25	1254.0	0.0	732000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4
20.0	23.04	23.04	45.0	2500.0	0.0	1180000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S5

**Carichi di progetto agenti sulla fondazione**

Nr.	Nome combinaz ione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A2+M2+R2	100.00	26111.00	147900.00	16545.64	-7079.00	1317.34	Progetto
2	Sisma	100.00	26111.00	147900.00	16545.64	-7079.00	1317.34	Progetto
3	S.L.E.	100.00	26111.00	147900.00	16545.64	-7079.00	1317.34	Servizio
4	A(1)+M(2) +R(2)	100.00	26111.00	147900.00	16545.64	-7079.00	1317.34	Progetto

**Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze**

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coeff. Rid. Capacità portante verticale	Coeff. Rid. C apacità portante orizzontale
1	Si	1.25	1.25	1.4	1	1	1.8	1.1
2	Si	1.25	1.25	1.4	1	1	1.8	1.1
3	Si	1	1	1	1	1	1.8	1
4	Si	1.25	1	1.25	1	1	1.8	1

**"NURRI IR" PARCO EOLICO DI NURRI (SU) INTERVENTO DI REPOWERING  
CON SOSTITUZIONE DEGLI AEROGENERATORIESISTENTI E RELATIVA  
RIDUZIONE DEL NUMERO DELLE MACCHINE**

**Relazione Geotecnica**

---

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2**

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 3761.2 kN/m<sup>2</sup>  
Resistenza di progetto[Rd] 2089.55 kN/m<sup>2</sup>  
Tensione [Ed] 100.0kN/m<sup>2</sup>  
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 37.61

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 150447.8 kN/m<sup>3</sup>

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A2+M2+R2)**

Adesione terreno fondazione 19.9 kN/m<sup>2</sup>  
Angolo di attrito terreno fondazione 0 °  
Frazione spinta passiva 0 %  
Resistenza di progetto 8206.04 kN  
Sollecitazione di progetto 7200.53 kN

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (Sisma)**

Adesione terreno fondazione 19.9 kN/m<sup>2</sup>  
Angolo di attrito terreno fondazione 0 °  
Frazione spinta passiva 0 %  
Resistenza di progetto 8206.04 kN  
Sollecitazione di progetto 7200.53 kN

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto 92.0 kN/m<sup>2</sup>  
Cedimento dopo T anni 7.0  
Distanza 7.63 m  
Angolo 253.51 °  
Cedimento totale 0 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

**CEDIMENTI ELASTICI**

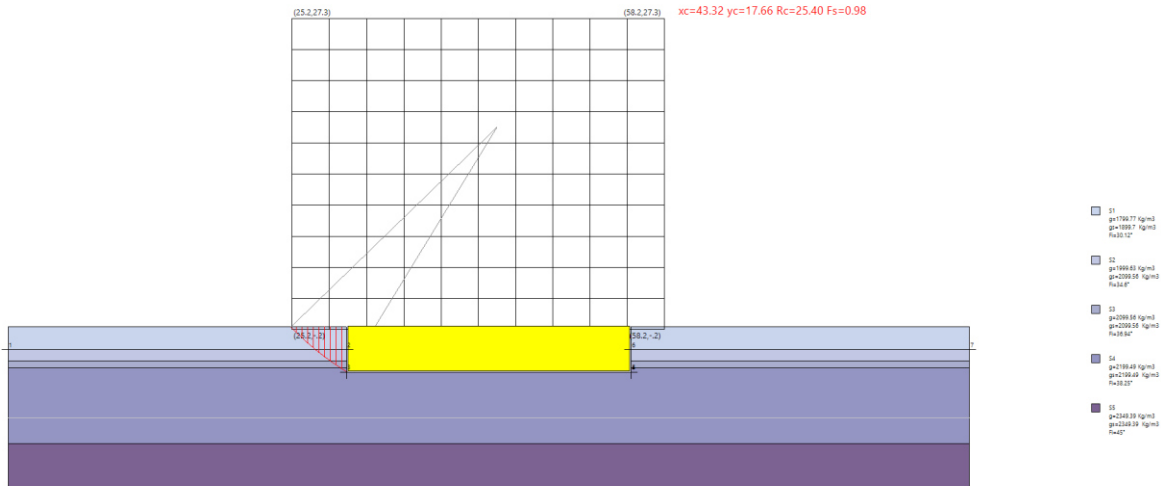
Pressione normale di progetto 92.0 kN/m<sup>2</sup>  
Spessore strato 6.0 m  
Profondità substrato roccioso 10.0 m  
Modulo Elastico 203500.0 kN/m<sup>2</sup>  
Coefficiente di Poisson 0.3  
Coefficiente di influenza I1 0.04  
Coefficiente di influenza I2 0.07  
Coefficiente di influenza Is 0.09

Cedimento al centro della fondazione 0.46 mm  
Coefficiente di influenza I1 0.01  
Coefficiente di influenza I2 0.05  
Coefficiente di influenza Is 0.04

Cedimento al bordo 0.1 mm

## 15 FRONTI DI SCAVO (§C6.8.6)

È stata eseguita una verifica di stabilità dei fronti di scavo della fondazione in ordine all'altezza di scavo prevista e alla tipologia di materiale attraversato considerando il modello geotecnico 01 e annullando la coesione e simulando in questo modo gli effetti dello scavo ipotizzando altresì il terreno totalmente saturo.



In generale si hanno da localmente medie proprietà di autosostegno. Dato il grado di fratturazione presenti alle profondità investigate non si escludono fenomeni di detensionamento in fase di scavo con il possibile innesco di fenomeni gravitativi localizzati.

In fase esecutiva sarà opportuno verificare con indagini dirette le caratteristiche proprie dei terreni e valutare quindi l'opportunità di realizzare pareti di scavo inclinate e/o gradonate.

