

**SCS ENLIN S.r.l.**  
 Sede Legale:  
 Via F.do Ayroldi, 10  
 72017 Ostuni (BR)  
 P. IVA 02703630745



*CODE*  
**SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00**

*PAGE*  
 1 di/of 123

**AVAILABLE LANGUAGE: IT**

**IMPIANTO EOLICO MONTEMILONE  
 COMUNI DI  
 MONTEMILONE E VENOSA (PZ)  
 RELAZIONE GEOLOGICA**

File name: SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00\_A.2\_Relazione Geologica.docx

<b>00</b>	<b>29/03/2023</b>	<b>EMISSIONE</b>	<b>W. MICCOLIS</b>		<b>W. MICCOLIS</b>
			<b>SCS Team</b>		<b>A. Sergi</b>
<b>REV</b>	<b>DATE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>
<b>IMPIANTO / Plant</b>		<b>CODE</b>			
<b>IMPIANTO EOLICO</b>		<b>GROUP</b>	<b>FUNCION</b>	<b>TYPE</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>MONTEMILONE</b>		<b>SCS</b>	<b>DES</b>	<b>R</b>	<b>G E O I T A W 5 6 8 1 0 0 1 0 0</b>
<b>CLASSIFICATION:</b>			<b>UTILIZATION SCOPE : PROGETTO DEFINITIVO</b>		

## INDICE

1. PREMESSA .....	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	7
3. CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	15
3.1 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO DELL'AREA INTERESSATA DAL PARCO EOLICO .....	17
4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO E STABILITA' GENERALE DELL'AREA .....	22
4.1 ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' POTENZIALE DA FRANA DEI VERSANTI .....	22
5. ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	33
5.2 ASSETTO IDROLOGICO E BACINI IDROGRAFICI .....	33
5.3 ASSETTO IDROLOGEOLOGICO .....	35
6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA .....	39
6.1 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA - PIANO STRALCIO DI BACINO UOM REGIONALE PUGLIA E INTERREGIONALE OFANTO (EX ADB INTERR. PUGLIA) .....	39
6.2 VINCOLO IDROGEOLOGICO R.D. 3267/1923 E R.D. 1126/1926 .....	43
7. MODELLO GEOLOGICO DELLE AREE IN STUDIO .....	46
7.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	46
7.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO .....	52
7.3 PROVE PENETROMETRICHE IN FORO (STANDARD PENETRATION TEST - S.P.T.) .....	55
7.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	58
7.5 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER-PESANTI DPSH .....	60
7.6 TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D .....	69
7.7 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P .....	73
7.8 PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW .....	75
7.8.A CALCOLO VS, EQ E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 17/01/2018 NTC2018) .....	79
7.9 DEFINIZIONE DEI MODULI ELASTO-DIMANI DEL TERRENO .....	82
7.10 PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO HVSR .....	83
7.11 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DELLE AREE IN STUDIO .....	90
8. MODELLO GEOTECNICO DELLE AREE IN STUDIO .....	91
9. SISMICITA' E AZIONE SISMICA .....	93
9.1 SISMICITA' STORICA .....	97
9.2 ZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	101
10. ANALISI DI RISPOSTA SIMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III .....	104
11. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....	117
12. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA .....	120
13. CONCLUSIONI .....	122

**SCS ENLIN S.r.l.**  
Sede Legale:  
Via F.do Ayroldi, 10  
72017 Ostuni (BR)  
P. IVA 02703630745



CODE

**SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00**

PAGE

3 di/of 123

### ELABORATI GRAFICI FUORI TESTO

<b>Cod. elaborato</b>	<b>Oggetto</b>
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.007.00 - A.2.2.1	Carta delle frequenze naturali del terreno
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.008.00 - A.2.2.2	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.009.00 - A.2.2.3	Carta di sintesi delle criticità e pericolosità geologica e geomorfologica
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.001.00 - A.16.a.7	Planimetria ubicazione indagini geologiche
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.002.00 - A.16.a.8	Carta Geologica
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.003.00 - A.16.a.9	Carta Geomorfologica
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.004.00 - A.16.a.10	Carta Idrogeologica
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.005.00 - A.16.a.11	Profili geologici
SCS.DES.D.GEO.ITA.W.5681.006.00 - A.16.a.12	Corografia dei bacini

### ELENCO ALLEGATI FUORI TESTO

<b>Cod. elaborato</b>	<b>Oggetto</b>
SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.003.00 - A.2.1	Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche

## 1. PREMESSA

La società **SCS ENLIN S.r.l.** è promotrice di un progetto per l'installazione di un impianto eolico nei territori comunali di Venosa e Montemilone (PZ), e relative opere di connessione che si sviluppano nei territori comunali di Venosa, Montemilone e Spinazzola (BT). Il Comune di Minervino Murge (BT) ne viene marginalmente coinvolto per una piccola parte di superficie di sorvolo.

Il progetto, cui la presente relazione fa riferimento, riguarda la realizzazione di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica composta da 13 aerogeneratori, con potenza unitaria pari a 7 MW ed una potenza complessiva di 91 MW.

Nella tabella che segue sono individuate, nel sistema UTM WGS 84 - Fuso 33N e in Gauss Boaga- Roma 40 Fuso Est, le coordinate delle turbine eoliche insieme ai riferimenti catastali delle particelle nelle quali ricadono le fondazioni:

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			SISTEMA DI RIFERIMENTO GAUSS BOAGA - Roma 40 fuso Est			RIFERIMENTI CATASTALI		
Coordinate Aerogeneratori			Coordinate Aerogeneratori			COMUNE	FG	P.LLA
WTG	EST [m]	NORD [m]	WTG	EST [m]	NORD [m]			
WTG_01	575967,36	4542516,79	WTG_01	2595970,65	4542493,41	VENOSA	4	36
WTG_02	576643,42	4542735,31	WTG_02	2596652,07	4542740,70	VENOSA	4	151
WTG_03	578021,19	4541809,60	WTG_03	2598029,81	4541814,96	MONTEMILONE	17	42
WTG_04	579127,00	4542620,00	WTG_04	2599135,62	4542625,32	MONTEMILONE	17	151 170 86
WTG_05	579786,75	4542420,29	WTG_05	2599795,36	4542425,59	MONTEMILONE	17	59 161
WTG_06	579353,00	4543851,00	WTG_06	2599361,64	4543856,31	MONTEMILONE	12	184
WTG_07	579812,00	4544422,00	WTG_07	2599820,65	4544427,30	MONTEMILONE	12	37
WTG_08	580930,00	4544363,00	WTG_08	2600938,65	4544368,28	MONTEMILONE	9 5	114 242
WTG_09	580936,00	4545233,00	WTG_09	2600944,66	4545238,28	MONTEMILONE	5	269 50
WTG_10	581930,26	4544145,97	WTG_10	2601938,90	4544151,23	MONTEMILONE	13	15
WTG_11	582674,96	4546362,97	WTG_11	2602683,64	4546368,22	MONTEMILONE	8	112 59
WTG_12	582093,00	4546942,00	WTG_12	2602101,69	4546947,26	MONTEMILONE	7	42
WTG_13	582727,43	4547276,05	WTG_13	2602736,13	4547281,30	MONTEMILONE	7	35

**Tabella 1: Coordinate e riferimenti catastali aerogeneratori in progetto.**

Il punto di connessione individuato per l'immissione dell'energia prodotta dall'impianto eolico, è individuato presso lo stallo AT a 36 kV della nuova Stazione Elettrica di trasformazione RTN da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "Genzano - Melfi". L'impianto verrà pertanto connesso in antenna a 36 kV su suddetta stazione.

In considerazione del livello di tensione del punto di connessione (36 kV), l'impianto internamente è esercito alla medesima tensione a mezzo dei trasformatori AT/BT propri di ciascun aerogeneratore.

I tredici aerogeneratori dell'impianto sono suddivisi in n.5 cluster di alta tensione la cui energia prodotta fa capo alla Collector Cabin dell'impianto. Quest'ultima provvede quindi al parallelo delle linee AT esercite a 36 kV interne all'impianto eolico e all'interfaccia dello stesso con il punto di connessione su rete RTN a mezzo di un cavidotto AT che si estende, al netto di alcune aree private, principalmente su strade comunali, provinciali e/o statali.

La presente relazione, redatta in conformità al D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", alla "Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 21/09/2019", alla

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		CODE <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		PAGE 5 di/of 123

della L.R. n. 9 del 7 giugno 2011 - Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica e a quanto disposto dalle Norme del Piano per l'Assetto idrogeologico (PAI) dell'ex Autorità di Bacino interregionale Puglia, approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n. 39 del 30/11/2005, oggi Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

Accettato l'incarico e presa visione dell'opera progettuale, il relazionante si è recato sul sito al fine di riconoscere la situazione litostratigrafica locale, di definire l'origine e la natura dei depositi, nonché la geologia locale dell'area oggetto di studio nel contesto regionale; il relazionante ha integrato i dati in suo possesso con una ricerca bibliografica sulla letteratura geologica.

Con l'aggiornamento del Testo unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 17/01/2018, si definiscono le procedure per eseguire una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce.

Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto ed alle "Raccomandazioni per la redazione della "RELAZIONE GEOLOGICA" di cui alle Norme Tecniche sulle Costruzioni, redatto dalla Fondazione Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi CNG sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno e per la definizione delle caratteristiche geotecniche dello stesso. Il modello geologico qui elaborato è orientato alla costruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici.

Il programma delle indagini è stato articolato come segue:

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici bibliografici riguardanti l'area di progetto;
- Rilievo geologico e geomorfologico di superficie;
- Elaborazione geotecnica dei parametri ricavati in base alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare

In particolare l'indagine eseguita è stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano l'opera in progetto curando in specie:

- la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
- presenza o meno di falda d'acqua superficiale;
- le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e sottofondazione;
- categoria del suolo e Vs, eq e microzonazione sismica;
- sintesi della pericolosità e criticità geologica e geomorfologica.

In particolare le indagini effettuate e pianificate per il presente progetto sono consistite in:

- ✓ Esecuzione di n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 30 m dal p.c.
- ✓ Prove penetrometriche SPT all'interno dei fori di sondaggio.
- ✓ Prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati all'interno dei sondaggi.
- ✓ Esecuzione di prove penetrometriche dinamiche Super-Pesanti (DPSH)
- ✓ Esecuzione di N. 3 stendimenti sismici a rifrazione con restituzione tomografica in onde P.
- ✓ Esecuzione di N. 3 tomografie elettriche di resistività.
- ✓ Prospezioni sismiche di tipo MASW (WTG6-MASW), eseguite per la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche, quindi della Vseq necessaria per la definizione della categoria

**SCS ENLIN S.r.l.**  
Sede Legale:  
Via F.do Ayroldi, 10  
72017 Ostuni (BR)  
P. IVA 02703630745



CODE

**SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00**

PAGE

6 di/of 123

di sottosuolo.

- ✓ Prospezioni di sismiche passive tipo HVSR (WTG6-HVSR), eseguite per la stima delle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni.

Per la descrizione dettagliata delle indagini eseguite si rimanda alla Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche (Rif. Elaborato A.2.1) che costituisce parte integrante della presente relazione.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il progetto della centrale eolica proposta prevede l'installazione di 13 turbine all'interno dei Comuni di Venosa e Montemilone, nei quali ricadono anche le opere civili a corredo. Le opere di connessione, invece, oltre a dover essere realizzate nei territori comunali di Venosa e Montemilone, si svilupperanno anche all'interno del Comune di Spinazzola per raggiungere la Stazione Elettrica di Spinazzola.

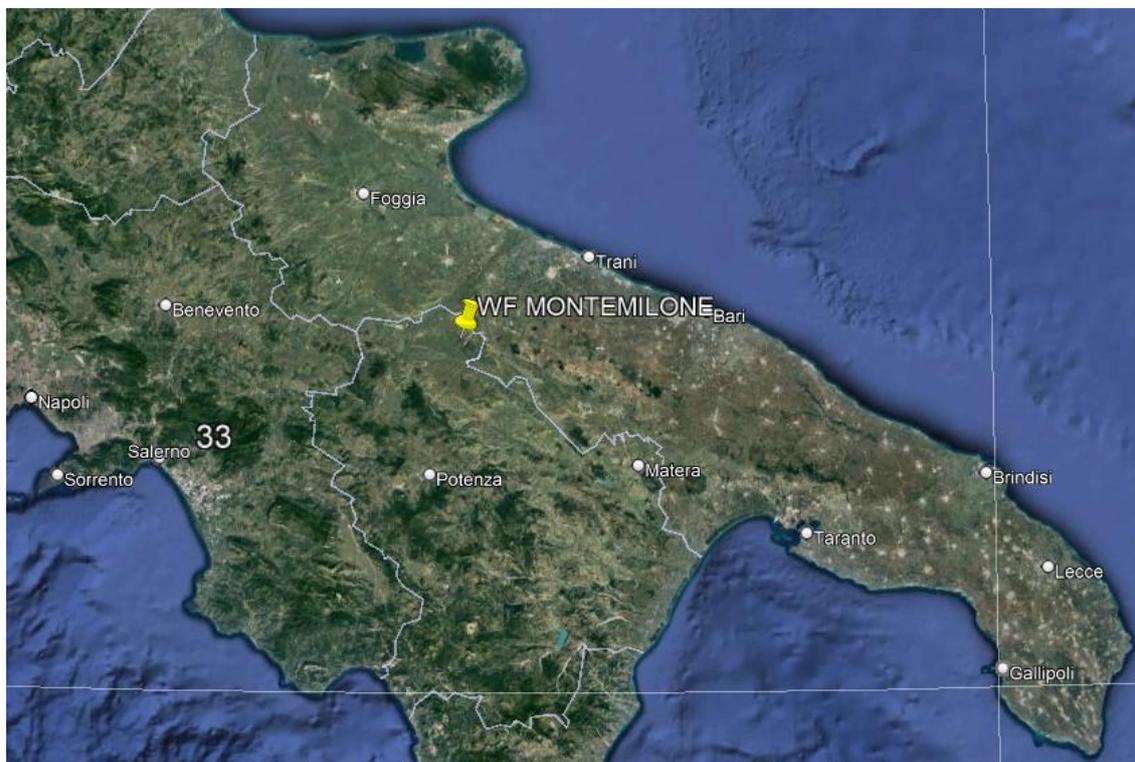
L'area di impianto si sviluppa a circa 40Km dalla costa Adriatica e a 45 Km a Nord-Est di Potenza, al confine tra le Regioni di Puglia e Basilicata.

Relativamente ai Comuni più vicini, invece, il parco sorge a circa 1,5 Km da Montemilone e 10 Km da Venosa, entrambi appartenenti alla Provincia di Potenza. Il primo Comune pugliese in prossimità dell'area di impianto è, invece, quello di Minervino Murge, distante circa 8 Km dalla turbina più esterna, ed appartenente alla Provincia di Barletta-Andria-Trani.

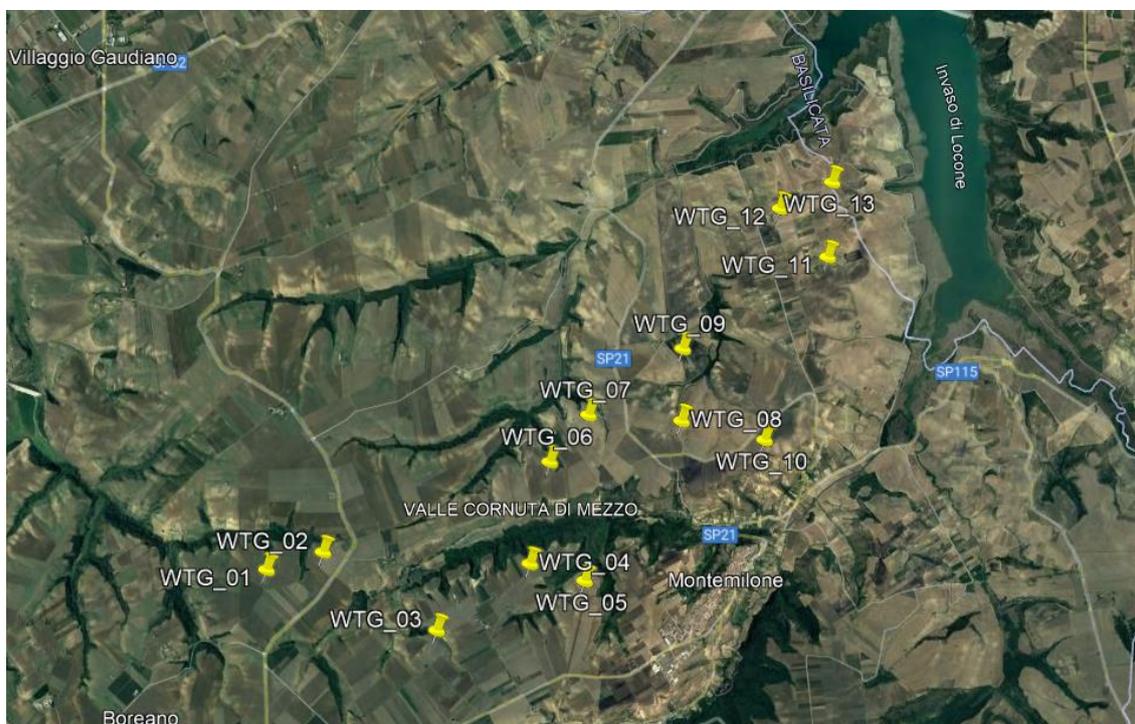
Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di progetto a livello nazionale, regionale e di dettaglio.



**Figura 1 – Localizzazione dell'area di impianto nel contesto nazionale.**



**Figura 2 - Localizzazione dell'area di impianto nel contesto regionale.**



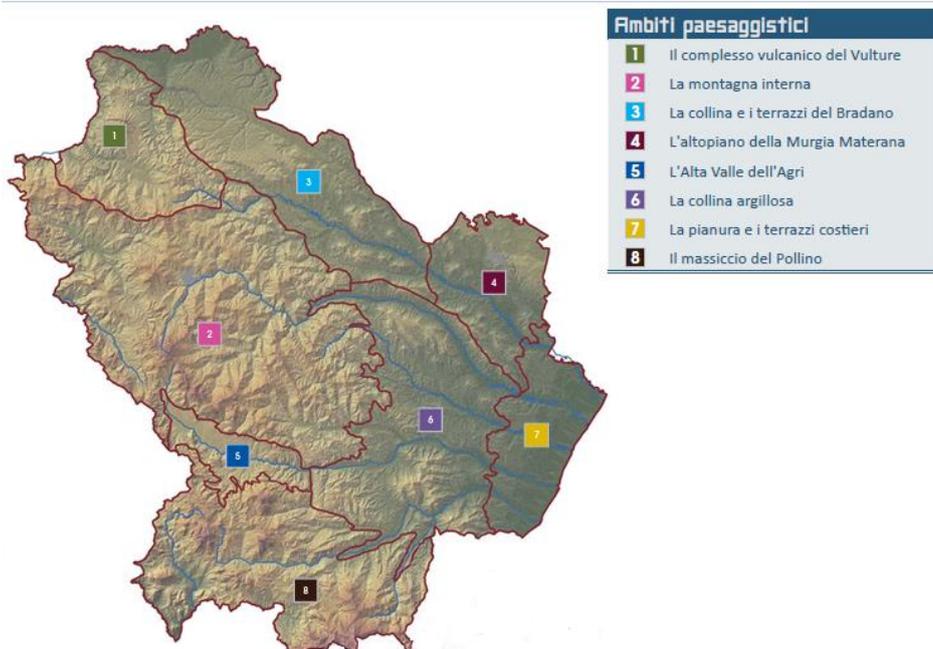
**Figura 3 - Dettaglio Area di Impianto su ortofoto.**

Il parco sorge a Nord del Comune di Montemilone e a ridosso del confine con la Regione Puglia, a circa 1,5 Km dall'Invaso di Locone.

Le aree di intervento ricadono all'interno dell'ambito paesaggistico individuato come "La collina e i terrazzi del Bradano" il cui territorio è un semianfiteatro delimitato dai margini della catena appenninica,

dominata dal monte Vulture, e dalla parte dell'ampia depressione della fossa bradanica percorsa dal fiume Bradano.

A nord dell'area di impianto si estende, invece, il Tavoliere delle Puglie.



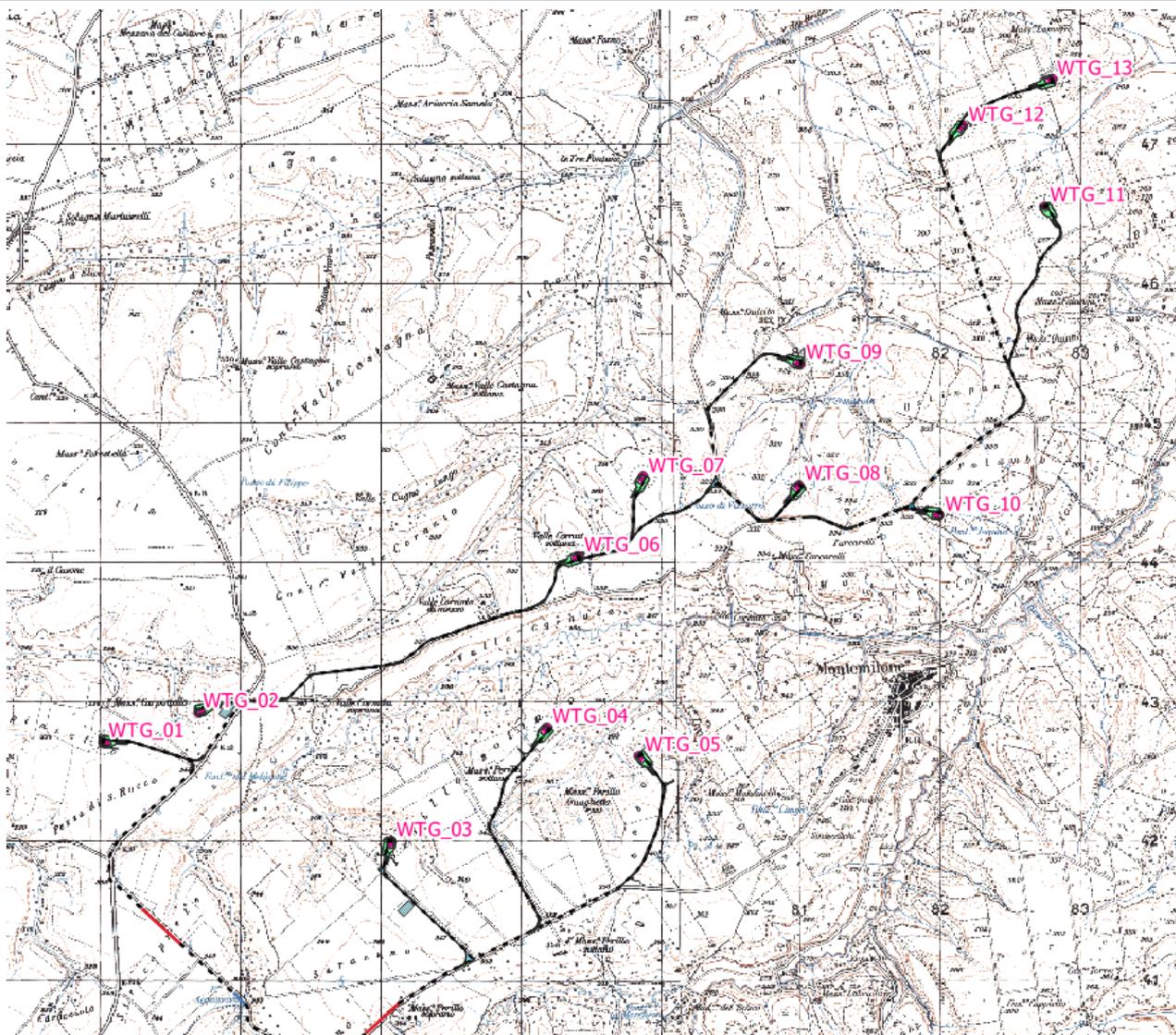
**Figura 4 - Ambiti Paesaggistici Regione Basilicata – Ambito 3 “La collina e i terrazzi del Bradano”.**

Cartograficamente l'area ricade all'interno delle tavolette I.G.M. alla scala 1:25.000 (**Figura 5**):

- 175 II-NE (VILLAGGIO GAUDIANO)
- 175 II-SE (MEZZANA DEL CANTORE)
- 176 III-NO (LAMALUNGA)
- 176 III-SO (MONTEMILONE)

Sulla cartografia geologica ufficiale, Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (**Figura 6**), l'area nella sua interezza, ricade all'interno del:

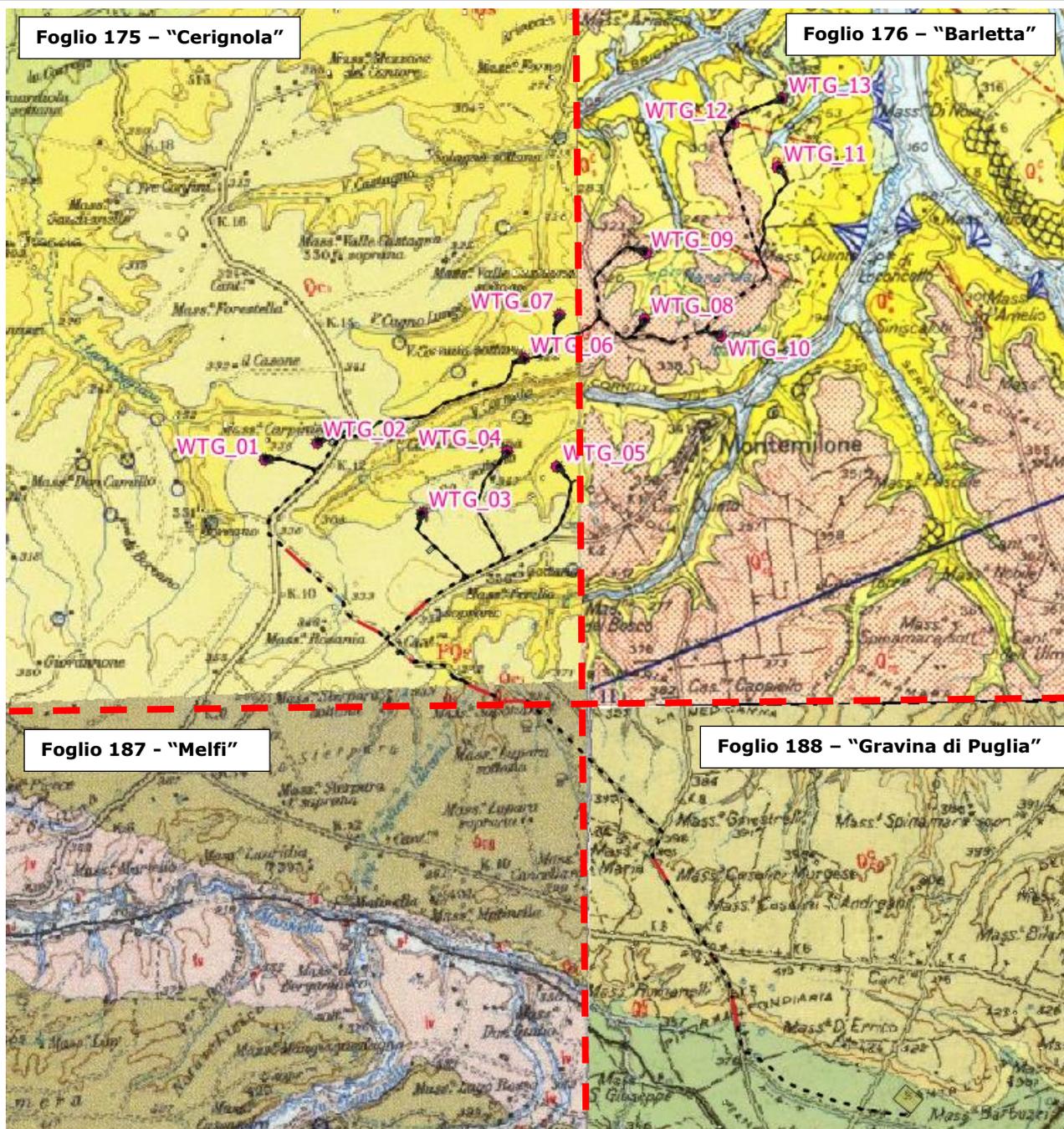
- Foglio 176 – “Barletta”
- Foglio 175 – “Cerignola”
- Foglio 188 – “Gravina di Puglia”
- Foglio 187 “Melfi”.



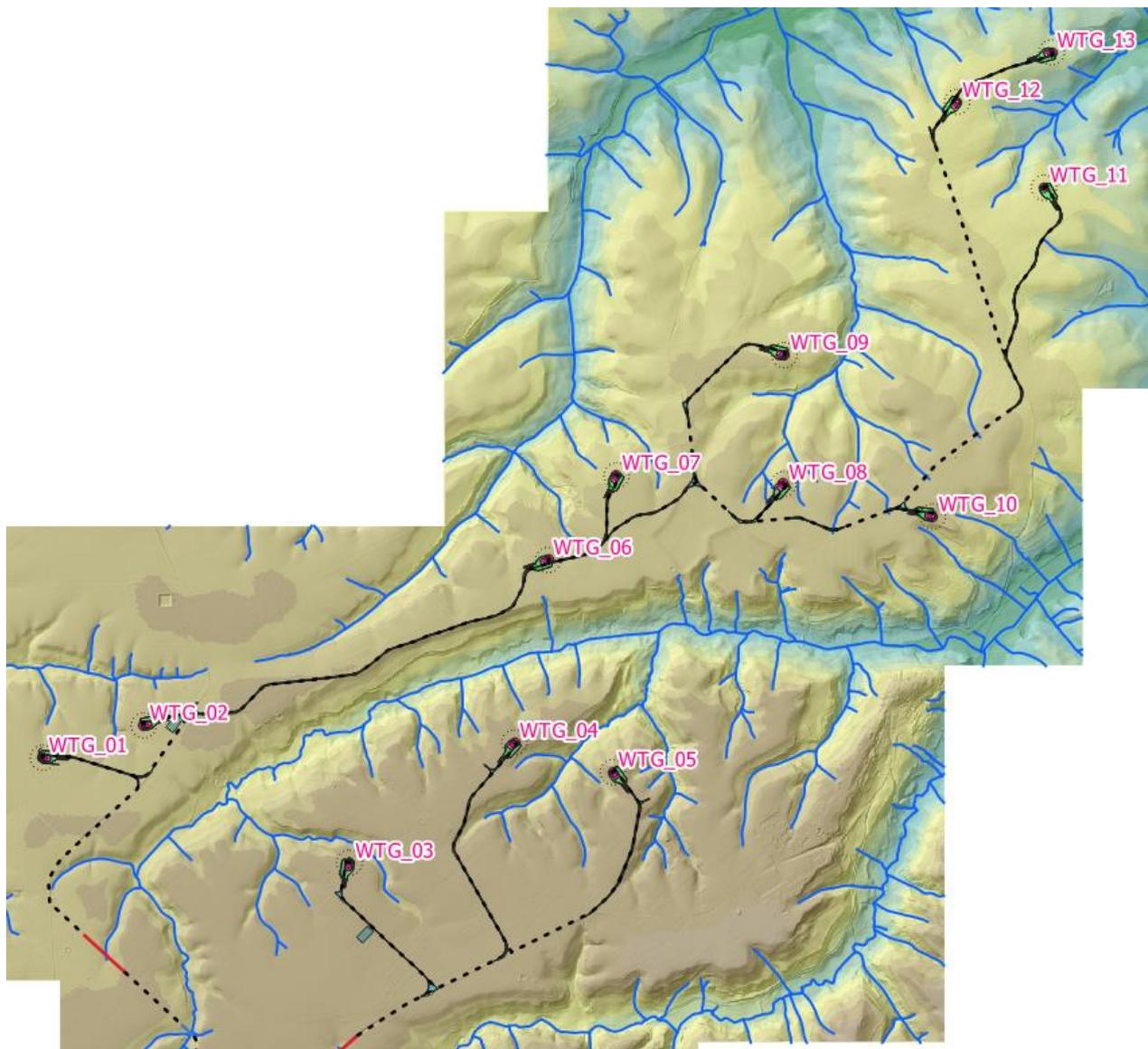
**Figura 5 - Inquadramento area parco eolico su stralcio IGM.**

Da un punto di vista orografico e morfologico, in un'ampia scala si osserva che il territorio esaminato è caratterizzato da un vasto altopiano che si sviluppa tra le quote di 270 e 340 m s.l.m., debolmente inclinato verso nord-ovest e inciso da numerose piccole incisioni fluviali, con deflusso stagionale, che formano una rete idrografica di tipo dendritico tributaria in destra orografica del fiume Ofanto (Figura 7).

La morfologia dell'area in esame è condizionata dall'assetto litostrutturale, ossia dai litotipi affioranti e dal loro assetto strutturale, ed è piuttosto ondulata e a diversa acclività esclusivamente in corrispondenza delle incisioni fluviali (Figura 8 e Figura 9), anche come conseguenza di variegati e diversificati aspetti geolitologici.



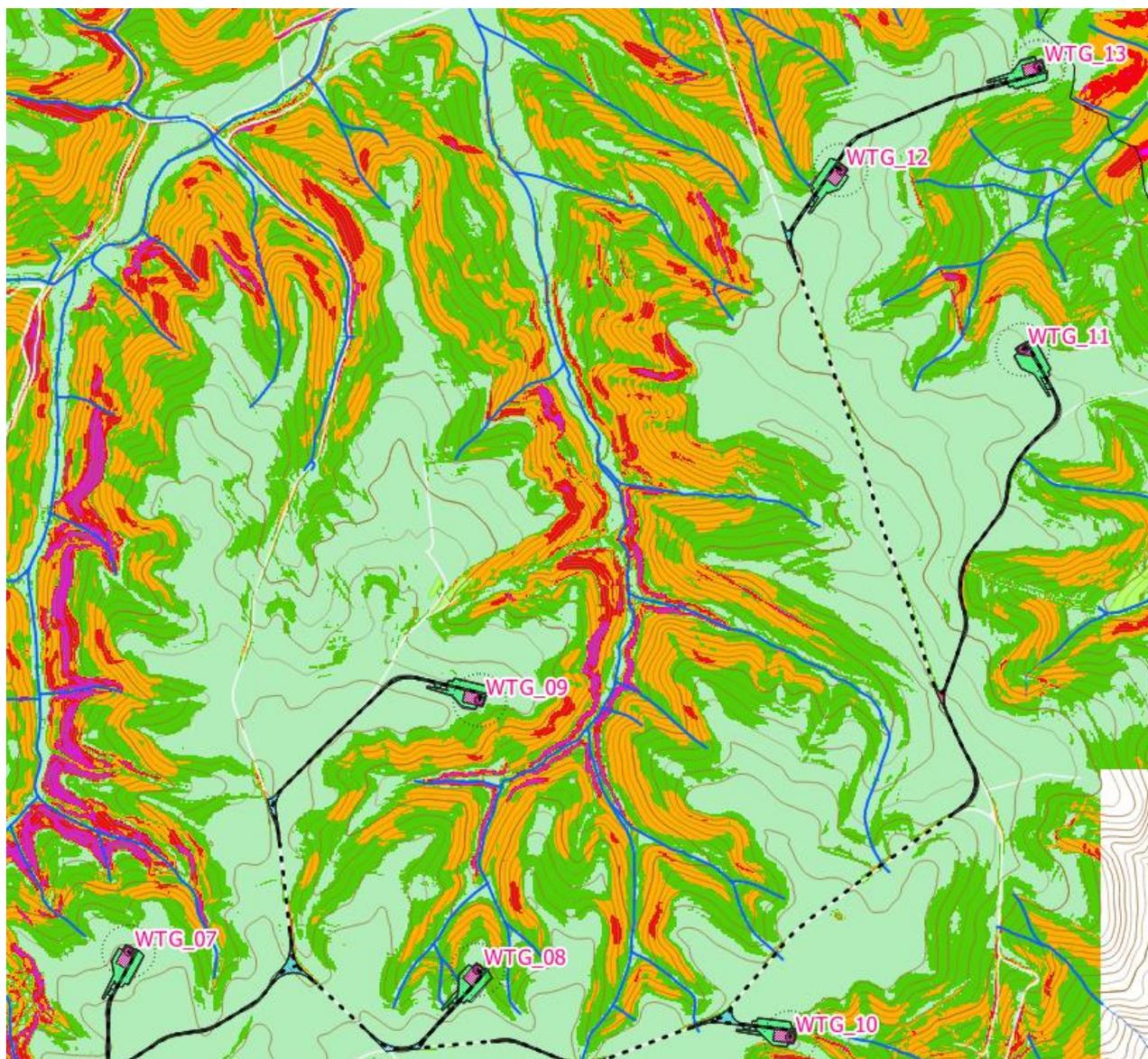
**Figura 6 – Inquadramento progettuale su cartografia geologica ufficiale.**



**LEGENDA:**

	inferiore a 200 m s.l.m.		fino a 320 m s.l.m.
	fino a 220 m s.l.m.		fino a 340 m s.l.m.
	fino a 240 m s.l.m.		fino a 360 m s.l.m.
	fino a 260 m s.l.m.		fino a 380 m s.l.m.
	fino a 280 m s.l.m.		fino a 400 m s.l.m.
	fino a 300 m s.l.m.		maggiore di 400 m s.l.m.

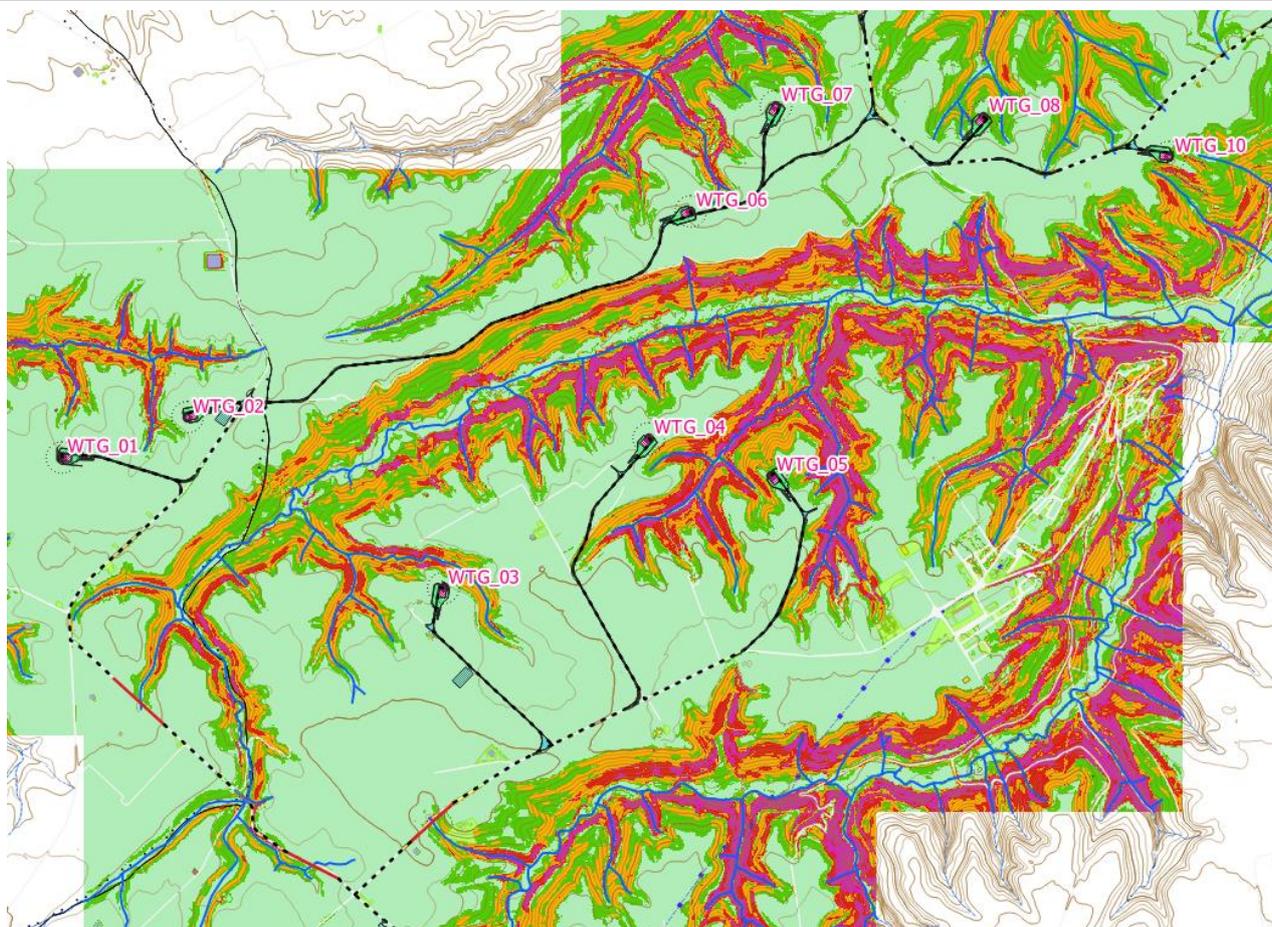
**Figura 7 – Carta del modello di elevazione digitale del terreno con ubicazione dell’impianto eolico.**



**CLASSI DI PENDENZA:**

- 0% - 10% ( $0^\circ - 5,71^\circ$ )
- 10% - 20% ( $5,71^\circ - 11,31^\circ$ )
- 20% - 35% ( $11,31^\circ - 19,29^\circ$ )
- 35% - 50% ( $19,29^\circ - 26,57^\circ$ )
- > 50% ( $> 26,57^\circ$ )

**Figura 8 – Carta clivometrica dell’area di studio con ubicazione DEL PARCO EOLICO (AREA Nord).**



**CLASSI DI PENDENZA:**

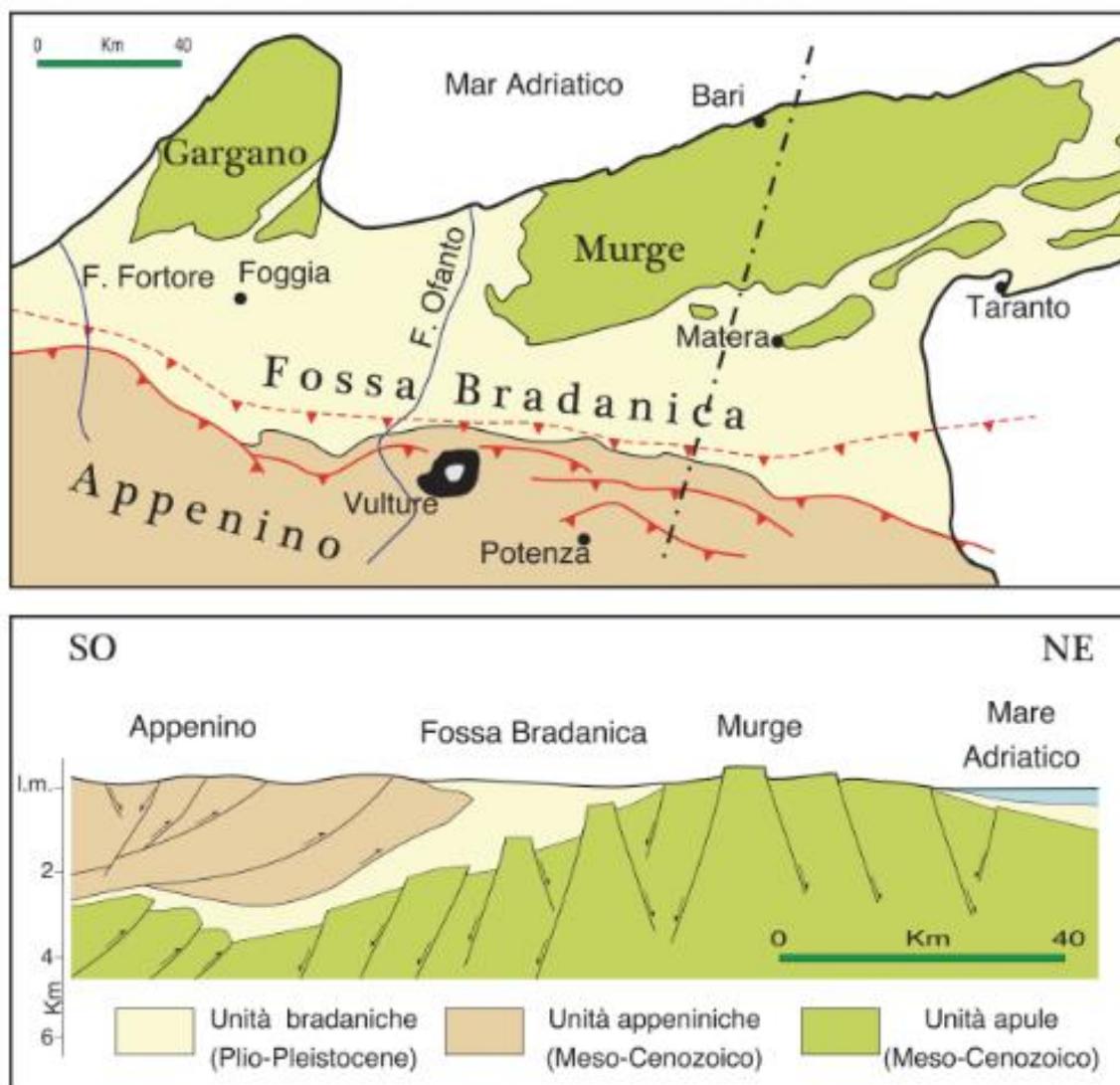
- 0% - 10% ( $0^\circ - 5,71^\circ$ )
- 10% - 20% ( $5,71^\circ - 11,31^\circ$ )
- 20% - 35% ( $11,31^\circ - 19,29^\circ$ )
- 35% - 50% ( $19,29^\circ - 26,57^\circ$ )
- > 50% ( $> 26,57^\circ$ )

**Figura 9 – Carta clivometrica dell’area di studio con ubicazione DEL PARCO EOLICO (AREA Sud).**

### 3. CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

L'area interessata dal progetto in esame si estende su un vasto altopiano delimitato a nord dalla V. dei Briganti a sud dal V. Ile Santa Maria e nella parte centrale dalla V. Cornuta.

L'altopiano in questione rappresenta, da un punto di vista geologico e morfologico, ciò che rimane dell'antica superficie di colmamento della Fossa Bradanica (Migliorini, 1937; Pieri et al., 1996), un bacino di sedimentazione plio-pleistocenico compreso tra il margine esterno della Catena Appenninica Meridionale e l'Avampaese Apulo-Garganico (Figura 10).



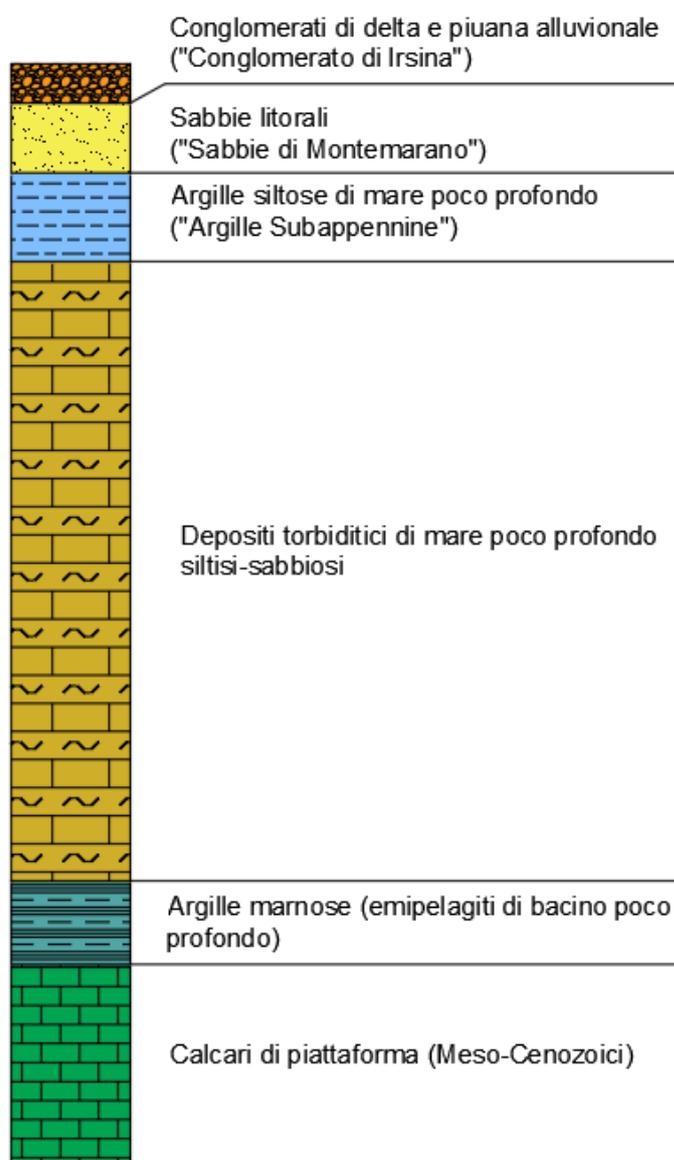
**Figura 10 – Schema geologico-strutturale del sistema Appennino meridionale - Fossa Bradanica – Avampaese Apulo.**

Il bacino bradanico è allungato in direzione NW-SE (lungo 200 Km e ampio da 15-20 fino a 50-60 km) ed è colmato da una potente successione sedimentaria essenzialmente silicoclastica, di età Plio-Pleistocenica, spessa fino a 2-3 Km.

Tale successione, in gran parte non affiorante, è stata ricostruita utilizzando dati di superficie e dati di sottosuolo, questi ultimi provenienti dall'esplorazione per ricerca di idrocarburi (Sella et al. 1988, Balduzzi et al., 1982, Casnedi et al., 1982).

Il substrato della successione della Fossa Bradanica è rappresentato dai carbonati della piattaforma apula di età Meso-Cenozoica; questi attraverso un sistema di faglie dirette formano una struttura a gradinata (sistema ad horst e graben) di cui l'altopiano murgiano rappresenta la zona di culminazione assiale (Ricchetti et al., 1980).

## SERIE STRATIGRAFICA "BRADANICA"



**Figura 11 – Serie stratigrafica della "Fossa Bradanica".**

I primi sedimenti della serie bradanica sono costituiti da argille marnose (emipelagiti di bacino poco profondo) spesse 100-150 m, di età via via più recente procedendo da ovest verso est, in conseguenza della migrazione del bacino nella stessa direzione.

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		CODE <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		PAGE 17 di/of 123

Le emipelagiti evolvono a sedimenti siltosi e sabbiosi spessi fino a 2000 m, che rappresentano depositi di bacino profondo dovuti ad un'intensa sedimentazione torbiditica. Sui depositi torbiditici poggiano altri sedimenti marini pleistocenici rappresentati da argille siltose di mare poco profondo spesse alcune centinaia di metri. Tali depositi affiorano diffusamente in tutta la Fossa Bradanica e sono noti in letteratura con il termine formazionale di "Argille subappennine".

La successione bradanica si chiude con depositi clastici (sabbie e conglomerati) di ambiente litorale (spiaggia e delta) e continentale (piana alluvionale e depositi lacustri), che testimoniano la regressione marina e la contestuale emersione dell'area iniziata nel Pleistocene inferiore (1.8 Ma); tali depositi sono noti in letteratura con i termini formazionali di "Sabbie di Montemarano" (di ambiente marino) e "Conglomerati di Irsina" (in parte di ambiente continentale).

Il bacino bradanico inizia a configurarsi nel Pliocene inferiore. Esso deve la sua formazione alla subduzione verso ovest della litosfera adriatica, un processo già attivo a partire dal Miocene inferiore (Royden et al., 1994)

Durante questa fase si ha la flessura dell'avampese apulo che subisce un'intensa fratturazione con la conseguente formazione di una struttura a gradinata (horst e graben) con settori ribassati verso ovest; si verifica, pertanto, l'ingressione marina e un progressivo approfondimento del bacino. Tale approfondimento è guidato dalla retroflessione della litosfera adriatica e dal carico litostatico della catena appenninica, il cui fronte progressivamente si sposta verso ovest sovrapponendosi agli stessi depositi di avanfossa.

A partire dal Pleistocene inferiore-medio, l'arretramento della litosfera rallenta a causa della resistenza a subdurre della spessa litosfera continentale adriatica (Doglioni et al., 1994). Inizia una fase di sollevamento regionale e di regressione marina testimoniata dalla presenza di un trend regressivo nei sedimenti della Fossa Bradanica (argille-sabbie-conglomerati).

Con il colmamento del bacino si ha l'emersione dell'intera area che da quel momento in poi non subisce deformazioni significative; ciò si riflette sull'assenza di deformazioni importanti. L'assetto geologico generale è caratterizzato da una giacitura degli strati suborizzontale o clinostratificata secondo l'originaria superficie deposizionale.

### **3.1 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO DELL'AREA INTERESSATA DAL PARCO EOLICO**

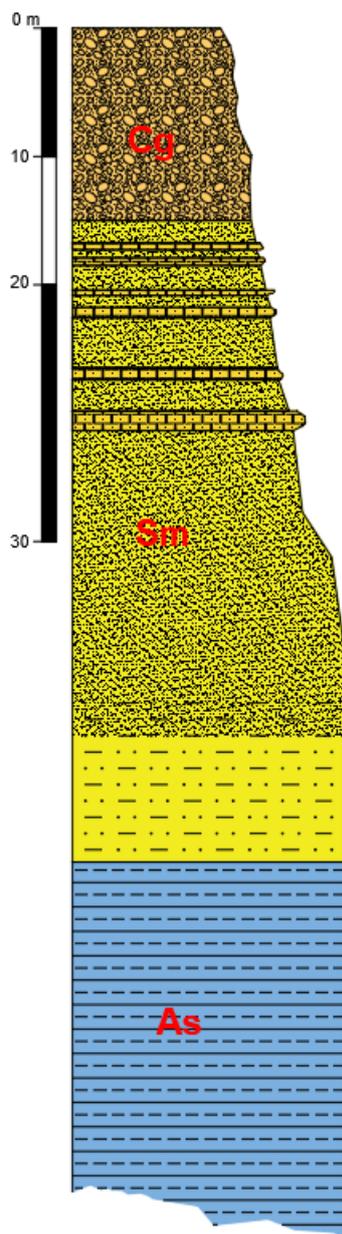
La geologia dell'area in esame è caratterizzata dalla presenza di una successione sedimentaria in facies marina e di transizione di età Plio-Pleistocenica a cui si sovrappongono localmente lembi residuali di un complesso fluvio-lacustre di età Quaternaria.

Le valli dei numerosi corsi d'acqua sono colmate da depositi alluvionali attuali e recenti che si appoggiano a tratti direttamente sui terreni del substrato Plio-Pleistocenico e a tratti sui depositi fluvio-lacustri ad esso sovrapposti.

I terreni del substrato Plio-Pleistocenico comprendono una parte basale essenzialmente argillosa ("Argille subappennine" Auct.), una parte mediana essenzialmente sabbiosa ("Sabbie di Montemarano" Auct.) ed una parte sommitale costituita da conglomerati poligenici ("Conglomerato di Irsina" Auct.).

I terreni del complesso fluvio-lacustre sono costituiti da sabbie e limi variamente intercalati che verso l'alto passano a dei travertini.

Le alluvioni di fondovalle sono costituite prevalentemente da limi argillosi e limi sabbiosi con intercalati livelli di ghiaie che in genere caratterizzano la base del complesso alluvionale.



**Figura 12 – Serie stratigrafica rilevabile all'interno dell'area in studio.**

Di seguito sono descritte le caratteristiche litologiche e d'affioramento dei terreni interessate dal progetto.

Il rilevamento geologico di superficie è stato esteso a gran parte delle superfici limitrofe a quelle di interesse ed ha permesso di riconoscere e cartografare le unità geologiche di seguito descritte a partire dalle più antiche alle più recenti.

### **Argille Subappennine [As]**

Rappresentano la base affiorante del ciclo bradanico e il bedrock impermeabile della zona in esame.

Le argille affiorano a quote basse; buone esposizioni si osservano lungo le principali valli di erosione (Valle Cornuta, Valle dei Briganti e V.ne Santa Maria).

Da un punto di vista litologico si tratta di argille ed argille sabbiose di colore grigio-azzurro. Il contenuto della frazione grossolana, che localmente può essere predominante, di norma va aumentando verso la parte alta della successione, specie in prossimità del passaggio stratigrafico con le sovrastanti sabbie, dove si rinvencono strati il cui spessore può raggiungere il metro.

Si nota, inoltre, in accordo con il significato sedimentologico e paleogeografico della formazione, una diminuzione della frazione detritica più grossolana (silt e sabbie) fino alla totale scomparsa degli interstrati e delle lenti francamente sabbiose.



**Figura 13 – Affioramento delle Argille Subappennine lungo tagli stradali in prossimità della WTG13 (area nord del parco eolico).**

### **Sabbie di Monte Marano [Sm]**

Da un punto di vista stratigrafico le sabbie seguono le argille in continuità di sedimentazione; il passaggio avviene con un progressivo aumento della frazione sabbiosa più grossolana a cui corrisponde un graduale cambio di colore, che dal grigio-giallastro passa al giallo.

Oltre alle facies sabbiose-argillose di colore giallo grigiastro e alle sabbie schiettamente di colore giallo ocra, nella parte medio-alta della formazione si rinvengono intercalazioni di livelli arenitici molto tenaci, di spessore decimetrico associati a livelli ghiaiosi.

I livelli schiettamente sabbiosi sono costituiti da granuli di quarzo, feldspati, muscovite e calcite; solo nella parte bassa della formazione si riscontra la presenza di minerali argillosi la cui frazione aumenta andando verso il basso.

La variabilità delle facies litologiche è da mettere in relazione con la paleogeografia originaria del bacino di sedimentazione; sia le intercalazioni arenitiche che quelle conglomeratiche, infatti, stanno ad indicare una zona di sedimentazione marginale.

L'insieme delle facies e la presenza di numerosi Lamellibranchi (Pecten, Clamys, ecc.) indicano chiaramente un ambiente litorale.



**Figura 14 – Affioramento delle Sabbie di Monte Marano in cui sono ben visibili strati e bancate arenacee.**

### **Conglomerato di Irsina [Cg]**

La chiusura del ciclo bradanico è rappresentata da depositi conglomeratici riferibili ad ambienti alluvionali e di transizione; tali depositi, noti in letteratura con il nome formazionale di Conglomerato d'Irsina, costituiscono la parte alta del rilievo tabulare interessato dalle opere in progetto.

I conglomerati sono separati dalle sottostanti sabbie da un contatto brusco spesso erosivo; più raramente il passaggio avviene in continuità di sedimentazione.

Da un punto di vista tessiturale i conglomerati sono clastosostenuti, con poca matrice e in genere dotati di un ottimo grado di cementazione. I clasti subarrotondati, raramente appiattiti, hanno dimensioni comprese fra 2 e 6 cm, mentre subordinati sono quelli di maggiori dimensioni; la litologia dei ciottoli è arenacea, calcarea, marnosa calcarenitica, raramente si rinvencono ciottoli di natura cristallina quali gneiss e graniti.

Intercalati ai conglomerati, sono presenti lenti di sabbia sciolta giallastra, e lenti di materiale argilloso-siltoso, in particolar modo nella parte bassa della formazione, in prossimità del passaggio con le sabbie; per contro, la parte alta della formazione è caratterizzata dalla presenza di sottili livelli di calcare evaporitico bianco e pulverulento, ovvero ghiaie rossastre debolmente cementate. Lo spessore del conglomerato è di 6 - 10 metri.



**Figura 15 – Affioramento delle Conglomerato di Irsina lungo un taglio stradale a ridosso dell'abitato di Montemilone.**

### **Alluvioni recenti ed attuali di fondo valle [b]**

Si tratta prevalentemente di limi argillosi o sabbiosi con intercalazioni di livelli ghiaiosi, di norma disposti alla base del deposito alluvionale. Questi sedimenti hanno colmato le zone di fondovalle della Valle dei Briganti, di Valle Cornuta e del Vallone S. Maria e degli affluenti minori, formando delle superfici pianeggianti reincise dagli attuali corsi d'acqua (depositi alluvionali in formazione a costituzione prevalentemente sabbioso-ghiaiosa).

#### **4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO E STABILITA' GENERALE DELL'AREA**

L'area di studio si colloca nel contesto morfologico-strutturale della Fossa Bradanica che è un'area in gran parte occupata da terreni argillosi e sabbioso-conglomeratici che costituiscono un paesaggio dalla morfologia collinare caratterizzata da rilievi, spesso isolati, e versanti di tipo tabulare a sommità pianeggiante.

La sommità degli altopiani è caratterizzata dalla presenza di sedimenti conglomeratici, sabbiosi e arenacei, come testimonianza dell'ultima azione di un mare in fase di colmamento. Tali depositi, in quest'area, sono incisi da un importante corso d'acqua, il fiume Ofanto, e da una serie di affluenti ed una rete idrografica secondaria normalmente attiva solo nella stagione piovosa.

In quest'area, il sollevamento quaternario ed il conseguente approfondimento dei corsi d'acqua, a partire dalle colline sabbioso-conglomeratiche, è stato graduale ed è testimoniato dalla presenza di lembi di terrazzi alluvionali disposti a varie quote sui fianchi delle principali valli.

I terreni che affiorano nell'area di studio, in relazione alle diverse caratteristiche litologiche e meccaniche possedute, hanno subito processi di erosione differenziata in condizioni paleoclimatiche diverse, determinando l'attuale aspetto morfologico del sito: esso si identifica con superfici per lo più pianeggianti condizionate dalla litologia degli affioramenti, più acclivi i versanti nei depositi sabbioso-conglomeratici in corrispondenza delle incisioni fluviali.

Le superfici topografiche che saranno interessate dalla realizzazione dell'impianto eolico presentano generalmente un andamento orizzontale o caratterizzato da deboli pendenze; tali superfici, comunque, si trovano ad una distanza di sicurezza dalle aree caratterizzate da pendenze più marcate.

L'area di studio è ubicata su superfici pianeggianti le cui quote si aggirano tra i 270 e 340 m s.l.m. e non sono interessate da particolari elementi morfologici. L'organizzazione planimetrica della rete idrografica è di tipo dendritico ovvero con ramificazioni ad andamento arborescente dei segmenti fluviali di ordine via via inferiore.

Le aree di studio, in ogni caso, non presentano fenomeni gravitativi in atto o potenziali superficiali e profondi per tutta la loro estensione e, tanto meno, non sono interessate da fenomeni legati all'erosione fluviale. Per tali motivi, dunque, i siti che saranno interessati dalle opere di progetto sono da ritenersi stabili, come risulta anche dall'analisi della Carta della Pericolosità Geomorfologica del PAI dell'ex Autorità di Bacino interregionale Puglia (Cfr Par. 6.1).

##### **4.1 ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' POTENZIALE DA FRANA DEI VERSANTI**

Al fine di valutare in maniera compiuta e su una scala più ampia, in riferimento all'inserimento del progetto nell'ambiente morfologico dell'area, in ottemperanza ai dettami del DPCM 29 settembre 1998 (individuazione delle aree a rischio idrogeologico), è stata condotta un'analisi in merito alla suscettibilità potenziale da frana dei versanti, il cui risultato finale è la relativa Carta della Suscettibilità Potenziale da Frana.

Si è giunti alla stima della propensione al dissesto, partendo dall'analisi dei principali fattori predisponenti, correlati ai fenomeni d'instabilità dei versanti.

La propensione al dissesto viene definita in termini di pericolosità relativa, ovvero come grado d'instabilità di un versante rispetto ad un altro, senza esprimere la probabilità di accadimento del

fenomeno, in termini assoluti né in senso temporale.

Nella valutazione diretta si applicano metodi che forniscono una descrizione in termini qualitativi della pericolosità di frana, a differenza di quella indiretta che si avvale, invece, di modelli statistici o deterministici per individuare le aree predisposte a franamento.

L'intero processo di valutazione è stato eseguito in ambiente GIS: i fattori che influenzano la suscettibilità di frana possono essere facilmente combinati con una carta della stabilità dei versanti (C. Cencetti et Al., 2010).

I metodi proposti, in letteratura, per la rappresentazione cartografica della suscettibilità, si differenziano soprattutto per le regole di decisione utilizzate. Nella presente analisi è stata considerata la proposta di P. Aleotti & R. Chowdhury (1999), che hanno classificato la procedura della Metodologia Euristica adottata come: metodo secondo il quale la suscettibilità da frana è determinata mediante la sovrapposizione di carte tematiche riportanti i fattori significativi predisponenti il dissesto.

I fattori predisponenti possono essere, essenzialmente, di due tipi (K. Terzaghi, 1950, op. cit.):

#### **Fattori interni**

- *Assetto Geostrutturale* (1. litologia, 2. pendenza dei versanti, 3. esposizione, 4. giacitura degli strati, 5. erodibilità e coltre detritica);
- *Circolazione idrica potenziale nel pendio* (6. permeabilità).

#### **Fattori esterni**

- *Clima* (7. precipitazioni piovose ed anomalie pluviometriche);
- *Azioni antropiche* (8. uso del suolo);
- *Sismicità* (9. intervalli di risposta sismica zonale).

La metodologia euristica di riferimento proposta prevede, dapprima, il raggruppamento degli elementi dei singoli tematismi, in classi, per ottenere una rappresentazione aggregata del territorio in esame; ad ogni classe viene attribuita, quindi, una magnitudo (peso), in funzione del ruolo esercitato nella produzione di un dissesto. Nelle operazioni successive, di sovrapposizione degli effetti, si effettua una combinazione (somma algebrica) delle magnitudo attribuite, fino ad ottenere un punteggio finale che rappresenta l'influenza complessiva che i fattori considerati hanno sulla stabilità del versante. Questo valore ricadrà in un intervallo definito cui corrisponderà una classe d'instabilità potenziale.

#### **Attribuzione dei pesi**

##### **Litologia**

Per litologia non s'intendono unicamente le caratteristiche della natura dei terreni (sedimentari, vulcanici, metamorfici), ma anche le caratteristiche fisico-meccaniche ad essi relative (compattezza, grado di cementazione, stratificazione e scistosità). Per l'attribuzione dei pesi si farà riferimento alle principali esperienze metodologiche riportate in bibliografia. La scala dei valori da applicare va da **1 a 10**; i valori più bassi corrispondono ai termini litologici più resistenti, compatti, poco alterati, mentre quelli più alti ai termini litologici più fragili, alterabili e sciolti (cd *erodibili*).

In Tabella sono indicati i pesi concernenti le più comuni classi litologiche (*Linee Guida P.A.I. - Attività d'individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia - Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato LL.PP., Cagliari, 2000*).

Descrizione litologica	Peso
Graniti, grandioriti massicci privi di copertura ed alterazione.	1
Basalti, dolomie, dolomie calcaree e calcari dolomiti, gneiss massicci e con giunti di fratturazione radi.	2
Rioliti massicce, trachiti, fonoliti, calcari, calcari marnosi, anfiboliti, ignimbriti.	3
Alluvioni prevalentemente sabbiose.	4
Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali degli alvei fluviali, alluvioni ghiaiose antiche e terrazze, depositi alluvionali prevalentemente <i>limoso-argillosi</i> , gneiss con elevata densità di giunti di fratturazione, andesiti.	5
Depositi lagunari, lacustri e palustri, marne, calcescisti, micascisti ed argilloscisti	6
Sabbie, anche grossolane con livelli ghiaiosi ed intercalazioni di arenarie, arenarie, arenarie conglomeratiche, tufi, tufi conglomeratici	7
Depositi argillosi, sabbie eoliche, graniti, grandioriti alterati con potenti coperture di sabbioni arcocici.	8
Detrito di falda, con detritici e conoidi di deiezione.	9
Roccia incoerente a struttura caotica ( <i>argille scagliose</i> ).	10

### Pendenza dei versanti

La pendenza dei versanti è un fattore molto importante in quanto maggiore è l'inclinazione di un pendio, maggiore è la tendenza al dissesto per effetto della gravità e dell'azione degli agenti atmosferici, senza la protezione della vegetazione che non riesce ad insediarsi. Si può ritenere che le classi di pendenza siano cinque, considerando che le pendenze locali, superiori a 35°, risultano caratterizzate, generalmente, da substrato roccioso coerente affiorante (assenza, cioè, di copertura) o, addirittura, interessate da versanti instabili come i complessi rocciosi falesici (attivi o passivi: granitici, calcarei, arenacei ovvero arenitico argillosi). In Tabella sono indicati i pesi relativi, compresi nella scala di valori da 1 a 10.

Descrizione acclività	Peso
Classe: 0% ÷ 10% Terreni pianeggianti	2
Classe: 11% ÷ 20% Terreni a bassa pendenza	4
Classe: 21% ÷ 35% Terreni a media pendenza	6
Classe: 36% ÷ 50% Terreni a forti pendenza	8
Classe: > 50 % Terreni a fortissima pendenza	10

### Pendenza dei versanti

L'esposizione influisce sui processi di trasformazione dei versanti, in quanto i versanti esposti a nord sono quelli più freddi ed umidi (con cicli giornalieri, non solo stagionali), mentre quelli esposti a sud hanno condizioni più miti. I parametri connessi a tale fattore, come l'esposizione alla luce solare ed all'essiccazione dei terreni dovuta ai venti, sono strettamente legati al grado di umidità dei terreni. Nella successiva tabella si riporta la classificazione in base all'esposizione dei versanti. In essa sono indicate 8 classi più una classe, speciale, per le aree di pianura (senza esposizione).

Descrizione esposizione	Peso
Nord	1,1
Nord Est (immersione 315° N)	2,3
Est (immersione 270° N)	3,4
Sud Est (immersione 225° N)	4,5
Sud (immersione 180° N)	5,6
Sud Ovest (immersione 135° N)	6,8
Ovest (immersione 90° N)	7,9
Nord Ovest (immersione 45° N)	9
Aree di pianura	10

### Giacitura degli strati

Tramite la definizione degli angoli  $\varphi$  (pendenza od inclinazione reale degli strati) ed  $\alpha$  (angolo fra la direzione di immersione degli strati e la direzione di massima pendenza del pendio), i rapporti angolari esistenti fra pendio e stratificazione vengono raggruppati in 10 classi significative a descrivere il reale contributo dell'assetto geologico alla stabilità del pendio stesso. Per l'attribuzione dei pesi, di cui alla successiva tabella, si è considerata la condizione più sfavorevole per la stabilità di un pendio, quella relativa ad una stratificazione a franapoggio o traverpoggio, cioè con strati che immergono con angoli più o meno acclivi, nella direzione del pendio stesso, con potenziale possibilità di scivolare graviticamente sul suo substrato (Ufficio Cartografico Regione Emilia Romagna, G. Riga, 2008).

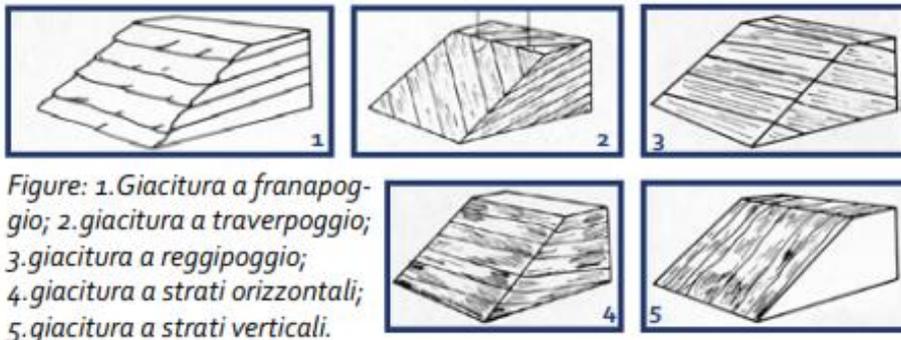


Figure: 1. Giacitura a franapoggio; 2. giacitura a traverpoggio; 3. giacitura a reggipoggio; 4. giacitura a strati orizzontali; 5. giacitura a strati verticali.

Descrizione giacitura	Peso
Strati a reggipoggio e rocce massive prive di stratificazione e terrazzi alluvionali.	1
Strati orizzontali ( $\varphi = 0^\circ \div 5^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ \div 30^\circ$ ed $\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$ ).	2
Strati a franapoggio ( $60^\circ < \varphi < 85^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ \div 60^\circ$ ed $\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$ ).	3
Strati verticali ( $\varphi = 85^\circ \div 90^\circ$ )	4
Strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ \div 30^\circ$ ed $\alpha = 10^\circ \div 60^\circ$ )	5
Strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ \div 60^\circ$ ed $\alpha = 10^\circ \div 60^\circ$ )	6
Strati a franapoggio ( $5^\circ < \varphi < 30^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ \div 30^\circ$ ed $\alpha = 0^\circ \div 10^\circ$ )	7
Strati a reggipoggio con fessurazione a franapoggio	8
Strati a franapoggio ( $30^\circ < \varphi < 60^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ \div 60^\circ$ ed $\alpha = 0^\circ \div 10^\circ$ )	9
Strati fortemente piegati, fratturati, rovesciati e con giacitura caotica.	9,5
Unità litologiche prive di stratificazione ed in condizioni di massima caoticità ed eterogeneità	10

### **Erodibilità e coltre detritica**

Uno dei parametri che riveste particolare importanza risulta essere lo spessore di suolo (inteso come spessore della coltre detritica superficiale), in quanto è una variabile cruciale nella descrizione dei processi di infiltrazione d'acqua nei versanti.

Nella costruzione di questo parametro si è, pertanto, considerata l'erosività, ossia la degradabilità delle rocce e dei depositi sciolti; nel caso di questi ultimi, si è tenuto conto del grado di compattazione e cementazione dei materiali.

- **Erodibilità bassissima** (spessore della coltre detritica 0 m) - appartengono a questa classe le rocce coerenti eruttive e metamorfiche con elevate resistenze meccaniche (a pioggia, vento e movimenti di massa) e poco fratturate: graniti, porfidi, basalti, trachiti, tefriti e gneiss.
- **Erodibilità bassa** (spessore della coltre detritica 0 m ÷ 0,5 m) - sono quivi raggruppate le rocce carbonatiche con percentuali di carbonati superiori al 65%: calcari, calcari dolomitici, calcari marnosi, calcari metamorfici, calcareniti, brecce, conglomerati, puddinghe e travertini.
- **Erodibilità media** (spessore della coltre detritica 0,5 m ÷ 1,5 m) - in tale classe sono riunite le rocce clastiche compatte e coerenti (cd rocce tenere): arenarie, tufi vulcanici litoidi, conglomerati non carbonatici cementati, con spessori della coltre minori per pendenze minori del versante ( $s \approx 1,01 - 0,85 \tan \phi$ ).
- **Erodibilità medio-alta** (spessore della coltre detritica 1,5 m ÷ 2 m) - il gruppo comprende le rocce metamorfiche alterabili in "argille", rocce stratificate e scistose, con intercalazioni argillose o degradabili in "argille": filladi, gneiss filladici, scisti s.l., argilliti, flysh arenaceo-marnosi o arenaceo-argillosi.
- **Erodibilità alta** (spessore della coltre detritica 2 m ÷ 4 m) - l'insieme comprende le rocce argillose od a cemento argilloso, pseudocoerenti, con percentuali di carbonati inferiori al 35%: argille, argilliti, marne argillose, "terre rosse", terreni eterogenei a struttura complessa a prevalente componente argillosa, galestri, scisti galestrini.
- **Erodibilità altissima** (spessore della coltre detritica > 4 m) - la classe riunisce tutte le rocce clastiche incoerenti: cataclasiti (dolomie arenizzate, farinose, eccetera), ghiaie, sabbie limi, detriti di falda, morene sabbiose, sabbioni da disfacimento dei graniti, tufi e depositi piroclastici incoerenti, depositi di conoide, depositi lacustri e palustri, brecce di pendio incoerenti, depositi di colmata per bonifica, discariche, cumuli di frana.

<b>Descrizione erodibilità - coltre detritica</b>	<b>Peso</b>
Bassissima	<b>1,5</b>
Bassa	<b>3,5</b>
Media	<b>5,0</b>
Medio-Alta	<b>6,5</b>
Alta	<b>8,5</b>
Altissima	<b>10</b>

### **Permeabilità**

La permeabilità, sia delle rocce coerenti che di quelle incoerenti, è un fattore di importanza fondamentale in quanto le sovrappressioni interstiziali che si formano, in tali materiali sono fortemente

destabilizzate. È stata costruita la tabella della permeabilità delle rocce. Per l'attribuzione dei pesi, si sono raggruppate le varie litologie in quattro macroclassi.

Descrizione permeabilità	Peso
<b>Scarsa:</b> graniti, sieniti, dioriti, gabbri, porfidi, trachiti, lipariti, fonoliti, porfiriti, andesiti, basalti, tefriti, leucititi, rocce argillose, argilloscisti, terre rosse, gneiss micascisti, quarziti, filladi, anfiboliti, talcoscisti.	<b>2,5</b>
<b>Mediocre:</b> dolomie, marne arenarie, tufi cementati, pomici, flysh ( <i>alternanza di argille e arenarie, argille e calcari</i> ).	<b>5</b>
<b>Buona:</b> morene e depositi glaciali, coltri eluviali e colluviali limoso sabbiose frammiste a ghiaia, conglomerati, breccie, sabbioni e sabbie cementate.	<b>7,5</b>
<b>Elevata:</b> tufi incoerenti, pozzolane, lapilli, rocce calcaree ( <i>c. dolomitiche e c. marnose</i> ), dune e depositi sabbiosi eolici, calcareniti, breccie calcaree, calcari organogeni, gessi, salgemma, sabbie, limi, ciottoli di depositi alluvionali di origine fluviale, lacustre o palustre, con di deiezione, falde e con di detrito, terrazzi fluviali.	<b>10</b>

### Precipitazioni piovose ed anomalie pluviometriche

L'aggressività climatica esterna, connessa alle precipitazioni piovose, rappresenta sicuramente uno dei fattori più importanti nella valutazione della suscettibilità di frana di un pendio. Con lo scopo di individuare una correlazione di facile applicazione fra piogge e soglie di potenziale innesco di dissesto, adatta alla realtà del territorio nazionale, si è scelto l'indice di Fournier, così come modificato da H.M.J. Arnoldus nel 1977 (FFAO), ricavabile dalla seguente relazione:

$$F_{FAO} = \frac{(\sum_{i=1}^{12} P_i^2)}{P}$$

dove:

P [mm] = precipitazione media annua;

pi [mm] = precipitazione media del mese i-esimo.

In letteratura si è evidenziato come FFAO sia molto ben correlato con l'insorgenza e/o la riattivazione di dissesti idrogeologici ed è, quindi, in grado di fornire una valutazione sintetica della potenzialità di accadimento (Scrinzi et Al., 2006). Per la definizione dei pesi, pertanto, sono state utilizzate tre classi in funzione delle soglie proposte dallo Scrinzi (op. cit.).

Descrizione aggressività climatica piovosa (1/2)	Peso
$F_{FAO} < 100$	<b>3</b>
$100 < F_{FAO} < 150$	<b>6,5</b>
$F_{FAO} > 150$	<b>10</b>

Un indice pluviometrico utilizzato all'interno di modelli di previsione della suscettibilità al rischio frana,

per essere effettivamente funzionale, non deve tenere conto solo della semplice precipitazione media annuale e, eventualmente, del suo valore medio mensile, ma anche e principalmente della precipitazione giornaliera e delle anomalie legate all'evento. All'uopo si è pensato di utilizzare, quindi, l'indice di anomalia pluviometrica FAP, che si basa sul rapporto tra la differenza dei valori di precipitazioni di massima intensità (espressa in millimetri), nelle prime 3 ore e nelle successive 24 ore, normalizzati sui valori di pioggia giornaliera, di serie storiche di dati (n=30 anni). La formula, come scritta qui di seguito, rappresenta la media dei valori ( $I_a$ ) calcolati per ogni singolo evento, in una determinata stazione pluviometrica (G. Manzo, 2010):

$$I_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(h_{(\max 24)_i} - h_{(\max 3)_i})}{h_{(\max 24)_i}} \right]$$

dove:

$I_a$  = indice di Anomalia Pluviometrica;

n = numero di eventi analizzati in una data stazione pluviometrica;

$h_{\max 24}$  = valori di precipitazioni di massima intensità e breve durata nelle 24 ore;

$h_{\max 3}$  = valori di precipitazioni di massima intensità nelle 3 ore.

Per la definizione dei pesi, quindi, da mediare (media aritmetica), con quelli ottenuti dalla precedente Tabella, sono state utilizzate tre classi in funzione dell'indice di anomalia pluviometrica.

Descrizione aggressività climatica piovosa (2/2)	Peso
$0 < I_a < 0,42$	3
$0,52 < I_a < 0,80$	6,5
$0,42 < I_a < 0,52$	10

### Uso del suolo

La presenza di una copertura vegetale costituisce una protezione della superficie del terreno dall'azione degli agenti atmosferici ed un'azione di consolidamento, esercitata dall'apparato radicale. Un bosco ad alto fusto è, generalmente, un impedimento al dissesto idrogeologico (massima impedenza) mentre, invero, un terreno lavorato stagionalmente, arato con sistemazione ad esempio a "rittochino" è uno scarso impedimento all'erosione ed all'instabilità del pendio (impedenza minima o nulla). Nella successiva tabella si riportano, pertanto, le classi di uso del suolo che si ritengono presenti, generalmente, sul territorio nazionale; ad ogni classe è stato attribuito un peso, secondo le principali esperienze metodologiche riportate in bibliografia (Linee Guida PAI, R. Sardegna, op. cit.). Le classi relative all'uso antropico (tessuto urbano ed aree industriali) sono state genericamente valutate con peso relazionato alla scala dello studio senza poter considerare particolari situazioni locali; alle aree estrattive è stato riconosciuto un ruolo di degrado (in quanto modificano le condizioni di stabilità); alle reti stradali è stato attribuito un valore di impedenza minima, in quanto l'intaglio stradale è comunque un fattore di disturbo delle condizioni naturali. Nella stessa tabella sono indicati i valori di impedenza ed i pesi ad essi corrispondenti, secondo la nomenclatura descrittiva d'uso del suolo del Corine Land Cover (M. Bossart et Al., 2000).

Descrizione uso del suolo	Peso
Impedenza massima: boschi di latifoglie, di conifere e boschi misti	2
Impedenza buona: brughiere, cespuglieti, aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	4
Impedenza mediocre: tessuto urbano continuo o discontinuo, aree industriali e commerciali, aeroporti, frutteti, prati stabili, aree a pascolo naturale e prateria d'alta quota.	6
Impedenza minima: reti stradali, ferroviarie e spazi accessori, aree in costruzione, sistemi colturali particellari complessi, ed aree con vegetazione rada.	8
Impedenza nulla: aree estrattive, seminativi in aree non irrigue, vigneti, aree prevalentemente occupate da colture agrarie, spiagge, dune, sabbie, rocce nude, falesie, rupi ed affioramenti, paludi, corsi d'acqua, canali, idrovie e bacini d'acqua.	10

#### **Intervalli di risposta sismica zonale**

Gli effetti dei sismi sulla stabilità di un pendio possono essere, essenzialmente, di tipo diretto (crollo e liquefazione) ovvero indiretto.

I primi determinano frane, direttamente, in corrispondenza sincrona all'evento sismico (con riattivazione di eventuali fenomeni preesistenti); i secondi, invece, si manifestano con un ritardo temporale variabile che può andare da alcune ore a giorni rispetto all'accadimento dell'evento. Uno degli effetti diretti di una frana da crollo, anche di dimensioni modeste, può provocare l'innescò di fenomeni franosi di dimensioni maggiori: l'accumulo rapido di materiale sopra depositi detritici o sabbioso-limosi sciolti prossimi alla saturazione, infatti, può determinare -ad esempio- l'attivazione, rispettivamente, di colate di detrito (debris flow) o di colate rapide di terra (flow slide).

In materiali coesivi possono essere riattivate frane preesistenti di scivolamento o colamento per meccanismi di carico non drenato innescati dal crollo (Hutchinson & Bhandari, 1971). Un altro degli effetti diretti del sisma, che assume particolare importanza in presenza di materiali granulari sciolti saturi, è il fenomeno della liquefazione dinamica.

Gli effetti indiretti generalmente determinano la riattivazione di frane preesistenti, anche di considerevoli dimensioni, in materiali coesivi, per effetti del carico ciclico sul regime delle pressioni interstiziali. Alcune ricerche (Sassa, 1992) hanno mostrato che l'applicazione di rapide deformazioni cicliche in speciali apparecchiature di taglio torsionale determinano in alcuni tipi di materiali coesivi una progressiva diminuzione della resistenza al taglio residua dopo un picco iniziale. Tale comportamento può spiegare il ritardo fra la scossa sismica e la riattivazione delle frane. I principali effetti consistono nella contemporanea coesistenza di un incremento delle forze destabilizzanti ed una riduzione delle azioni resistenti dovute all'applicazione transitoria di una forza d'inerzia orizzontale (applicata al centro di massa), data dal prodotto fra il peso della massa potenzialmente instabile ed il coefficiente di accelerazione sismica zonale. Come correlazione tra le soglie di innescò potenziale di fenomeni franosi legati alla sismicità della zona, si sono determinati i pesi in termini proporzionali ai parametri di risposta sismica zonale, ossia agli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, attribuiti alle 4 zone sismiche, secondo le quali è stata suddivisa l'Italia, secondo lo studio di

pericolosità di riferimento Nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM 3274/03, adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006.

Descrizione aggressività sismica zonale	Peso
Zona 4	1,5
Zona 3	4
Zona 2	8
Zona 1	10

### Classi di instabilità potenziale

Sulla base della considerazione dei fattori descritti nelle pagine precedenti e delle esperienze metodologiche, si definiscono le classi di instabilità potenziale dei versanti a cui corrispondono intervalli di valori (Pesi P), derivati dalle operazioni metodologiche previste. I pesi ( $p_i$ ), così individuati, vengono sommati, algebricamente, fra loro, per individuare la predisposizione al potenziale danno dell'area esaminata ( $\Sigma p_i$ ).

Per comodità interpretativa di scala, i risultati ottenuti dalla somma sono ricondotti ad una scala da 0 a 10, cioè il risultato algebrico è moltiplicato per 10 e diviso per la somma dei valori massimi dei pesi ( $\Sigma p_{\max} = 90$ ):

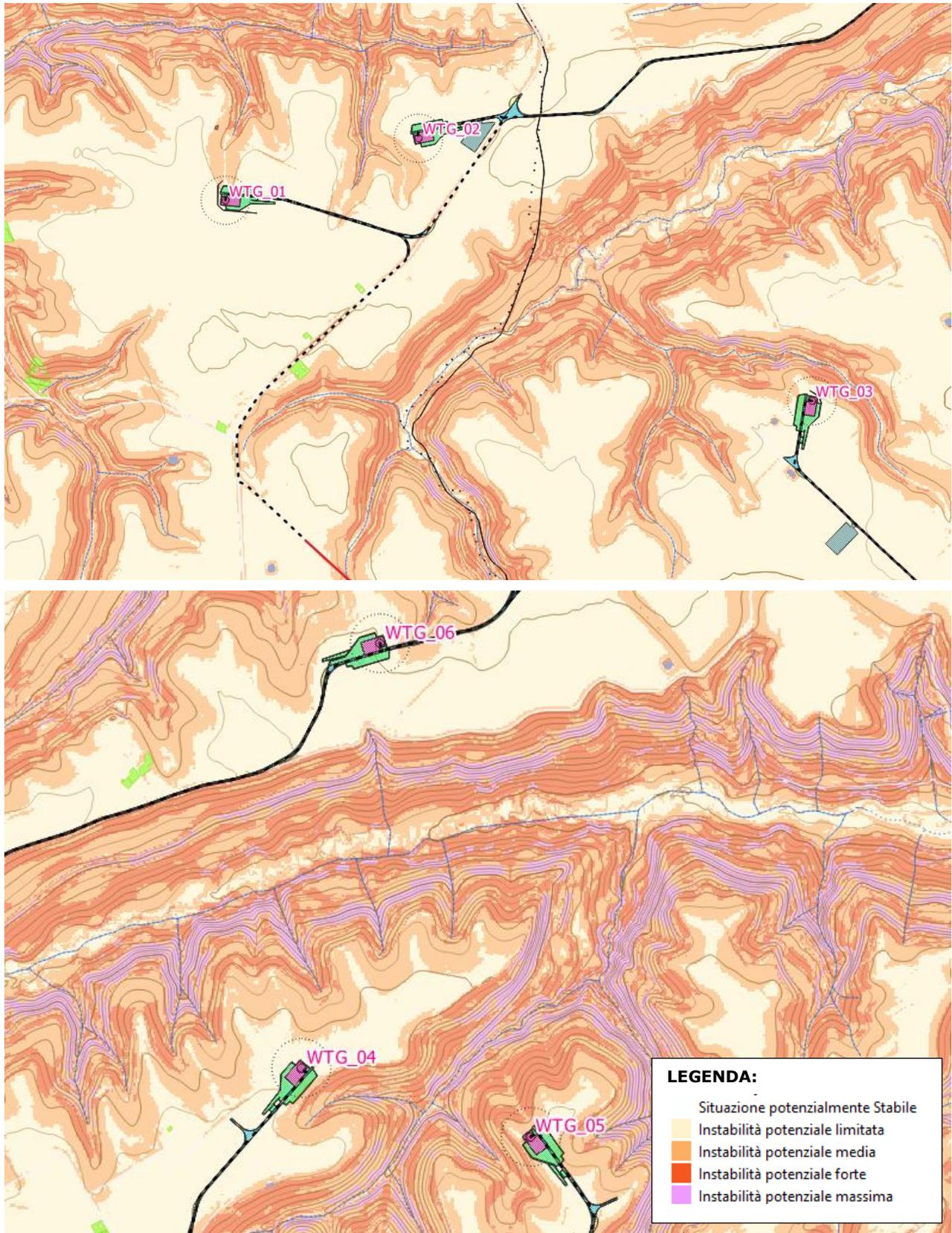
$$P = \frac{10 \cdot \sum_{i=1}^9 p_i}{90}$$

Si propongono 5 classi di instabilità potenziale, con valore decrescente di gravità; la classe di maggiore instabilità è quella corrispondente a valori più alti dei pesi (ridotte quindi sono le qualità dei fattori considerati) mentre un pendio stabile è rappresentato dai valori più bassi (i fattori che contribuiscono hanno buone caratteristiche di tenuta).

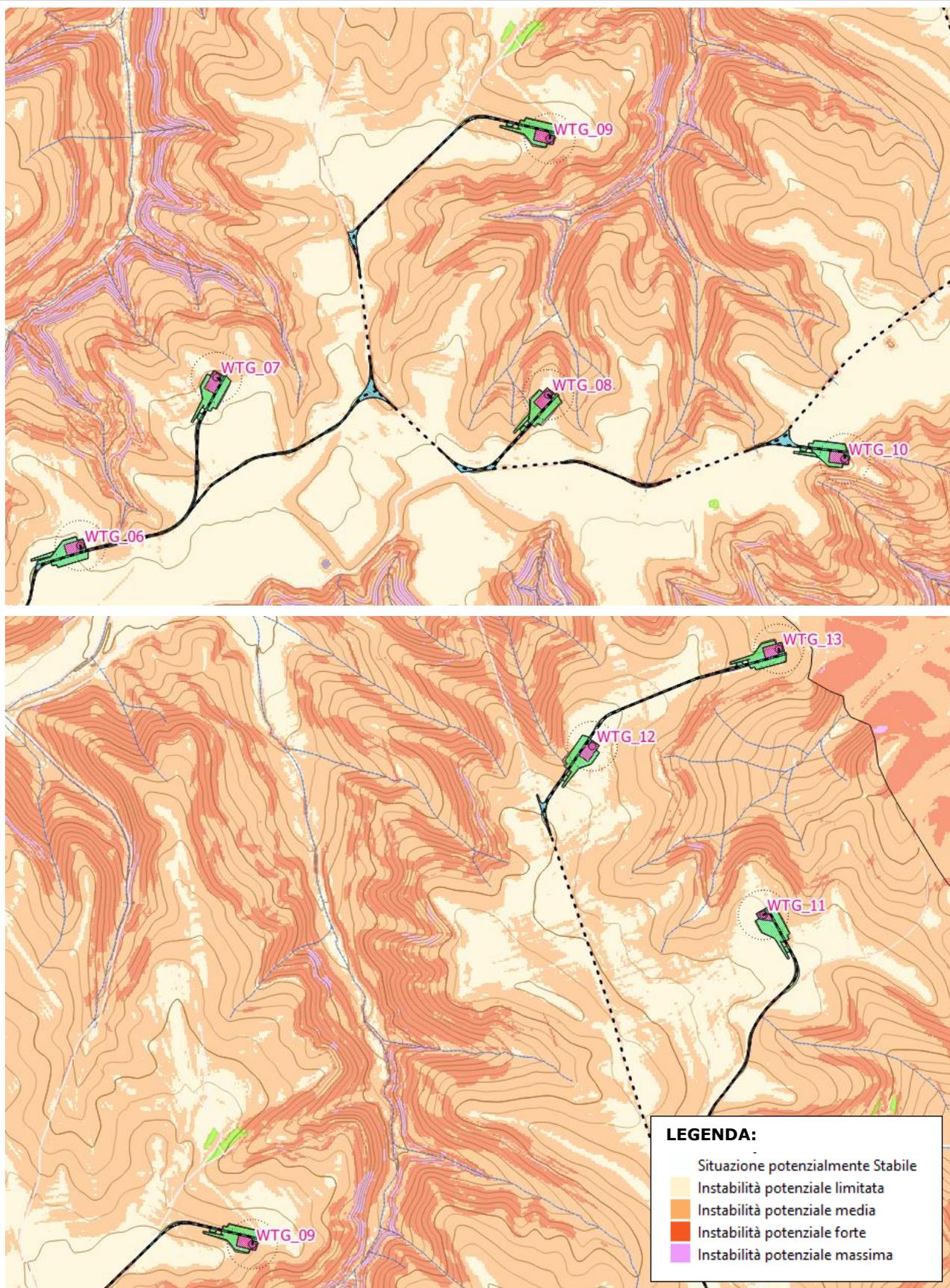
Classe di instabilità	Descrizione	Pesi	
		da	a
1	Situazione potenzialmente stabile	0	2
2	Instabilità potenziale limitata	2	4
3	Instabilità potenziale media	4	6
4	Instabilità potenziale forte	6	8
5	Instabilità potenziale massima	8	10

Sulla base delle analisi eseguite, si rileva che tutti gli aerogeneratori ricadono in aree ad "Instabilità potenziale limitata".

Le figure seguenti mostrano nel dettaglio la carta della suscettibilità potenziale da frana dei versanti per le aree di progetto.



**Figura 16 – Carta della suscettibilità potenziale da frana dei versanti.**



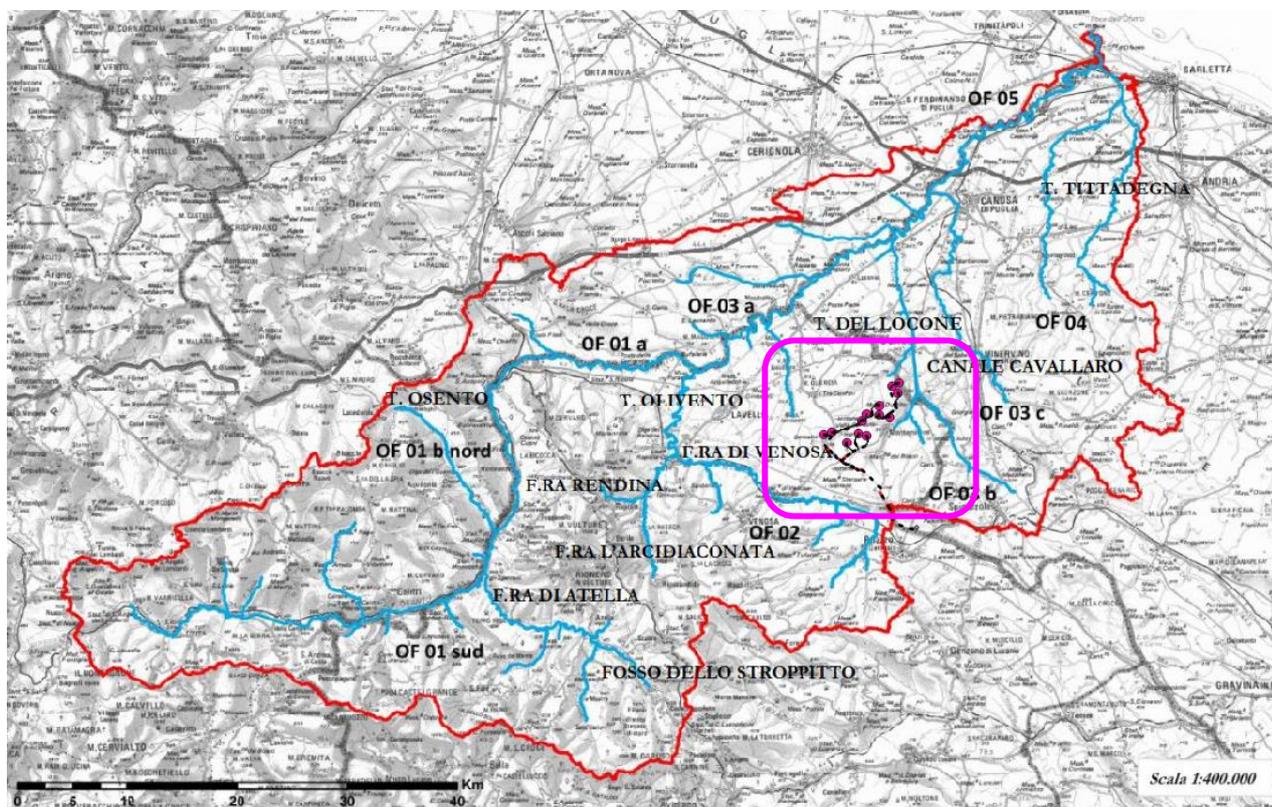
**Figura 17 – Carta della suscettibilità potenziale da frana dei versanti.**

## 5. ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 5.2 ASSETTO IDROLOGICO E BACINI IDROGRAFICI

L'area in studio ricade interamente all'interno del macro-bacino idrografico del Fiume Ofanto.

Il Fiume Ofanto, di natura pluviale, ha un regime di acque accentuatamente torrentizio, quindi una portata molto variabile in funzione delle condizioni climatiche e di piovosità del periodo temporale con una portata media alla foce di 15 mc/s. Durante il suo percorso accoglie diversi affluenti: piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio tra i quali si annoverano, relativamente all'apporto significativo di volumi di acque, in Basilicata, la Fiumara di Atella ed il torrente Locone in Puglia.



**Figura 18 – Bacino idrografico del Fiume Ofanto con localizzazione dell'area in studio**

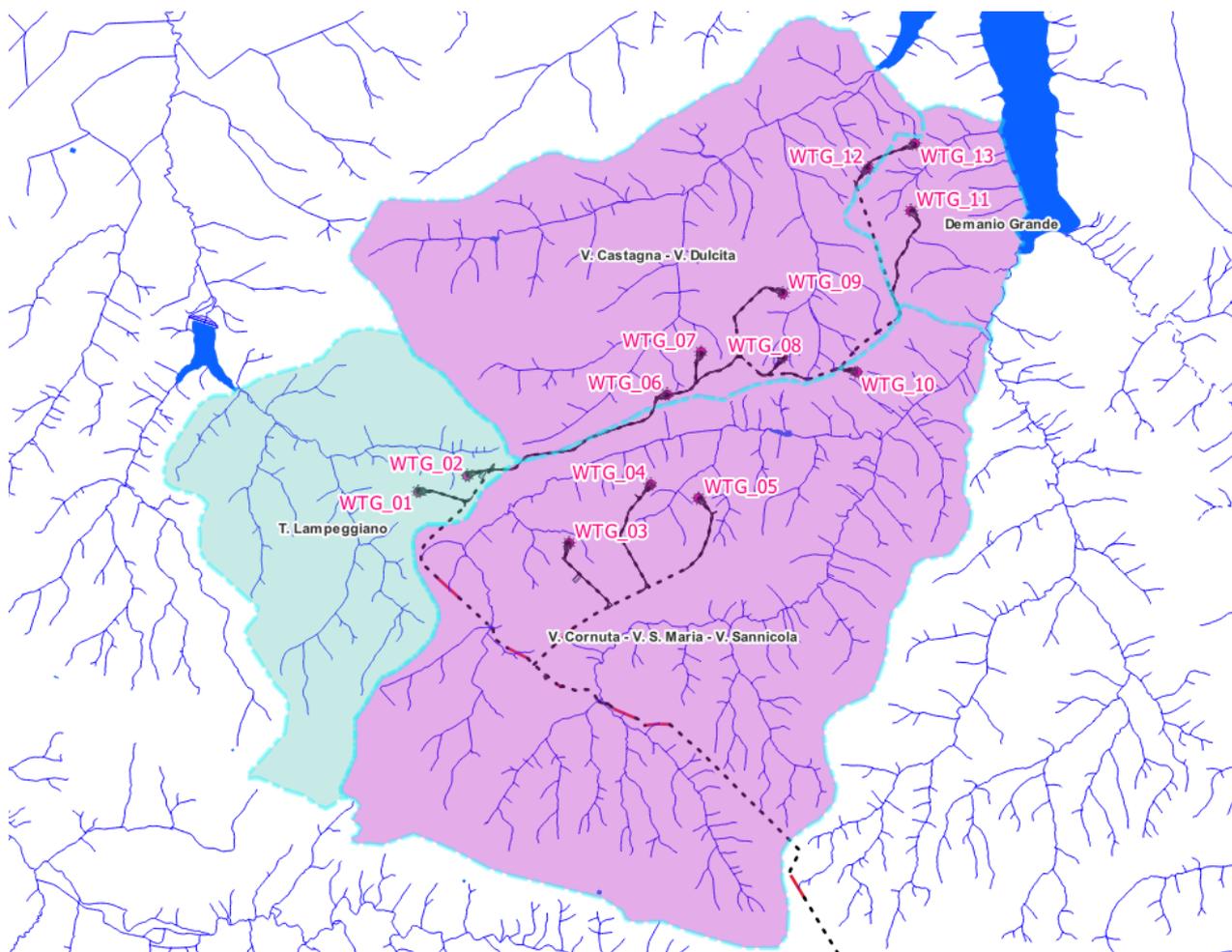
L'area oggetto di studio ricade nell'ambito di due sottobacini del Bacino del Fiume Ofanto:

- **il sottobacino del torrente Locone** che ha origine nel comune di Spinazzola: esso delimita il confine amministrativo tra i comuni di Spinazzola e Montemilone a sinistra e di Minervino Murge a destra, fino allo sbarramento della diga del Lago Locone. A valle della diga il fiume attraversa Minervino e Canosa di Puglia per sfociare alla destra del fiume Ofanto nei pressi della Masseria Locone. Un tributario molto importante è il Loconcello.
- **Il sottobacino del Torrente Lampeggiano** che ha origine in località Perillo Soprano, nel Comune di Montemilone, seguendo un andamento circa N-S sino allo sbarramento dell'invaso del Lampeggiano. A valle della diga prosegue il suo percorso sfociando in destra idrografica del Fiume Ofanto.

L'impianto eolico si sviluppa nella porzione di testata del dei suddetti bacini, i quali possono essere a loro volta suddivisi in ulteriori sotto-bacini. La tabella seguente evidenzia i bacini di pertinenza delle singole torri. L'assetto idrografico nel dettaglio è mostrato in figura 19.

BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO	SOTTOBACINO	SOTTOBACINO DI DETTAGLIO	AEROGENERATORI
OFANTO	T. Locone	V. Castagna - V. Dulcita	WTG1, WTG2
OFANTO	T. Locone	V. Cornuta - V. S. Maria V. Sannicola	WTG6, WT7, WT8, WT9, WTG12
OFANTO	T. Locone	Demanio Grande	WTG13, WTG11
OFANTO	T. Lampeggiano	T. Lampeggiano	WTG1, WTG2

**Tabella 2: Bacini idrografici dell'area in studio.**



**Figura 19 – Bacini idrografici individuati nell'area in studio.**

In generale il pattern del reticolo idrografico risulta poco ramificato con aste di I e II ordine.

I fossi risultano a luoghi molto incisi e le valli hanno una tipica forma a "V" in corrispondenza dei depositi conglomeratici e sabbioso più cementati ed una forma ad "U" in corrispondenza dei depositi sabbioso-limosi ed argilloso sottostanti.

### **5.3 ASSETTO IDROLOGEOLOGICO**

Dal punto di vista della circolazione idrica sotterranea l'area di studio ricade nel dominio strutturale della Fossa bradanica, dominato dalla presenza di un potente substrato impermeabile costituito dalla formazione delle argille grigio-azzurre, localmente sabbiose, a cui si sovrappongono localmente terreni marini e alluvionali permeabili per porosità.

Tale situazione stratigrafica, associata alla scarsa fratturazione delle rocce e a contatti stratigrafici suborizzontali, determina l'esistenza di due importanti tipi di acquiferi.

Il primo acquifero è presente nei depositi conglomeratici riferibili alla F.ne del Conglomerato di Irsina, caratterizzato da permeabilità media ed affioranti in corrispondenza dei principali rilievi collinari.

Dalla letteratura i depositi conglomeratici ed i sottostanti depositi sabbiosi, sono caratterizzati da un valore di permeabilità compreso tra  $10^{-1}$  e  $10^{-4}$  cm/sec.

Aumenti del valore di permeabilità si possono avere nei conglomerati in presenza di fratturazioni.

Il secondo acquifero si identifica con quelli presenti nei depositi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene, caratterizzati da una buona permeabilità per porosità.

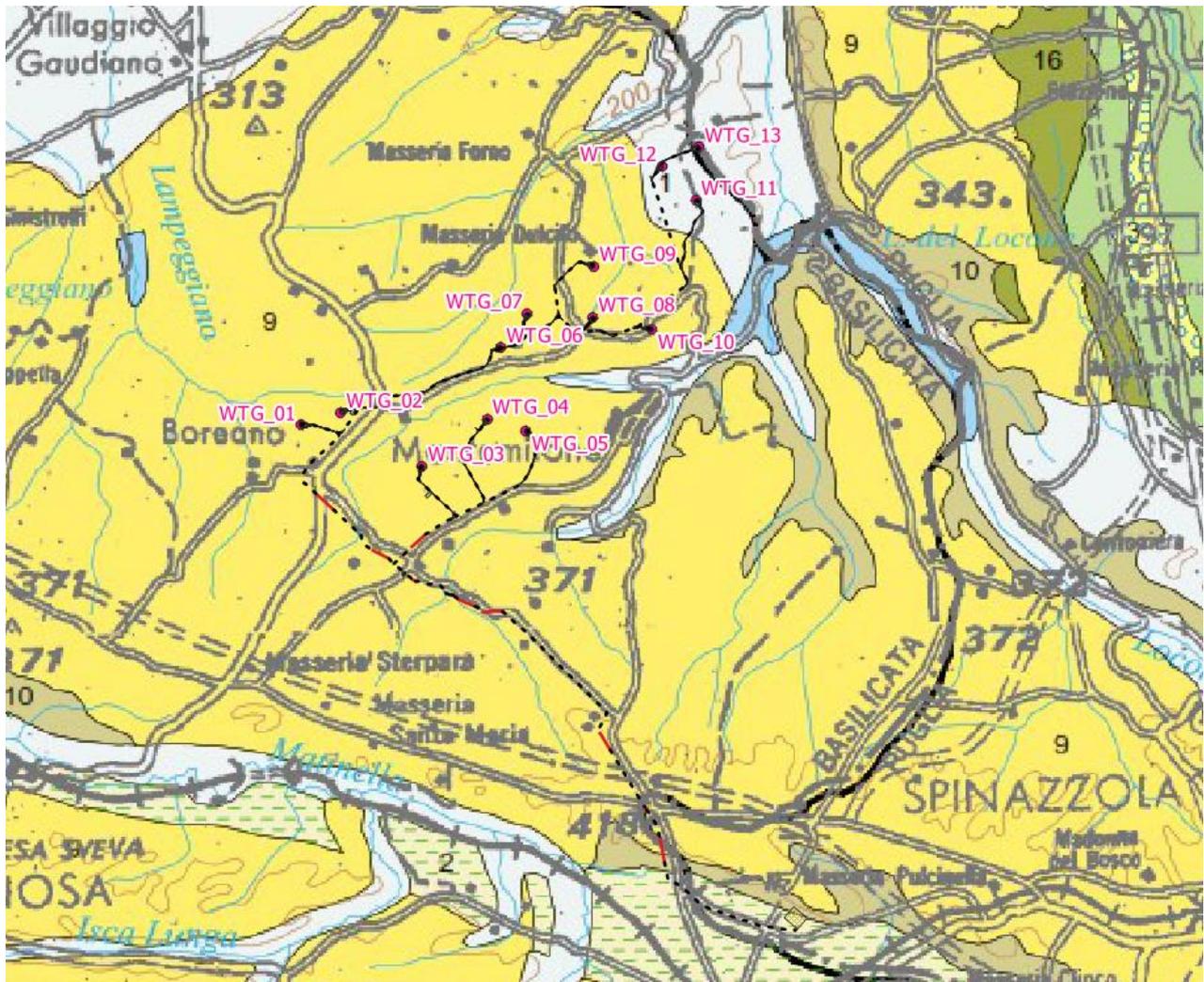
Appartengono a questo gruppo anche i depositi fluvio-lacustri. Tali acquiferi sono in genere monostrato, a superficie libera, di spessore, estensione ed importanza variabile in funzione della geometria e della granulometria del deposito; in questo caso, le risorse idriche disponibili sono funzione dello spessore del materasso alluvionale, che si aggira intorno ai 40 metri, e delle precipitazioni meteoriche.

Per quanto attiene l'aspetto idrogeologico, le caratteristiche morfologiche e litologiche affioranti sono tali da giustificare l'assenza di un reticolo fluviale significativo. I depositi sabbioso-conglomeratici, infatti, assumono valori elevati del grado di permeabilità per porosità ( $K > 10^{-2}$ , Celico, 1986).

Tali caratteristiche associate ad una morfologia nel suo complesso pianeggiante condizionano la circolazione idrica superficiale favorendo l'infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche dando origine nel sottosuolo a modestissimi accumuli a carattere estremamente localizzato. La restante parte delle acque di precipitazione è prevalentemente soggetta a scorrimento il cui deflusso è condizionato dalle caratteristiche morfologiche delle superfici topografiche.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, va evidenziato che il sottosuolo dell'area in esame è costituito prevalentemente da ghiaie e sabbie, litotipi che non oppongono grossa resistenza alla infiltrazione dell'acqua meteorica e che pertanto, più che alimentare un deflusso superficiale, ne alimentano uno profondo.

Infatti, una prima falda idrica significativa, comunque dai notevoli caratteri di eterogeneità e anisotropia, si rinviene ad una profondità variabile intorno ai 30,0 ÷ 50,0 m di profondità, tali da non interferire con le opere di progetto, come riscontrato anche dall'analisi della documentazione relativa ai pozzi presenti nella zona (Stratigrafie dei pozzi ISPRA) (Figura 21).



QUATERNARY COMPLEXES		Type of permeability		Permeability grade			
		Porosity	Fracturing	Impermeable	Low	Medium	High
1	<b>Alluvial-coastal complex:</b> Mainly incoherent clastic deposits comprising all grain size classes, but with prevailing sandy terms. Different grain sizes lie in lateral and vertical juxtaposition according to the spatial variation of hydraulic energy that controlled their deposition. These deposits form heterogeneous and anisotropic porous aquifers in which a groundwater flow occurs, unique at the large scale and partitioned at the local one. Groundwater flow can have hydraulic interchanges with freshwater bodies and/or with groundwater of the adjoining hydrogeological units.	■	■	■	■	■	■
2	<b>Lacustrine complex:</b> Mainly silty-clayey deposits of the lacustrine basins developed during the Pleistocene in the southern Apennine chain. Where these deposits are interbedded and/or laterally juxtaposed to the alluvial complex, they can form defined or undefined permeability boundaries.	■	■	■	■	■	■
3	<b>Epiclastic continental complex:</b> Clastic deposits, frequently cemented, formed by gravity-driven and/or short-range hydraulic transport sediments: active and relict slope talus and fan deposits. Notwithstanding its general heterogeneity and anisotropy, this complex forms aquifers with moderate hydraulic transmissivity in which a high groundwater yield can exist if a recharge from adjoining hydrogeological units occurs (i.e. Conglomerates of Eboli).	■	■	■	■	■	■
PLIOCENE-QUATERNARY MARINE COMPLEXES							
9	<b>Sandy gravel clastic complex:</b> Sandy gravel clastic deposits, from loose to scarcely cemented, formed during the marine regression of the Lower Pleistocene (Bradano Trough sedimentary cycle: Mount Marano sands, Mount Castiglione calcarenites, Irsina conglomerates). Sometimes these deposits can form aquifers with relevant transmissivity, but feeding small springs due to spatial variability of the permeability boundary to the underlying clayey complex, which determines groundwater flow partitioning.	■	■	■	■	■	■
10	<b>Clayey complex:</b> Deposits comprising marine clays, silty clays and sandy clays, related to the marine transgression occurred during the Upper Pliocene and Lower Pleistocene (Bradano Trough sedimentary cycle). These deposits generate permeability boundaries at the contact with the sandy-conglomeratic complex, to which they stratigraphically underlie, or in contact with the other vertically and/or laterally juxtaposed aquifers.	■	■	■	■	■	■

**Figura 20 – Carta idrogeologica a grande scala (HYDROGEOLOGY OF CONTINENTAL SOUTHERN ITALY – Map II – Murge – Salento – Joni Arc)**

Dall'analisi idrogeologica generale dell'area si ricava la presenza di diversi litotipi che possono, in base alla loro permeabilità, essere suddivisi in tre differenti complessi idrogeologici:

- **Complesso conglomeratico:** caratterizzato dalla presenza di depositi ghiaiosi eterometrici immersi in matrice sabbioso-limosa con clasti sub-arrotondati, di dimensioni comprese fra 1 e 10 cm, talora con intercalazioni di lenti di materiale argilloso-siltoso e sabbie giallastre, caratterizzati da un tipo di permeabilità primaria per porosità e un grado di permeabilità che va da medio ad elevato in base alla percentuale di materiale sabbioso o limoso-argilloso.
- **Complesso sabbioso-limoso-ghiaioso:** caratterizzato dalla presenza di depositi sabbioso limosi con intercalazioni di livelli arenitici, di spessore decimetrico associati a livelli ghiaiosi, caratterizzati da un tipo di permeabilità primaria per porosità e un grado di permeabilità medio-alto.
- **Complesso argilloso impermeabile:** afferente alle Argille di Subappennine i quali terreni sono da ritenersi impermeabili, in quanto tale complesso anche se dotato di alta porosità primaria, è praticamente impermeabile a causa delle ridottissime dimensioni dei pori nei quali l'acqua viene fissata come acqua di ritenzione. Ne deriva una circolazione nulla o trascurabile. Inoltre, trattandosi di argilla, seppur coesiva, è comunque soggetta a fessurarsi e a richiudere rapidamente le discontinuità con un comportamento di tipo plastico. Nell'insieme, il complesso litologico è da considerarsi scarsamente permeabile, in quanto anche la permeabilità delle porzioni più ricche in frazione sabbiosa è del tutto controllata dalla frazione argillosa. Ad essi si può attribuire un valore del coefficiente di permeabilità dell'ordine di  $K = 10^{-7} \div 10^{-9}$  m/s.

Nell'ambito del territorio in studio si evidenzia la presenza di alcune manifestazioni sorgentizie (fontanili e sorgenti), anche se distanti dalle aree di stretto interesse progettuale.

Dall'interpretazione ed analisi della campagna di indagini geognostiche eseguita e dai dati disponibili per l'area di studio non è emersa la presenza di alcuna superficie piezometrica sino alla profondità di almeno 30,0 metri dal piano di campagna.

Per la rappresentazione cartografica dell'idrogeologia si rimanda all'Elaborato A.16.a.10.

**Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)**

Stampa

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
<p>Codice: 162587                      Regione: BASILICATA                      Provincia: POTENZA                      Comune: MONTEMILONE                      Tipologia: PERFORAZIONE                      Opera: POZZO PER ACQUA                      Profondità (m): 81,30                      Quota pc sim (m): 394,00                      Anno realizzazione: 1988                      Numero diametri: 0                      Presenza acqua: SI                      Portata massima (l/s): ND                      Portata esercizio (l/s): ND                      Numero falde: 0                      Numero filtri: 0                      Numero piezometrie: 3                      Stratigrafia: SI                      Certificazione(*): SI                      Numero strati: 11                      Longitudine WGS84 (dd): 15,940061                      Latitudine WGS84 (dd): 41,019281                      Longitudine WGS84 (dms): 15° 56' 24.23" E                      Latitudine WGS84 (dms): 41° 01' 09.41" N</p> <p>(*): Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>	

**MISURE PIEZOMETRICHE**

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
nov/1988	53,00	55,00	2,00	2,000
nov/1988	53,00	57,80	4,80	5,000
nov/1988	53,00	64,00	11,00	11,500

**STRATIGRAFIA**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO AGRARIO VEGETALE
2	1,00	10,00	9,00		CIOTTOLI, GHIAIE E SABBIE SCiolTE, TALORA CEMENTATE
3	10,00	16,00	6,00		ARENARIE
4	16,00	24,00	8,00		LIMO ARGILLOSO GIALLO
5	24,00	27,00	3,00		CIOTTOLI, GHIAIE E SABBIE
6	27,00	31,00	4,00		CONGLOMERATO
7	31,00	42,00	11,00		ARGILLA RIMANEGGIATA
8	42,00	60,00	18,00		SABBIA
9	60,00	62,00	2,00		ARENARIA
10	62,00	75,00	13,00		SABBIA
11	75,00	81,30	6,30		ARGILLA GRIGIO-AZZURRA

**Figura 21 – Monografia pozzo 162587 – Archivio indagini del sottosuolo ISPRA, ubica nell'area centrale del parco eolico.**

## **6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA**

### **6.1 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA – PIANO STRALCIO DI BACINO UOM REGIONALE PUGLIA E INTERREGIONALE OFANTO (EX ADB INTERR. PUGLIA)**

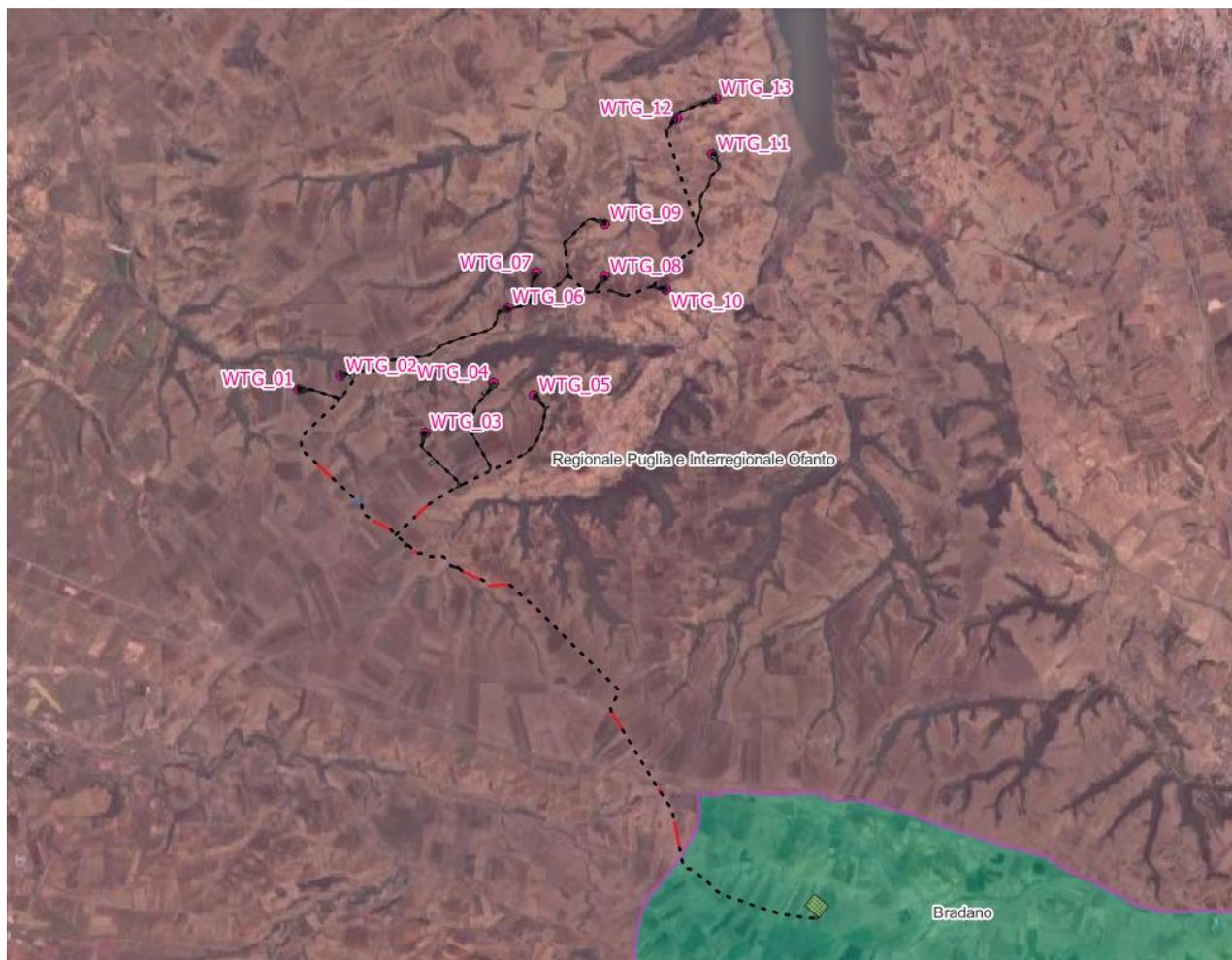
Con D.lgs. 152/2006 e s.m.i. sono state soppresse le Autorità di Bacino di cui alla ex L.183/89 e istituite, in ciascun distretto idrografico, le Autorità di Bacino Distrettuali. Ai sensi dell'art. 64, comma 1, del suddetto D.lgs. 152/2006, come modificato dall'art. 51, comma 5 della Legge 221/2015, il territorio nazionale è stato ripartito in 7 distretti idrografici tra i quali quello dell'Appennino Meridionale, comprendente i bacini idrografici nazionali Liri-Garigliano e Volturno, i bacini interregionali Sele, Sinni e Noce, Bradano, Saccione, Fortore e Biferno, Ofanto, Lao, Trigno ed i bacini regionali della Campania, della Puglia, della Basilicata, della Calabria, del Molise.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente nonché ogni altra funzione attribuita dalla legge o dai regolamenti.

La pianificazione di bacino fino ad oggi svolta dalle ex Autorità di Bacino ripresa ed integrata dall'Autorità di Distretto, costituisce riferimento per la programmazione di azioni condivise e partecipate in ambito di governo del territorio a scala di bacino e di distretto idrografico.

Il Piano di Bacino ha valore di Piano Territoriale di Settore e costituisce il documento di carattere conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, difesa e valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato, che deve essere predisposto in attuazione della Legge 183/1989 quale strumento di governo del bacino idrografico.

L'impianto eolico di progetto e le opere connesse ricadono per la quasi totalità in provincia di Potenza nel territorio comunale di Montemilone e di Venosa che è inserito nell'UoM Regionale Puglia e Interregionale Ofanto (ex AdB interr. Puglia). Solo la parte terminale del cavidotto e il punto di connessione per l'immissione dell'energia prodotta dall'impianto eolico, individuato presso lo stallo AT a 36 kV della nuova Stazione Elettrica di trasformazione RTN da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "Genzano – Melfi" ricadono all'interno dell'UoM Bradano (Figura 22).



**Figura 22 – Perimetrazione delle UoM in cui l'area di progetto ricade.**

Il PAI dell'UoM **Regionale Puglia Interr. Ofanto** in merito alla pericolosità geomorfologica ed idraulica individua le seguenti aree:

- Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3): porzione di territorio interessata da fenomeni franosi attivi o quiescenti.
- Aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2): porzione del territorio caratterizzata dalla presenza di due o più fattori predisponenti l'occorrenza di instabilità di versante e/o sede di frana stabilizzata
- Aree a pericolosità geomorfologica media e bassa (P.G.1): porzione di territorio caratterizzata da bassa suscettività geomorfologica all'instabilità
- Aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni.
- Aree a media pericolosità idraulica (M.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 30 e 200 anni.
- Aree bassa pericolosità idraulica (B.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 anni.

Inoltre sulla base del DPCM del 29 settembre 1998 sono individuate le aree a rischio:

- Molto elevato (R4)
- Elevato (R3)
- Medio (R2)
- Moderato (R1)

Per quanto riguarda **l'UoM Bradano**, il Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico definisce le aree a rischio frana e le aree a rischio idraulico.

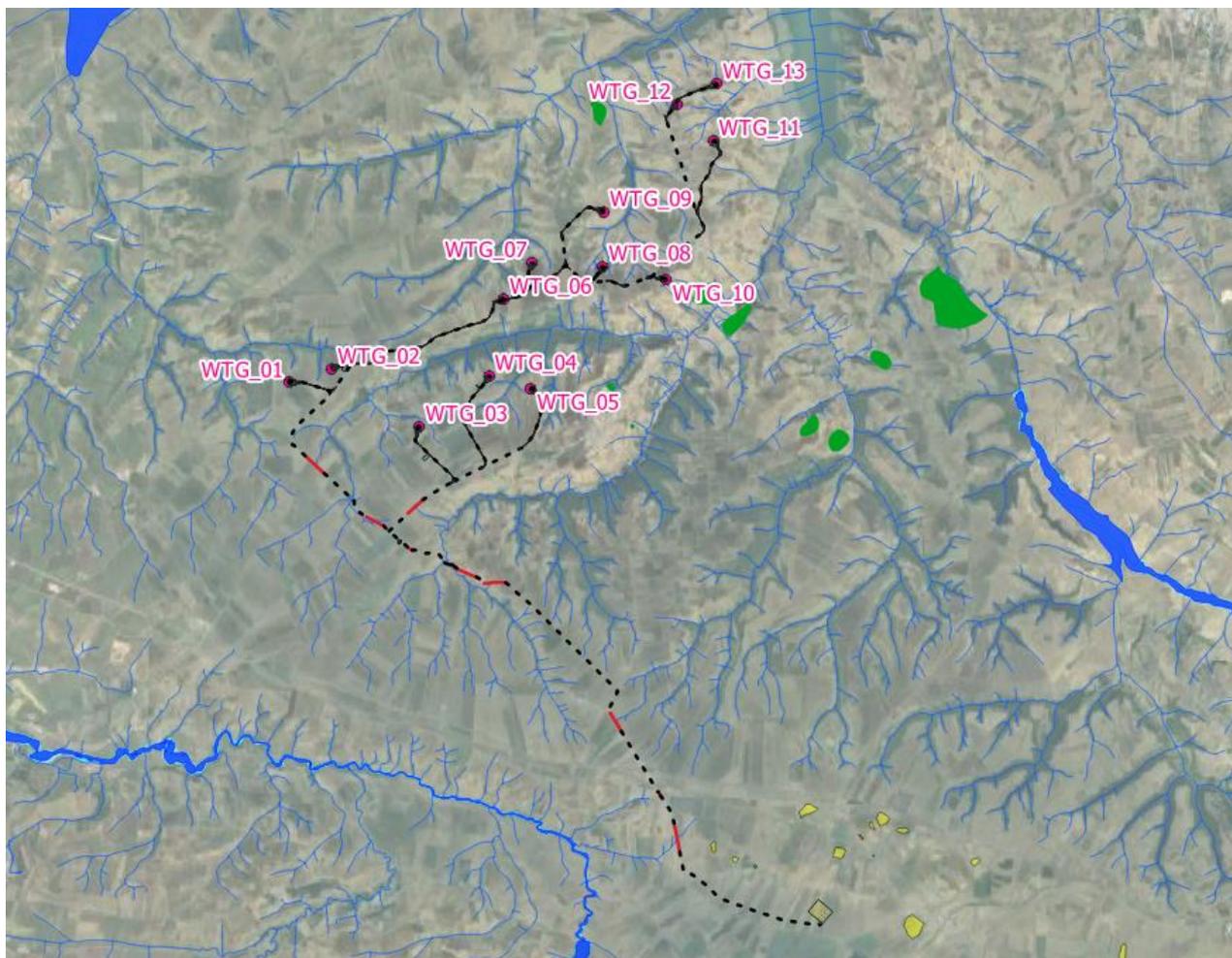
Le **classi di rischio frana** attualmente presenti sono le seguenti:

- Aree a rischio idrogeologico molto elevato (R4): area in cui è possibile l'instaurarsi di fenomeni tali da provocare la perdita di vite umane e/o lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici ed alle infrastrutture, danni al patrimonio ambientale e culturale, la distruzione di attività socio-economiche;
- Aree a rischio idrogeologico elevato (R3): area in cui è possibile l'instaurarsi di fenomeni comportanti rischi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione delle attività socio-economiche, danni al patrimonio ambientale e culturale;
- Aree a rischio idrogeologico medio (R2): area in cui è possibile l'instaurarsi di fenomeni comportanti danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, che non pregiudicano le attività economiche e l'agibilità degli edifici;
- Aree a rischio idrogeologico moderato (R1): area in cui è possibile l'instaurarsi di fenomeni comportanti danni sociali ed economici marginali al patrimonio ambientale e culturale;
- Aree pericolose (P): area che, pur presentando condizioni di instabilità o di propensione all'instabilità, interessano aree non antropizzate e quasi sempre prive di beni esposti e, pertanto, non minacciano direttamente l'incolumità delle persone e non provocano in maniera diretta danni a beni ed infrastrutture;
- Aree soggette a verifica idrogeologica (ASV): aree nelle quali sono presenti fenomeni di dissesto e instabilità, attivi o quiescenti, da assoggettare a specifica ricognizione e verifica;
- Aree bonificate (Rb).

Le **aree soggette a rischio idraulico** sono distinte in:

- Aree a rischio inondazione per piene con tempi di ritorno  $Tr = 30$  anni, corrispondenti ad aree a pericolosità idraulica e probabilità di accadimento elevata (P3);
- Aree a rischio inondazione per piene con tempi di ritorno  $Tr = 200$  anni, corrispondenti ad aree a pericolosità idraulica e probabilità di accadimento media (P2);
- Aree a rischio inondazione per piene con tempi di ritorno  $Tr = 500$  anni, corrispondenti ad aree a pericolosità idraulica e probabilità di accadimento bassa (P1).

Dall'analisi delle dei perimetri PAI vigenti, si evince che **nessun elemento che costituisce il layout di impianto (aerogeneratori, strade, cavidotti, ecc) interferisce con aree a rischio frana e/o idraulico perimetrate dall'UoM Regionale Puglia Interr. Ofanto e dall'UoM Bradano.**



**Perimetri PAI dell'UoM Regionale Puglia Interr. Ofanto**

Pericolosità Idraulica

- AP - Alta pericolosità idraulica
- MP - Media pericolosità idraulica
- BP - Bassa pericolosità idraulica

Pericolosità da Frana

- PG1 - Aree a pericolosità geomorfologica Media e Moderata
- PG2 - Aree a pericolosità geomorfologica Elevata
- PG3 - Aree a pericolosità geomorfologica Molto Elevata

— Reticolo Idrografico - UOM Puglia

**Perimetri PAI dell'UoM Bradano**

PSFF - Aree soggette a rischio idraulico

- Aree a rischio di inondazione  $Tr = 30$  anni
- Aree a rischio di inondazione  $Tr = 200$  anni
- Aree a rischio di inondazione  $Tr = 500$  anni

Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico

- R1 - Moderato
- R2 - Medio
- R3 - Elevato
- R4 - Molto elevato
- ASV - Aree soggette a verifica idrogeologica
- P - Aree pericolose
- Rb - Aree bonificate

**Figura 23 – Perimetri PAI vigenti dell'UoM Regionale Puglia Interr. Ofanto e dell'UoM Bradano.**

## **6.2 VINCOLO IDROGEOLOGICO R.D. 3267/1923 E R.D. 1126/1926**

### **Aree ricadenti in Regione Basilicata**

La Regione Basilicata, Dipartimento Politiche Agricole e Forestali Ufficio Foreste e tutela del Territorio, ha competenza in materia di vincolo idrogeologico ai sensi del **R.D.L. 3267/1923** e del suo Regolamento di applicazione ed esecuzione **R.D. 1126/1926**.

Il vincolo idrogeologico appartiene alla classe dei vincoli conformativi che, previsti dalla Costituzione, regolano lo svolgimento di determinate attività in aree sensibili e limitano l'esercizio, in particolar modo, dell'attività edilizia.

Con **DGR n. 473 del 09.07.2020**, la regione Basilicata, recante: "Disposizioni in materia di vincolo Idrogeologico", ha modificato e integrato la precedente DGR n. 412 del 31.03.2015.

La DGR regola l'iter procedurale amministrativo per qualsivoglia movimento terreno attinente alle trasformazioni colturali, l'esercizio del pascolo, i cambi di destinazione d'uso sia temporanei che permanenti dei boschi e dei terreni sottoposti a vincolo idrogeologico.

Il procedimento amministrativo prevede, a seconda dei casi, la richiesta di l'autorizzazione e/o nulla osta ad operare e indica tutta la documentazione da produrre ai fini della relativa istanza.

La stessa norma, in via preliminare, dispone che gli interventi in ambiti sottoposti a vincolo idrogeologico devono essere progettati e realizzati in funzione della salvaguardia e della qualità dell'ambiente, senza alterare in modo irreversibile le funzioni biologiche dell'ecosistema in cui vengono inseriti, in modo da arrecare il minimo danno possibile alle comunità vegetali ed animali presenti, rispettando allo stesso tempo i valori paesaggistici dell'ambiente e dell'assetto geostrutturale del territorio.

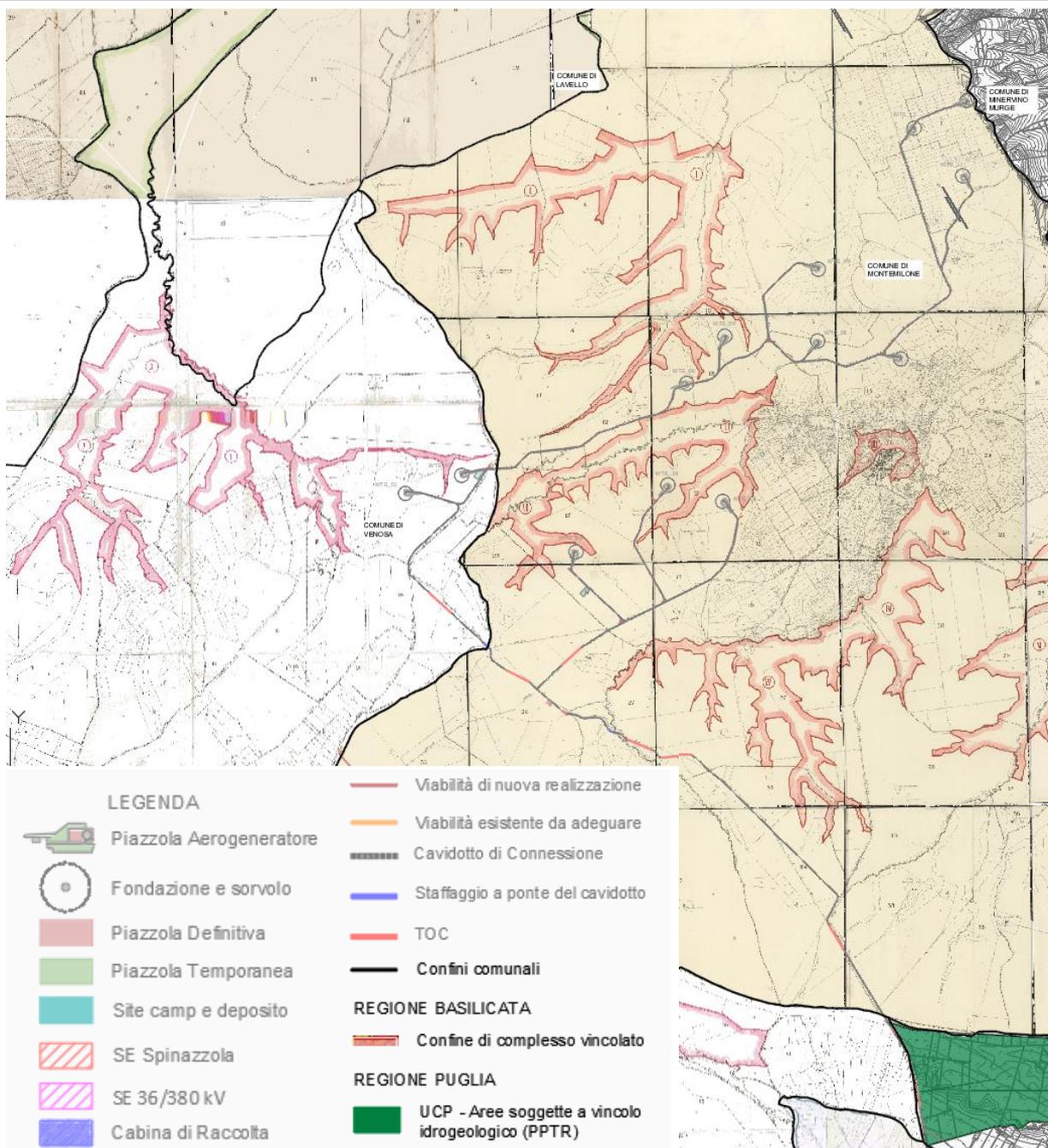
Dalla consultazione del webgis sul geoportale RSDI della Regione Basilicata e come si evince da Figura 24 che riporta uno stralcio dell'elaborato grafico "Carta dei vincoli dell'area Vincolo Idrogeologico", risulta che le opere di progetto ricadenti nella Regione Basilicata non rientrano in aree soggette a vincolo idrogeologico.

### **Aree ricadenti in Regione Puglia**

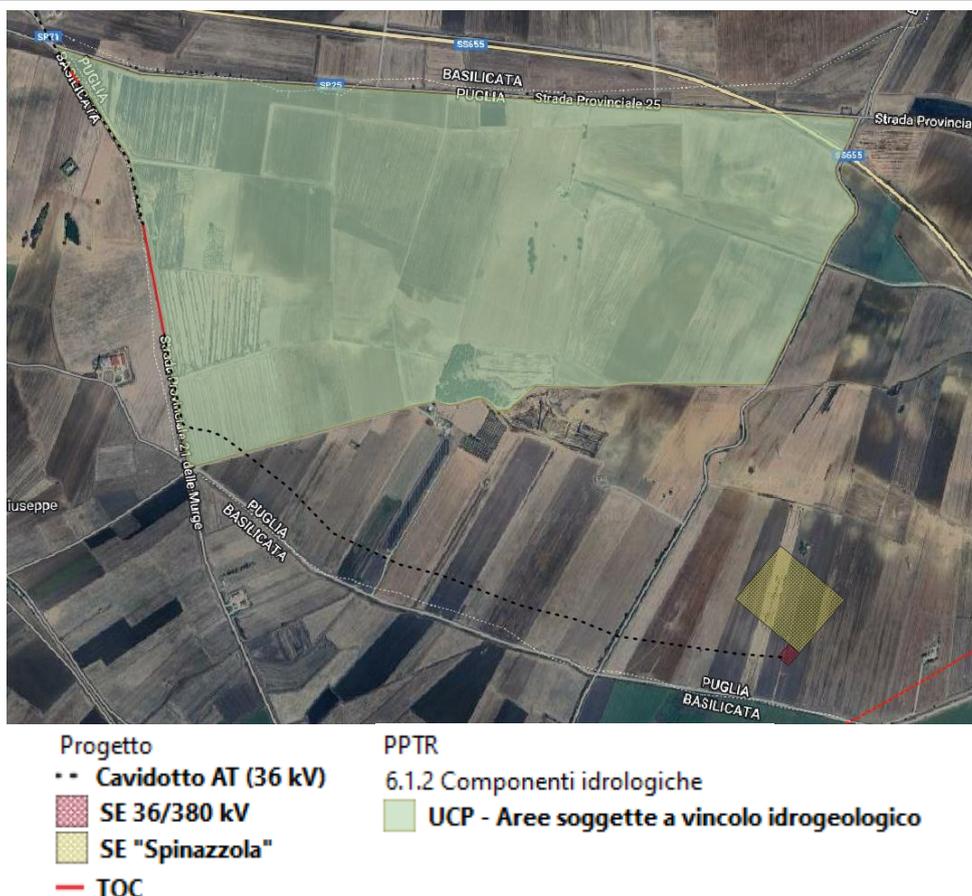
La Regione Puglia, Area Politiche per lo Sviluppo Rurale, Servizio Foreste, ha competenza in materia di vincolo idrogeologico ai sensi del **R.D.L. 3267/1923** e del suo Regolamento di applicazione ed esecuzione **R.D. 1126/1926**. Con **R.R. n. 9 del 11/03/2015** la Regione emana il regolamento per i terreni sottoposti a vincolo idrogeologico e relative norme.

Il vincolo idrogeologico viene introdotto e imposto dal R.D.L. n. 3267/1923 e appartiene alla classe dei vincoli conformativi che, previsti dalla Costituzione, regolano lo svolgimento di determinate attività in aree sensibili e limitano l'esercizio, in particolar modo, dell'attività edilizia.

Il regolamento regionale integra l'aspetto della regimazione delle acque, vengono normate le sistemazioni idraulico forestali e viene fornita disponibilità su base digitale delle aree soggette a tutela idrogeologica, identificate cartograficamente nel nuovo Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR). Le schede allegate al regolamento esplicitano le modalità e le procedure per le relative istanze e sono individuati gli interventi e le opere assoggettate a parere o a semplice comunicazione, oltre a quelle che non necessitano né di parere né di comunicazione.



**Figura 24 - Stralcio dell'elaborato grafico "Carta dei vincoli dell'area Vincolo Idrogeologico".**



**Figura 25 - Dettaglio del vincolo idrogeologico nella Regione Puglia perimetrato in "UCP - Aree soggette a vincolo idrogeologico" (Componenti idrologiche del PPTR)**

Come già riferito, per la parte di progetto ricadente nella Regione Basilicata, nessun elemento del layout del parco eolico interferisce con area a vincolo idrogeologico. Solo parte delle opere di connessione, in particolare un breve tratto del cavidotto AT interrato lungo circa 240 m, dopo aver attraversato la SP 21 delle Murge e prima di arrivare alla SE "Spinazzola", ricade in area a vincolo idrogeologico (Elab. A.16.a.4.4 - Carta del vincolo idrogeologico).

Si precisa, inoltre, che l'intervento proposto non comporta modifiche morfologiche del territorio, in riferimento all'articolo art 1 del RD 3267/23, tali da perdere di stabilità, subire denudazione o turbamento del regime delle acque.

È possibile affermare, dunque, che gli interventi proposti non modificheranno i parametri citati nel R.D. n° 3267 del 30/12/1923 e s.m.i., quindi sono da considerarsi compatibili con le condizioni di pericolosità e di rischio idrogeologico attualmente presenti nel territorio esaminato in quanto, gli stessi, non altereranno l'equilibrio idrogeologico dell'area in cui si inseriscono e dell'ambiti geomorfologico di riferimento, garantendo la fruibilità dell'area per gli scopi prefissati.

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		CODE <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		PAGE 46 di/of 123

## 7. MODELLO GEOLOGICO DELLE AREE IN STUDIO

### 7.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della presente Relazione Geologica si inquadra nell'ambito della L. 64/74 e del D.M.LL.PP. 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali 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. Pubblicato nel Suppl. Ord. Gazz. Uff. 1° giugno 1988, n. 127." (e s.m.i.).

I criteri ed indirizzi secondo cui è stata redatta tale relazione sono esplicitati nel D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", nella "Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 21/09/2019" e nella L.R. n. 9 del 7 giugno 2011 - "Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica".

Si aggiunge che, ai sensi del succitato D.M.LL.PP. 11/03/88 (in particolare, art. 3, lettera B) ed ai sensi della L. 11/02/1994 n. 109 (Legge Quadro in materia di lavori pubblici o "Legge Merloni") e del D.Lgs. n. 163/06 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE - Pubblicato nella Gazz. Uff. 2 maggio 2006, n. 100, S.O." (in particolare, Allegato XXI - Allegato tecnico di cui all'articolo 164 - Sezione I, punto 2, lettera d), per la stesura della relazione geologica si può far riferimento a conoscenze provenienti da fonti bibliografiche o, qualora se ne sia in possesso, derivanti da indagini precedentemente svoltesi nella stessa area di analisi.

Infatti, nel D.M.LL.PP. 11/03/88, l'art. 3, lettera B, recita: [...Nelle fasi preliminari della progettazione si potrà far riferimento a informazioni di carattere geologico e a dati geotecnici deducibili dalla letteratura oppure noti attraverso indagini eseguite precedentemente sulla medesima area.]; mentre, il D.Lgs. n. 163/06, Allegato XXI - Allegato tecnico di cui all'articolo 164 - Sezione I, punto 2, lettera d, riportata [...studi necessari per un'adeguata conoscenza del contesto in cui andrà a inserirsi l'opera, corredati da dati bibliografici e/o indagini in situ ed in laboratorio - quali, indicativamente ma non esaustivamente, quelle topografiche, geologiche, geotecniche, idrogeologiche, idrologiche, idrauliche, sismiche,...]; è evidente come il decreto, attraverso la dicitura "...dati bibliografici e/o indagini in situ ed in laboratorio..." dia la facoltà di utilizzare sia dati preesistenti sia dati provenienti da indagini in situ ex novo.

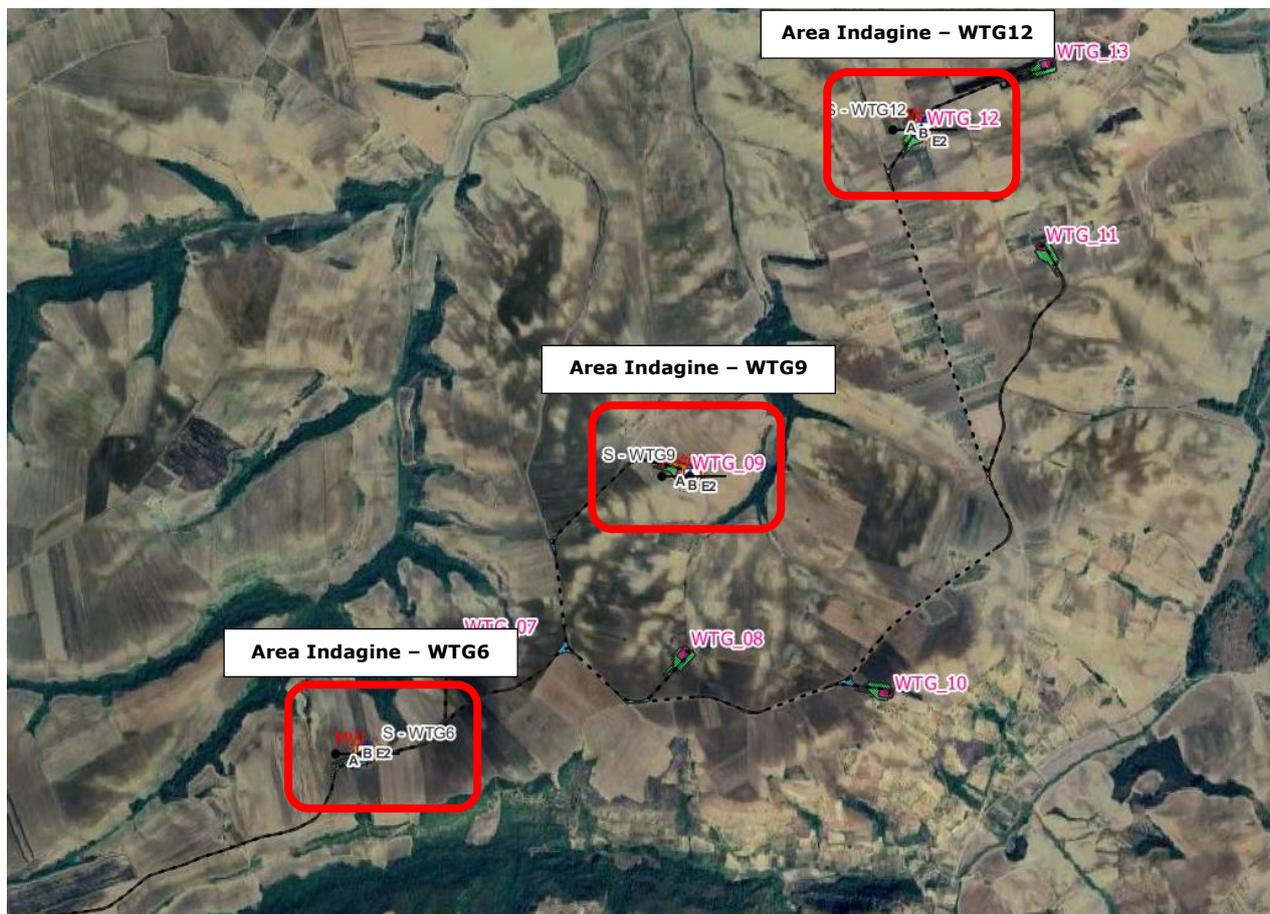
Si sottolinea pertanto che, per la stesura della presente relazione, sono utilizzati anche dati estrapolati da fonti bibliografiche (specifiche per la zona), cartografie, da ampi studi messi a disposizione on-line dai portali nazionali e provinciali del territorio.

**Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico delle varie aree esaminate è stata condotta una campagna di indagini** eseguita nel mese di Agosto 2023, la cui direzione dei lavori e assistenza in cantiere è stata fatta dallo scrivente geologo dott. Walter Miccolis.

Le indagini sono state programmate ed eseguite in n°3 aree, laddove l'accesso era consentito a seguito di specifici accordi con i proprietari delle aree, come illustrato nella figura successiva (Figura 26).

Per l'ubicazione di dettaglio si rimanda all'elaborato grafico A.16.a.7. - *Planimetria ubicazione indagini geologiche*.

Per il dettaglio di tutte le indagini eseguite si rimanda specificatamente all'Elaborato A.2.1 - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.



**Figura 26 - Individuazione delle aree in cui sono state eseguite le indagini geognostiche e geofisiche.**

Le indagini in sito eseguite sulle suddette aree, sono consistite in:

#### **Area di prospezione WTG 6**

- N.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (WTG6-S), spinto fino alla profondità di 30.0 metri dal p.c., eseguito per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo;
- N.3 prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT), eseguite per la parametrizzazione geotecnica dei terreni;
- N.1 prelievo di campione indisturbato e N.4 prelievi di campioni rimaneggiati effettuati nel corso del sondaggio, alla profondità riportate nelle Schede di sondaggio per la valutazione delle caratteristiche geotecniche del terreno mediante prove di laboratorio geotecnico;
- N.1 prova penetrometriche dinamica Super-Pesante (WTG6-DPSH), eseguita per la parametrizzazione geotecnica dei terreni e spinta sino a rifiuto strumentale, come visibile nei relativi certificati di prova;
- N.1 prospezione sismica a rifrazione in onde P (WTG6-RIFRA P), eseguite per l'individuazione e ricostruzione della geometria degli orizzonti.
- N.1 prospezione sismica di tipo MASW (WTG6-MASW), eseguite per la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche, quindi della  $V_{seq}$  necessaria per la definizione della categoria di sottosuolo;

- N.1 prospezione di sismica passiva tipo HVSR (WTG6-HVSR), eseguita per la stima delle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni investigati;
- N. 1 tomografia elettrica 2D (WTG6-ERT2D), per individuare eventuali irregolarità e/o cavità ipogee e per definire e localizzare eventuali morfologie sepolte.

A seguire una tabella riepilogativa di sintesi delle indagini eseguite con relative coordinate e l'ubicazione su ortofoto delle stesse.

Indagine	Profondità/Lunghezza	Latitudine	Longitudine
WTG6-S	30,0 m dal p.c.	41.031992° N	15.944129° E
WTG6-DPSH	3,80 m	41.042025° N	15.944172° E
WTG6-RIFRA P	60,0 m	A:41.042003° N B:41.042060° N	A:15.943774° E B:15.944484° E
WTG6-MASW	65,5 m	41.042031° N	15.944130° E
WTG6-HVSR	--	41.042048° N	15.944099° E
WTG6-ERT2D	93,0 m	E1: 41.041978° E32: 41.042060°	E1: 15.943580° E32: 15.944682°

**Tabella 3: Indagini eseguite postazione WTG6 e loro ubicazione.**



**Figura 27 – Ubicazione planimetrica indagini in sito postazione WTG6.**

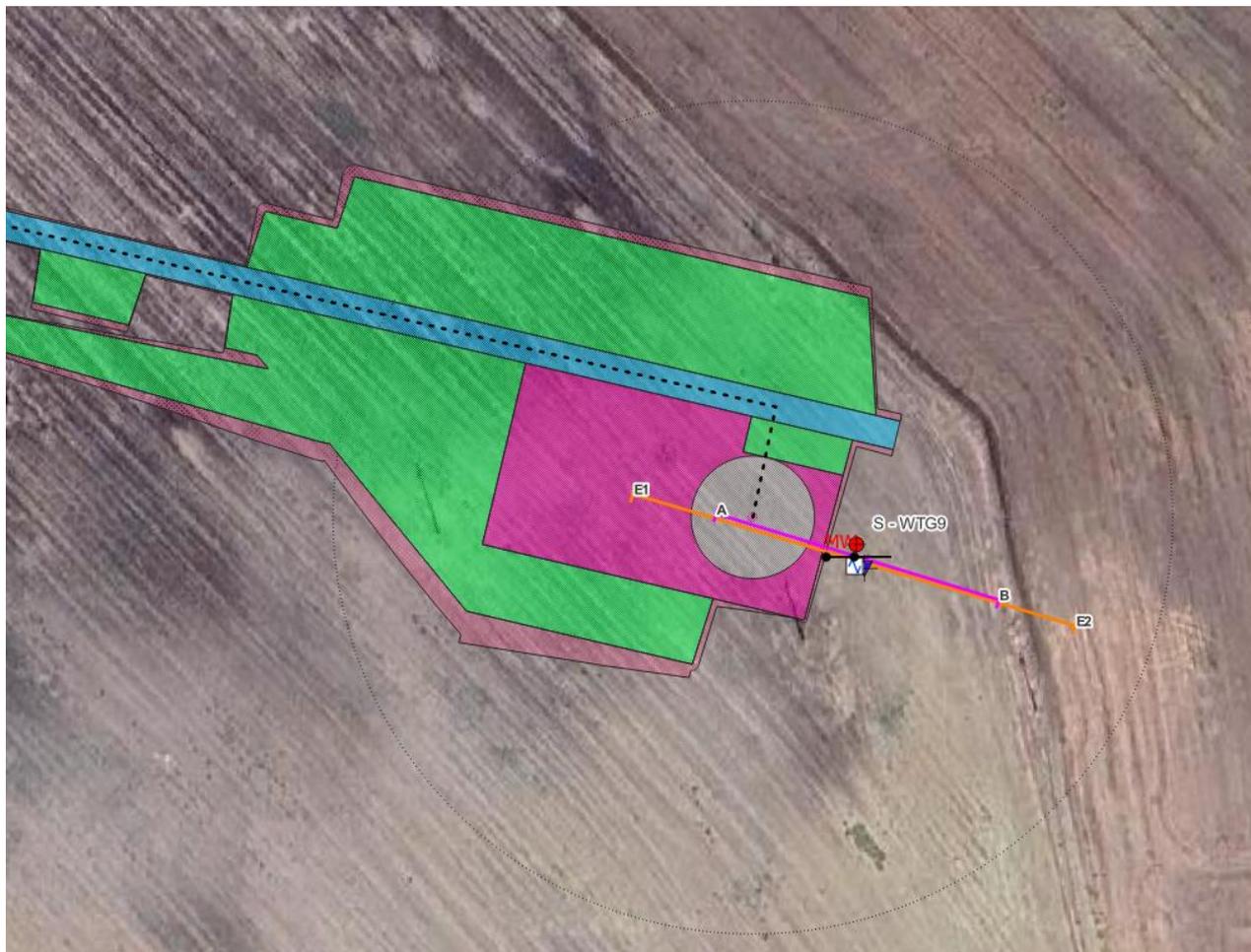
#### Area di prospezione WTG 9

- N.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (WTG6-S), spinto fino alla profondità di 30.0 metri dal p.c., eseguito per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo;
- N.3 prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT), eseguite per la parametrizzazione geotecnica dei terreni;
- N.2 prelievi di campione indisturbato e N.1 prelievo di campione rimaneggiato effettuati nel corso del sondaggio, alla profondità riportate nelle Schede di sondaggio per la valutazione delle caratteristiche geotecniche del terreno mediante prove di laboratorio geotecnico;
- N.1 prova penetrometriche dinamica Super-Pesante (WTG6-DPSH), eseguita per la parametrizzazione geotecnica dei terreni e spinta sino a rifiuto strumentale, come visibile nei relativi certificati di prova;
- N.1 prospezione sismica a rifrazione in onde P (WTG6-RIFRA P), eseguite per l'individuazione e ricostruzione della geometria degli orizzonti.
- N.1 prospezione sismica di tipo MASW (WTG6-MASW), eseguite per la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche, quindi della Vseq necessaria per la definizione della categoria di sottosuolo;
- N.1 prospezione di sismica passiva tipo HVSr (WTG6-HVSR), eseguita per la stima delle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni investigati;
- N. 1 tomografia elettrica 2D (WTG6-ERT2D), per individuare eventuali irregolarità e/o cavità ipogee e per definire e localizzare eventuali morfologie sepolte.

A seguire una tabella riepilogativa di sintesi delle indagini eseguite con relative coordinate e l'ubicazione su ortofoto delle stesse.

Indagine	Profondità/Lunghezza	Latitudine	Longitudine
WTG9-S	30,0 m dal p.c.	41.054259° N	15.963394° E
WTG9-DPSH	3,80 m	41.054217° N	15.963413° E
WTG9-RIFRA P	60,0 m	A:41.054319° N B:41.054155° N	A:15.963057° E B:15.963736° E
WTG9-MASW	65,5 m	41.054236° N	15.963395° E
WTG9-HVSR	--	41.054221° N	15.963387° E
WTG9-ERT2D	93,0 m	E1: 41.054357° E32: 41.054106°	E1: 15.962857° E32: 15.963919°

**Tabella 4: Indagini eseguite postazione WTG9 e loro ubicazione.**



**Figura 28 – Ubicazione planimetrica indagini in sito postazione WTG9.**

#### **Area di prospezione WTG 12**

- N.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (WTG6-S), spinto fino alla profondità di 30.0 metri dal p.c., eseguito per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo;
- N.2 prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT), eseguite per la parametrizzazione geotecnica dei terreni;
- N.1 prelievo di campione indisturbato e N.2 prelievi di campioni rimaneggiati effettuati nel corso del sondaggio, alla profondità riportate nelle Schede di sondaggio per la valutazione delle caratteristiche geotecniche del terreno mediante prove di laboratorio geotecnico;
- N.1 prova penetrometriche dinamica Super-Pesante (WTG6-DPSH), eseguita per la parametrizzazione geotecnica dei terreni e spinta sino a rifiuto strumentale, come visibile nei relativi certificati di prova;
- N.1 prospezione sismica a rifrazione in onde P (WTG6-RIFRA P), eseguite per l'individuazione e ricostruzione della geometria degli orizzonti.
- N.1 prospezione sismica di tipo MASW (WTG6-MASW), eseguite per la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche, quindi della  $V_{seq}$  necessaria per la definizione della categoria di sottosuolo;
- N.1 prospezione di sismica passiva tipo HVSr (WTG6-HVSr), eseguita per la stima delle

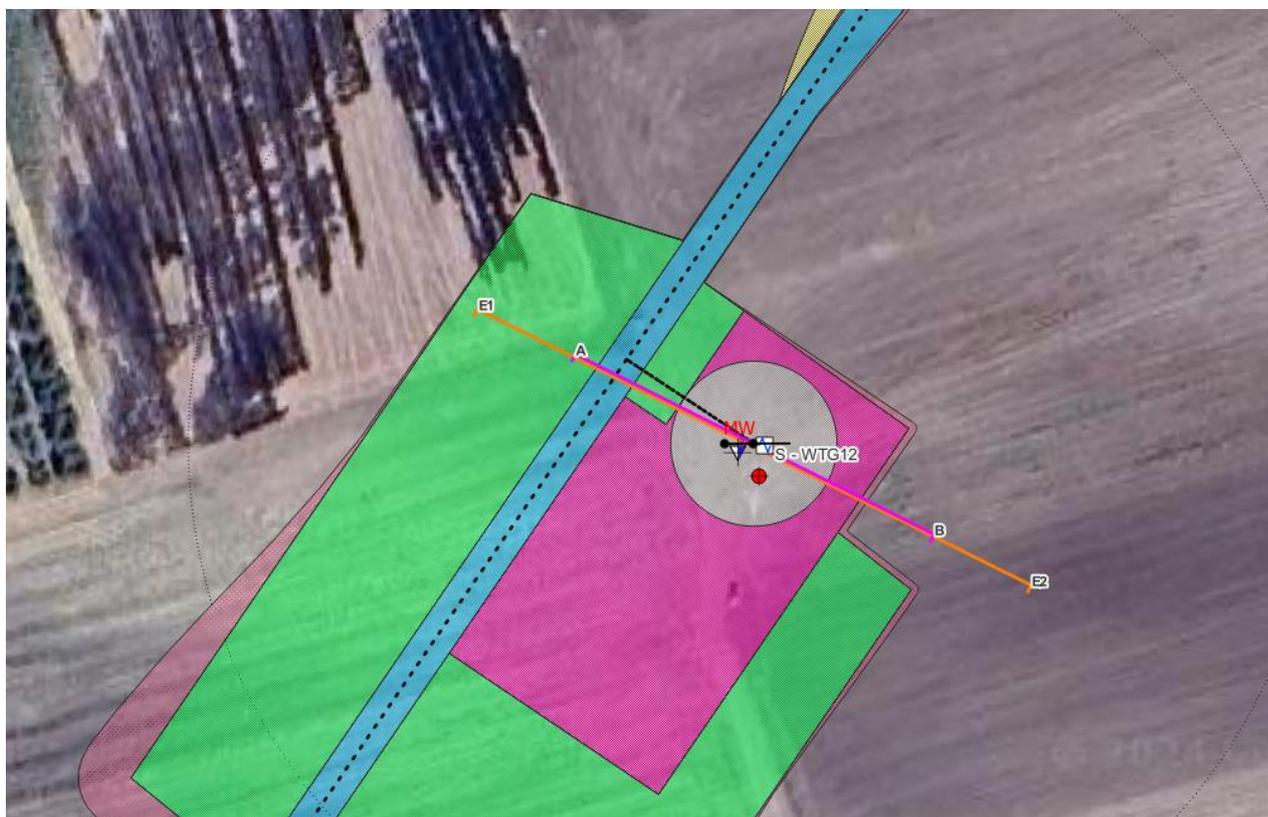
frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni investigati;

- N. 1 tomografia elettrica 2D (WTG6-ERT2D), per individuare eventuali irregolarità e/o cavità ipogee e per definire e localizzare eventuali morfologie sepolte.

A seguire una tabella riepilogativa di sintesi delle indagini eseguite con relative coordinate e l'ubicazione su ortofoto delle stesse.

Indagine	Profondità/Lunghezza	Latitudine	Longitudine
WTG12-S	30,0 m dal p.c.	41.069544° N	15.977147° E
WTG12-DPSH	3,80 m	41.069576° N	15.977111° E
WTG12-RIFRA P	60,0 m	A:41.069713° N B:41.069462° N	A:15.976822° E B:15.977460° E
WTG12-MASW	65,5 m	41.069588° N	15.977141° E
WTG12-HVSR	--	41.069587° N	15.977157° E
WTG12-ERT2D	93,0 m	E1: 41.069776° E32: 41.069391°	E1: 15.976648° E32: 15.977633°

**Tabella 5: Indagini eseguite postazione WTG12 e loro ubicazione.**



**Figura 29 – Ubicazione planimetrica indagini in sito postazione WTG12.**

## 7.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO

All'inizio della perforazione è stato, innanzitutto, accertato il buono stato dell'attrezzatura di perforazione, garantendo l'assenza di sgocciolamenti e perdite di olio idraulico dai circuiti.

I sondaggi verticali sono stati spinti fino alla profondità di 30,0 m dal p.c. e la natura e le caratteristiche dei terreni indagati hanno consentito l'uso di utensili di perforazione al widia di media durezza. In ogni punto di indagine, la perforazione è stata eseguita a rotazione, a carotaggio continuo, con carotiere semplice tipo T1 con  $\phi$  101 mm, lunghezza nominale 300 cm ed aste con filettatura tronco conica di diametro esterno 76 mm e lunghezze di 1,50 m e 3,00 m, con manovre di recupero di massimo 200 cm. Qualora necessario sono stati utilizzati tubi di rivestimento provvisorio  $\phi$  127 mm. La perforazione e l'infissione del rivestimento provvisorio sono state condotte in modo da minimizzare le variazioni di stato dei terreni attraversati, controllando con manometri la velocità e la pressione del fluido di circolazione. Il fluido di circolazione è l'acqua potabile e la stabilità del fondo è assicurata eseguendo manovre di estrazione a velocità molto bassa nel tratto iniziale per evitare l'effetto pistone. Per l'esecuzione del sondaggio è stato utilizzato un impianto di perforazione cingolato, costituito da una sonda Comacchio Geo 305, le cui caratteristiche sono riportate nella sottostante Tabella 6.

Descrizione	Riferimenti
✓ MOTORE DIESEL - potenza	DEUTZ tipo F6L matr. 7805512 HP 75 A 2300 q/1'
✓ POMPE PRINCIPALI	RexRoth A7V055LR 6 0 PZ B01 P25 KW
✓ POMPE INGRANAGGI	Casappa tipo CHP 46+CPL 20+CPL 20+5.75 sx
✓ SCAMBIATORE DI CALORE	tipo art. 512 idraulico con motore da 19.5 dx
✓ TESTA DI ROTAZIONE Motore rotary	tipo TR 400 tipo VIKERS V35M115A11C20
✓ MOMENTO TORCENTE - max - min	Kgm 195 Kgm 118
✓ TESTA DI ROTAZIONE - giri al 1' - senso di rotazione - avanzamento - spostamento - corsa rotary - spinta - spinta di ritorno	max 580 - min 40; reversibile automatico con possibilità raddoppio velocità idraulico mm 3500 Kg 5000 Kg 5800
✓ ANTENNA - lunghezza - traslazione verticale	mm 6200 mm 500
✓ ARGANI IDRAULICI - argano di servizio	Kg 2000
✓ MORSA IDRAULICA - diametro	mm 50 - 250
✓ CARRO CINGOLATO - tipo	PMI (pattini da 400 larghezza 1800) con 6 rulli

**Tabella 6: Caratteristiche sonda perforatrice CMV 420 Geo 305 utilizzata per le perforazioni.**



**Figura 30 – Sonda perforatrice CMV 420 Geo 305; fase di esecuzione sondaggi geognostici.**

Nel corso dei sondaggi, i reperti di carotaggio sono stati alloggiati in apposite cassette catalogatrici in PVC. Su ogni cassetta catalogatrice sono state riportate tutte le indicazioni relative al cantiere: data, committente, località, id. sondaggio, la profondità dell'intervallo di terreno contenuto nella cassetta. Sono state fotografate le postazioni e le cassette e si è provveduto ad eseguire la descrizione stratigrafica, annotando eventuali anomalie e specificando per ogni strato individuato:

- a) tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
- b) condizioni di umidità naturale;
- c) compattezza (consistenza o addensamento);
- d) R.Q.D.;
- e) alterazione;
- f) colore;
- g) struttura;
- h) particolarità;
- i) litologia ed origine.

I litotipi rinvenuti durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo sono di seguito descritti.

**Stratigrafia Sondaggio WTG6**

- 0,00 ÷ 1,00 m: Terreno vegetale costituito da limo argilloso di colore bruno, mediamente consistente.
- 1,00 ÷ 5,00 m: Sabbia argillosa di colore marrone con intercalazioni di spessore da centimetrico a decimetrico di ghiaia calcarea eterometrica ( $\phi$  max. 70-90 mm) di forma da sub-angolosa a sub-arrotondata.
- 5,00 ÷ 6,50 m: Limo con sabbia a tratti argilloso di colore marrone con screziature limose di colore grigiastro; presenza di concrezioni carbonatiche
- 6,50 ÷ 9,00 m: Limo con sabbia debolmente argilloso di colore marrone con inclusi centimetrici di ghiaia calcarea da sub-angolosi a sub-arrotondati.
- 9,00 ÷ 14,00 m: Ghiaia calcarea eterometrica ( $\phi$  max. 4060 mm) di forma da sub-angolosa a sub-arrotondata in matrice limosa-sabbiosa di colore marrone scuro.
- 14,00 ÷ 19,80 m: Sabbia con limo a tratti argillosa di colore marrone.
- 19,80 ÷ 28,30 m: Alternanza di sabbia limosa con argilla di colore marrone e limo con sabbia di colore marrone.
- 28,30 ÷ 30,00 m: Argilla con limo di colore marrone.

**Stratigrafia Sondaggio WTG9**

- 0,00 ÷ 0,50 m: Terreno vegetale costituito da limo argilloso di colore bruno, mediamente consistente.
- 0,50 ÷ 5,70 m: Limo con sabbia a tratti argillosa di colore marrone con inclusi di ghiaia eterometrica ( $\phi$  max. 20-30 mm) di forma da sub-angolosa a sub-arrotondata
- 5,70 ÷ 10,00 m: Alternanza di sabbia limosa con argilla di colore marrone e limo con sabbia di colore marrone
- 10,00 ÷ 15,00 m: Sabbia con limo colore marrone rossastro con ghiaia eterometrica ( $\phi$  max. 20-40 mm) di forma sub-arrotondata.
- 15,00 ÷ 30,00 m: Alternanza di sabbia limosa con argilla di colore marrone e limo con sabbia di colore marrone.

**Stratigrafia Sondaggio WTG12**

- 0,00 ÷ 1,10 m: Terreno vegetale costituito da limo argilloso di colore bruno, mediamente consistente.
- 1,10 ÷ 2,80 m: Ghiaia calcarea eterometrica ( $f$  max 30-40 mm) di forma da sub-angolosa a sub-arrotondata in matrice limoso-sabbiosa di colore marrone.
- 2,80 ÷ 6,00 m: Alternanza di sabbia con limo e argilla di colore marrone elimo con sabbia di colore marrone.
- 6,00 ÷ 30,00 m: Alternanza di limo con argilla a vario tenore sabbioso di colore marrone e livelli da decimetrici a metrici di sabbia di colore marrone.

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		CODE <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		PAGE 55 di/of 123

### **7.3 PROVE PENETROMETRICHE IN FORO (STANDARD PENETRATION TEST – S.P.T.)**

Durante l'esecuzione dei sondaggi, la perforazione è stata accompagnata dall'esecuzione di prove penetrometriche in foro (SPT), a profondità scelte in base alla tipologia di terreni effettivamente individuati.

Le prove sono state eseguite in accordo con le direttive contenute nelle norme ASTM (D,1486), dal sottocomitato ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) per le prove penetrometriche in Europa, nonché dalle "Raccomandazioni A.G.I." (Associazione Geotecnica Italiana) per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977).

La prova SPT si esegue durante la perforazione e consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste sulla cui testa agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi per la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$\mathbf{NSPT = N2 + N3}$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

- aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63,5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,75 m;
- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna;
- punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°.
- tubo campionatore standard tipo Raymond.

Prima di eseguire la prova, il fondo foro è stato opportunamente "pulito" e la profondità controllata con scandaglio. L'attrezzatura e le modalità di esecuzione delle prove hanno rispettato le normative e le raccomandazioni correnti in particolare per quanto riguarda l'uso di aste dal peso al metro nei limiti consentiti, in modo da avere il rispetto dell'energia di battuta. Nelle Tabelle che seguono vengono riportate in maniera sintetica le prove eseguite nei vari fori di sondaggio al fine di esibire un quadro di immediata lettura di quanto realizzato.

### SPT in foro di sondaggio WTG6

Strumento utilizzato...

PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data

24/08/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

ID	Profondità (m)	Nr. Colpi
SPT1	3,65	10
	3,80	22
	3,95	R
SPT2	8,15	19
	8,30	22
	8,45	R
SPT3	25,15	16
	25,30	29
	25,45	R

### SPT in foro di sondaggio WTG9

Strumento utilizzato...

PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data

28/08/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

ID	Profondità (m)	Nr. Colpi
SPT1	2,65	2
	2,80	7
	2,95	15
SPT2	6,15	49
	6,30	36
	6,45	40
SPT3	15,15	32
	15,30	R
	15,45	---

### SPT in foro di sondaggio WTG12

Strumento utilizzato...

PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data

25/08/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

ID	Profondità (m)	Nr. Colpi
SPT1	7,65	R
	7,80	---
	7,95	---
SPT2	16,65	R
	16,80	---
	16,95	---

Nel seguito la parametrizzazione geotecnica desunta dalle prove SPT eseguite. Come si evince dalle tabelle mostrate sopra, tutte le prove eseguite sono andate a rifiuto ad eccezione della prova SPT1 e SPT2 eseguite nel foro di sondaggio WTG9, e pertanto sono le sole prove su cui è stata eseguita la parametrizzazione geotecnica.

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI  
TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata secondo la correlazione di Schmertmann 1975

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT2	75,772	2,95-6,45	7,62

Modulo Edometrico secondo la correlazione di Stroud e Butler (1975)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT2	75,772	2,95-6,45	347,64

Classificazione AGI 1977

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Classificazione
SPT2	75,772	2,95-6,45	ESTREM. CONSISTENTE

**TERRENI INCOERENTI I**

Densità relativa secondo la correlazione di Skempton 1986

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Densità relativa (%)
SPT1	21,934	0.00-2,95	21,934	53,99
SPT2	75,772	2,95-6,45	75,772	100

Angolo di resistenza al taglio secondo la correlazione di Malcev (1964)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Angolo d'attrito (°)
SPT1	21,934	0.00-2,95	21,934	32,54
SPT2	75,772	2,95-6,45	75,772	31,88

Modulo Edometrico secondo la correlazione di Menzenbach e Malcev

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	21,934	0.00-2,95	21,934	135,83
SPT2	75,772	2,95-6,45	75,772	375,94

Classificazione AGI 1977

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Classificazione AGI
SPT1	21,934	0.00-2,95	21,934	MODERATAMENTE ADDENSATO
SPT2	75,772	2,95-6,45	75,772	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume secondo la correlazione di Meyerhof et al.

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
SPT1	21,934	0.00-2,95	21,934	2,03
SPT2	75,772	2,95-6,45	75,772	2,50

#### **7.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO**

Nel corso dei sondaggi geognostici sono stati prelevati in totale n° 4 campioni di terreno indisturbato e n° 7 campioni di terreno rimaneggiati. Per il campionamento indisturbato è stato adoperato un campionatore cilindrico "fustella" montata alle aste di manovra e poi infisso nel terreno alle profondità prestabilite, con la sola pressione esercitata dalla macchina perforatrice. Riempita la fustella di materiale, essa è stata estratta e immediatamente paraffinata alle due estremità, per evitare che, al contatto con l'aria, il materiale perdesse la sua umidità naturale. È stato utilizzato il campionatore "a pareti sottili", che tra tutti è quello che arreca minore disturbo al terreno.

La fustella contenente il campione di terreno estratto, costituita da un tubo in acciaio inox con la base tagliente e con angolo di scarpa compreso tra 4° e 15°, all'atto della estrazione è stata separata dal campionatore e le superfici esposte sono state sigillate con paraffina fusa al fine di preservarne integro il contenuto d'acqua.

Il campione è stato catalogato, annotando su un'apposita etichetta, i seguenti dati:

- committente;
- cantiere;
- sondaggio;
- numero identificativo del campione;
- quota di inizio e fine prelievo.

Le prove di laboratorio, sia sui campioni indisturbati sia sui campioni rimaneggiati (terre), sono state eseguite da un laboratorio autorizzato dal Ministero dei Trasporti ad eseguire prove geotecniche su terreni (Decreto 8502 del 22/12/2009). I campioni prelevati sono stati sottoposti alle prove indicate nella seguente Tabella 7 ed i risultati ottenuti sono visibili nell'Allegato 5 dell'Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

<b>Prova di laboratorio</b>	<b>Normativa di riferimento</b>
Apertura e descrizione generale del campione	Raccomandazioni AGI 1977
Contenuto d'acqua allo stato naturale	UNI CEN ISO/TS 17892-1
Determinazione della massa volumica	UNI CEN ISO/TS 17892-2
Analisi granulometrica per sedimentazione	UNI CEN ISO/TS 17892-4
Prova di taglio diretto	UNI CEN ISO/TS 17892-10

**Tabella 7: Prove di laboratorio su campioni (terre) e normativa di riferimento.**

Di seguito si riporta una sintesi delle caratteristiche geotecniche determinate. Per una visione completa dei risultati si rimanda ai certificati di laboratorio ALLEGATO 5 - Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

ID Campione	Prof.	Granulometria [%]				Classificazione AGI
	[m]	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	
WTG6 - CR1	4,0-4,3	12.8	59.1	10.8	17.3	Sabbia argillosa ghiaiosa limosa
WTG6-CI1	6,0-6,5	4.9	29.4	37.7	28.0	Limo con sabbia e argilla
WTG6 - CR2	15,2-15,4	12.9	37.7	32.7	16.6	Sabbia con limo argillosa ghiaiosa
WTG6 - CR3	20,7-21,0	0.0	63.1	23.8	13.1	Sabbia limosa argillosa
WTG6 - CR4	29,7-30,0	0.0	1.7	38.3	60.0	Argilla con limo
WTG9 - CI1	2,0-2,5	4.7	23.3	41.9	30.1	Limo con sabbia e argilla
WRG9 - CR1	2,5-3,0	0.2	17.9	40.0	41.9	Argilla con limo
WTG9 - CI2	4,5-5,0	0.0	21.9	26.9	51.2	Argilla con limo sabbiosa
WTG12 - CI1	3,0-3,5	2.1	42.4	41.2	14.3	Sabbia con limo argillosa
WTG12 - CR1	5,0-5,3	0.4	6.3	54.8	38.5	Limo con argilla
WTG12 - CR2	11,0-11,3	0.4	74.5	14.2	7.9	Sabbia limosa

**CI**n = campione indisturbato

**CR**n = campione rimaneggiato

**Tabella 8: Sintesi delle risultanze analisi laboratorio geotecnico.**

ID Campione	Prof.	Taglio diretto		Contenuto nat. d'acqua	Peso di volume naturale	Peso di volume secco
	[m]	$\phi'$ [°]	c' [kPa]	W [%]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]
WTG6 - CR1	4,0-4,3			15.80	18.20	
WTG6-CI1	6,0-6,5	32	3	17.40	19.74	16.79
WTG6 - CR2	15,2-15,4			15.80	19.78	
WTG6 - CR3	20,7-21,0			10.80	18.60	
WTG6 - CR4	29,7-30,0			25.90	19.79	
WTG9 - CI1	2,0-2,5	32	3	20.10	19.61	15.92
WRG9 - CR1	2,5-3,0			21.20		
WTG9 - CI2	4,5-5,0	21	20	25.70	19.28	14.81
WTG12 - CI1	3,0-3,5	31	2	14.10	17.57	14.87
WTG12 - CR1	5,0-5,3			24.80	20.63	
WTG12 - CR2	11,0-11,3			10.80		

**CI**n = campione indisturbato

**CR**n = campione rimaneggiato

**Tabella 9: Sintesi delle risultanze analisi laboratorio geotecnico.**

## **7.5 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER-PESANTI DPSH**

I sondaggi penetrometrici dinamici si sono sviluppati in tutto il mondo a partire dagli studi di Mohr negli Stati Uniti nel 1927. La loro grande diffusione è legata principalmente alla possibilità di operare direttamente "in situ" fornendo indicazioni geotecniche in continuo. La prova penetrometrica dinamica consiste nel determinare il numero di colpi necessari ad infiggere una punta conica nel terreno per successive profondità costanti, utilizzando metodologie ed attrezzature standardizzate.

È noto, infatti, come un oggetto conico infisso mediante battute successive incontri, durante la penetrazione, una resistenza che è direttamente proporzionale a quella del mezzo attraversato.

Se il mezzo attraversato è il terreno, questa resistenza dipende dalle caratteristiche fisicomeccaniche nel quale esso si trova allo stato naturale e pertanto, per terreni incoerenti dipende prevalentemente dallo stato d'addensamento dei granuli, mentre per terreni coesivi dal contenuto in umidità naturale.

Le prove DPSH sono state effettuate con un penetrometro dinamico superpesante PAGANI TG63-200 Kn; le prove sono state eseguite secondo le modalità ISSMFE, mediante infissione nel terreno di una punta conica posta all'estremità di un'asta d'acciaio; la penetrazione avviene per mezzo di un meccanismo di battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso. Il conteggio dei colpi necessari all'avanzamento di un tratto di asta di lunghezza stabilita, permette di utilizzare le relazioni empiriche che forniscono la resistenza del terreno all'infissione ( $R_d$ ): consente di correlare NDPSH a NSPT e di confrontare NDPSH con  $q_c$  ottenuto con la prova statica. L'attrezzatura utilizzata è la seguente: maglio di 63,5 kg; altezza di caduta mt 0,75; aste di lunghezza mt 1,0 e peso 6,2 kg; penetrazione standard cm 20; punta conica di angolo di apertura 90° e area di 20 cmq.



**Figura 31 – Penetrometro dinamico superpesante PAGANI TG63-200 Kn; fase esecuzione sondaggio penetrometrico.**

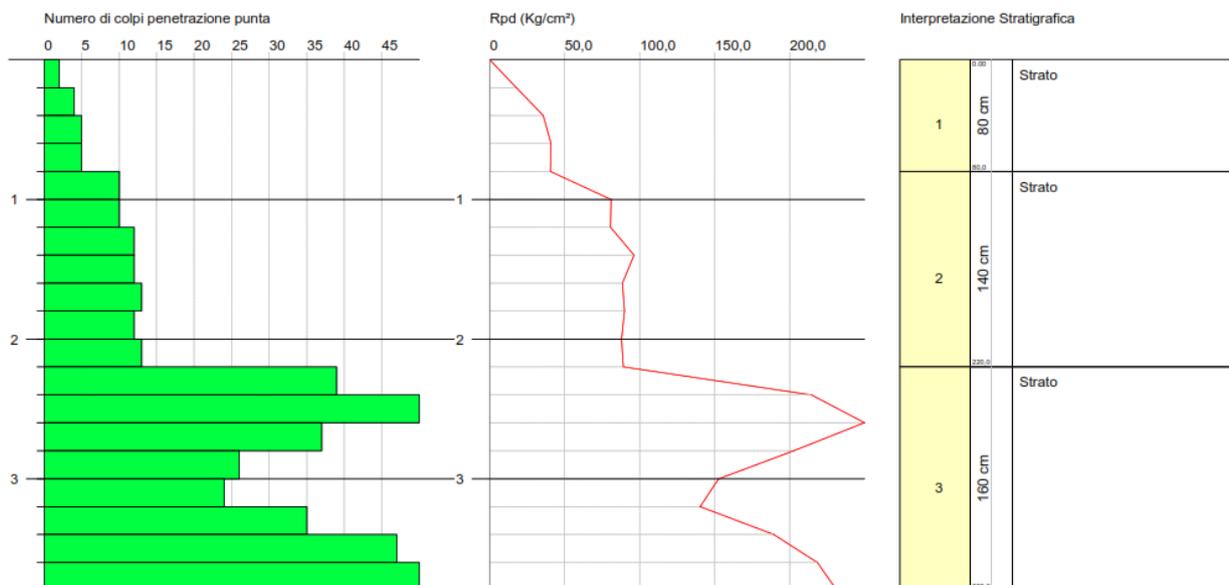
Si riportano di seguito le risultanze delle prove penetrometriche eseguite.

**PROVA ...WTG6**

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 04/09/2023  
 Profondità prova 3,80 mt  
 Falda non rilevata  
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	2	0,855	17,96	21,01	0,90	1,05
0,40	4	0,851	35,76	42,03	1,79	2,10
0,60	5	0,847	40,84	48,22	2,04	2,41
0,80	5	0,843	40,66	48,22	2,03	2,41
1,00	10	0,840	80,98	96,43	4,05	4,82
1,20	10	0,836	80,64	96,43	4,03	4,82
1,40	12	0,833	96,38	115,72	4,82	5,79
1,60	12	0,830	88,70	106,93	4,44	5,35
1,80	13	0,776	89,93	115,84	4,50	5,79
2,00	12	0,823	88,02	106,93	4,40	5,35
2,20	13	0,770	89,21	115,84	4,46	5,79
2,40	39	0,617	214,47	347,52	10,72	17,38
2,60	50	0,614	254,35	414,08	12,72	20,70
2,80	37	0,661	202,67	306,42	10,13	15,32
3,00	26	0,709	152,59	215,32	7,63	10,77
3,20	24	0,706	140,33	198,76	7,02	9,94
3,40	35	0,653	189,39	289,86	9,47	14,49
3,60	47	0,601	218,46	363,57	10,92	18,18
3,80	50	0,598	231,45	386,78	11,57	19,34

**Tabella 10: Risultanze Prova DPSH-WTG6.**



**Figura 32 – Risultanze Prova DPSH-WTG6 – Istogramma.**

**PROVA WTG6**

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT
0,8	4	39,87	Incoerente	--	1,89	0,06	1,47	5,89
2,2	11,71	107,73	Incoerente	1,94	1,96	0,26	1,47	17,24
3,8	32,2	271,58	Incoerente	--	--	0,58	1,47	47,4

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI  
TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa secondo la correlazione di Skempton 1986

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Densità relativa (%)
Strato (1)	5,89	0,00-0,80	5,89	23,17
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	46,9
Strato (3)	47,4	2,20-3,80	47,4	78,22

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	5,89	0,00-0,80	5,89	Shioi-Fukuni (1982)	24,4
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	Shioi-Fukuni (1982)	31,08
Strato (3)	47,4	2,20-3,80	47,4	Meyerhof (1965)	37,24

Modulo Edometrico secondo la correlazione di Menzenbach e Malcev

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1)	5,89	0,00-0,80	5,89	58,85
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	99,03
Strato (3)	47,4	2,20-3,80	47,4	205,80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Classificazione AGI
Strato (1)	5,89	0,00-0,80	5,89	POCO ADDENSATO
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3)	47,4	2,20-3,80	47,4	ADDENSATO

Peso unità di volume secondo la correlazione di Meyerhof et al.

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	1,94

Peso unità di volume saturo secondo la correlazione di Terzaghi-Peck 1948-1967

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1)	5,89	0,00-0,80	5,89	1,89
Strato (2)	17,24	0,80-2,20	17,24	1,96

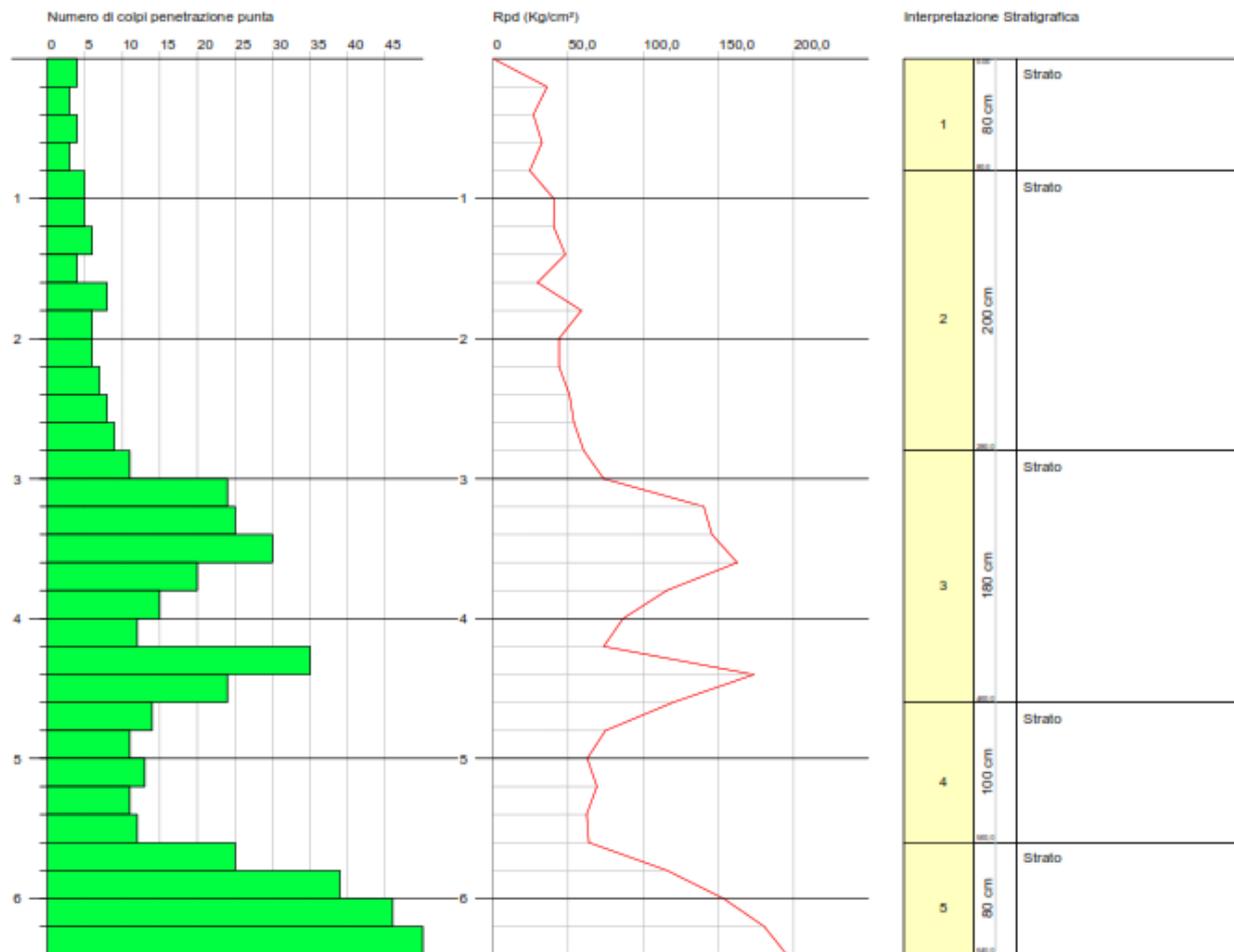
**Tabella 11: Risultanze Prova DPSH-WTG6 – Stima parametri geotecnici.**

**PROVA ...WTG9**

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
Prova eseguita in data 04/09/2023  
Profondità prova 6,40 mt  
Falda non rilevata  
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	4	0,855	35,92	42,03	1,80	2,10
0,40	3	0,851	26,82	31,52	1,34	1,58
0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	3	0,843	24,40	28,93	1,22	1,45
1,00	5	0,840	40,49	48,22	2,02	2,41
1,20	5	0,836	40,32	48,22	2,02	2,41
1,40	6	0,833	48,19	57,86	2,41	2,89
1,60	4	0,830	29,57	35,64	1,48	1,78
1,80	8	0,826	58,91	71,29	2,95	3,56
2,00	6	0,823	44,01	53,47	2,20	2,67
2,20	6	0,820	43,85	53,47	2,19	2,67
2,40	7	0,817	50,97	62,38	2,55	3,12
2,60	8	0,814	53,95	66,25	2,70	3,31
2,80	9	0,811	60,48	74,54	3,02	3,73
3,00	11	0,809	73,67	91,10	3,68	4,55
3,20	24	0,706	140,33	198,76	7,02	9,94
3,40	25	0,703	145,63	207,04	7,28	10,35
3,60	30	0,701	162,65	232,07	8,13	11,60
3,80	20	0,748	115,79	154,71	5,79	7,74
4,00	15	0,746	86,56	116,03	4,33	5,80
4,20	12	0,794	73,68	92,83	3,68	4,64
4,40	35	0,641	173,66	270,74	8,68	13,54
4,60	24	0,689	120,04	174,17	6,00	8,71
4,80	14	0,737	74,89	101,60	3,74	5,08
5,00	11	0,785	62,67	79,83	3,13	3,99
5,20	13	0,733	69,15	94,34	3,46	4,72
5,40	11	0,781	62,35	79,83	3,12	3,99
5,60	12	0,779	63,90	82,01	3,19	4,10
5,80	25	0,677	115,71	170,85	5,79	8,54
6,00	39	0,575	153,38	266,53	7,67	13,33
6,20	46	0,574	180,36	314,37	9,02	15,72
6,40	50	0,572	195,46	341,71	9,77	17,09

**Tabella 12: Risultanze Prova DPSH-WTG9.**



**Figura 33 – Risultanze Prova DPH-WTG9 – Istogramma.**

**PROVA WTG9**

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT
0,8	3,5	35,26	Incoerente	--	1,89	0,06	1,47	5,15
2,8	6,4	57,13	Incoerente	1,76	1,92	0,3	1,47	9,42
4,6	21,78	170,83	Incoerente	--	2,02	0,67	1,47	32,06
5,6	12,2	87,52	Incoerente	1,95	--	0,97	1,47	17,96
6,4	32	218,69	Incoerente	--	--	1,17	1,47	47,1

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA WTG9  
TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa secondo la correlazione di Skempton 1986

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Densità relativa (%)
Strato (1)	5,15	0,00-0,80	5,15	21,23
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	31,7
Strato (3)	32,06	2,80-4,60	32,06	65,53
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	48,08
Strato (5)	47,1	5,60-6,40	47,1	77,98

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazioni	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	5,15	0,00-0,80	5,15	Shoi-Fukuni 1982	23,79
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	Malcev (1964)	31,22
Strato (3)	32,06	2,80-4,60	32,06	Malcev (1964)	31,49
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	Meyerhof (1956)	25,13
Strato (5)	47,1	5,60-6,40	47,1	Malcev (1964)	30,9

Modulo Edometrico secondo la correlazione di Menzenbach e Malcev

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1)	5,15	0,00-0,80	5,15	56,23
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	71,35
Strato (3)	32,06	2,80-4,60	32,06	151,49
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	101,58
Strato (5)	47,1	5,60-6,40	47,1	204,73

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Classificazione AGI
Strato (1)	5,15	0,00-0,80	5,15	POCO ADDENSATO
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	POCO ADDENSATO
Strato (3)	32,06	2,80-4,60	32,06	ADDENSATO
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5)	47,1	5,60-6,40	47,1	ADDENSATO

Peso unità di volume secondo la correlazione di Meyerhof et al.

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	1,71
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	1,95

Peso unità di volume saturo secondo la correlazione di Terzaghi-Peck 1948-1967

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1)	5,15	0,00-0,80	5,15	1,89
Strato (2)	9,42	0,80-2,80	9,42	1,91
Strato (3)	32,06	2,80-4,60	32,06	2,05
Strato (4)	17,96	4,60-5,60	17,96	1,97

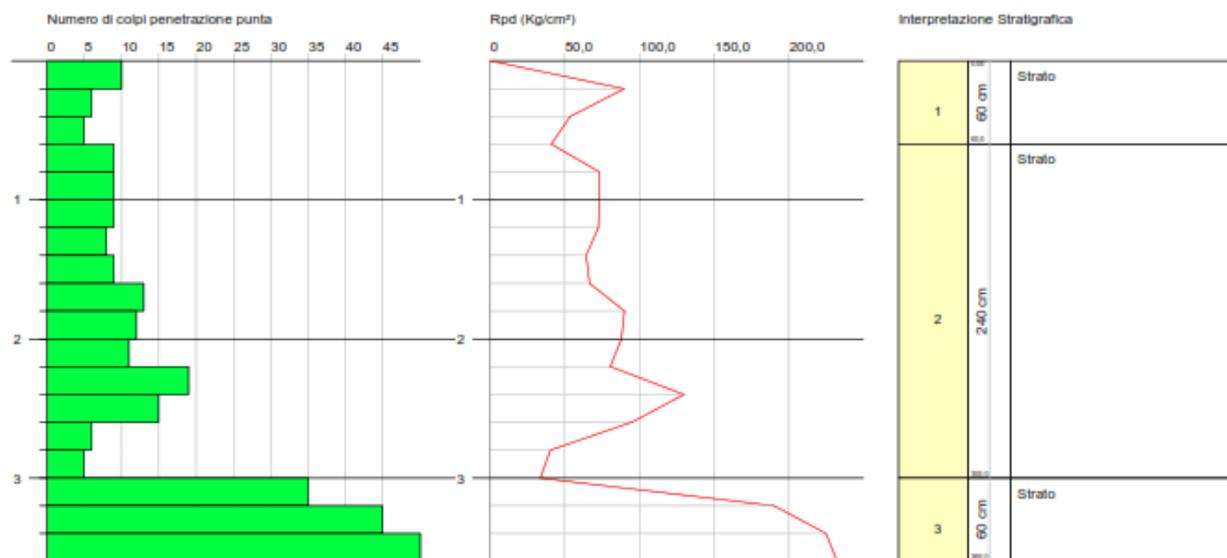
**Tabella 13: Risultanze Prova DPSH-WTG9 – Stima parametri geotecnici.**

**PROVA ...WTG12**

Strumento utilizzato... **DPSH TG 63-200 PAGANI**  
 Prova eseguita in data **04/09/2023**  
 Profondità prova **3,60 mt**  
 Falda non rilevata  
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	10	0,855	89,80	105,07	4,49	5,25
0,40	6	0,851	53,64	63,04	2,68	3,15
0,60	5	0,847	40,84	48,22	2,04	2,41
0,80	9	0,843	73,19	86,79	3,66	4,34
1,00	9	0,840	72,88	86,79	3,64	4,34
1,20	9	0,836	72,58	86,79	3,63	4,34
1,40	8	0,833	64,25	77,15	3,21	3,86
1,60	9	0,830	66,53	80,20	3,33	4,01
1,80	13	0,776	89,93	115,84	4,50	5,79
2,00	12	0,823	88,02	106,93	4,40	5,35
2,20	11	0,820	80,39	98,02	4,02	4,90
2,40	19	0,767	129,88	169,31	6,49	8,47
2,60	15	0,764	94,94	124,23	4,75	6,21
2,80	6	0,811	40,32	49,69	2,02	2,48
3,00	5	0,809	33,49	41,41	1,67	2,07
3,20	35	0,656	190,15	289,86	9,51	14,49
3,40	45	0,603	224,87	372,68	11,24	18,63
3,60	50	0,601	232,40	386,78	11,62	19,34

**Tabella 14: Risultanze Prova DPSH-WTG12.**



**Figura 34 – Risultanze Prova DPSH-WTG12 – Istogramma.**

**PROVA WTG12**

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT
0,6	7	72,11	Incoerente	1,79	1,93	0,05	1,47	10,3
3	10,42	93,6	Incoerente	1,93	1,96	0,34	1,47	15,34
3,6	35	289,86	Incoerente	-	-	0,64	1,47	51,52

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA WTG12  
TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa secondo la correlazione di Skempton 1986

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Densità relativa (%)
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	33,65
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	43,63
Strato (3)	51,52	3,00-3,60	51,52	81,66

Angolo di resistenza al taglio secondo la correlazione di Shioi-Fukuni (1982)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	Shioi-Fukuni (1982)	27,43
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	Shioi-Fukuni (1982)	30,17
Strato (3)	51,52	3,00-3,60	51,52	Malcev (1964)	32,36

Modulo Edometrico secondo la correlazione di Menzenbach e Malcev

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	74,46
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	92,30
Strato (3)	51,52	3,00-3,60	51,52	220,38

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Classificazione AGI
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3)	51,52	3,00-3,60	51,52	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume secondo la correlazione di Meyerhof et al.

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	1,74
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	1,89

Peso unità di volume saturo secondo la correlazione di Terzaghi-Peck 1948-1967

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1)	10,3	0,00-0,60	10,3	1,92
Strato (2)	15,34	0,60-3,00	15,34	1,95

**Tabella 15: Risultanze Prova DPSH-WTG12 – Stima parametri geotecnici.**

Per una più puntuale disamina dei risultati ottenuti con l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche, si rimanda ai certificati delle prove (ALLEGATO 6 - Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

Le risultanze delle prove eseguite sono rappresentative dei materiali che caratterizzano l'area in esame, ossia depositi incoerenti costituiti da sabbie ghiaiose eterometriche immerse in matrice sabbioso limoso ghiaiosa, talora con intercalazioni di livelli limoso sabbiosi da moderatamente addensati ad addensati. Tali depositi hanno fatto registrare un numero di colpi abbastanza elevato dopo il primo metro di profondità dal piano campagna per poi aumentare sensibilmente con la profondità, fino a ottenere il rifiuto strumentale per tutte le prove eseguite.

Dall'analisi dei profili penetrometrici, tarati e correlati sull'esito delle indagini dirette dei sondaggi a carotaggio continuo, risulta evidente il variabile grado di addensamento dei terreni costituenti il sottosuolo in esame. I penetrogrammi, infatti, hanno posto in evidenza una certa variabilità sia nella composizione granulometrica che nelle caratteristiche di addensamento dei terreni attraversati.

Ad un andamento lineare degli istogrammi corrisponde, difatti, un materiale di composizione granulometrica fine e piuttosto omogenea mentre dove l'istogramma si presenta frastagliato con picchi e rientranze, si registra un rapido ed irregolare incremento del numero di colpi correlabile con la presenza di materiale grossolano il cui stato di addensamento risulta mediamente addensato.

I termini più superficiali sono caratterizzati da valori penetrometrici talvolta alquanto bassi, tanto da evidenziare un grado di addensamento scarso: tutte le prove eseguite infatti non hanno fatto riscontrare alcuna difficoltà per l'avanzamento della punta conica.

Migliori risultano invece i terreni sottostanti costituiti da argille limoso-sabbiose con ghiaie e ciottoli; tali valori sono da attribuire non solo al grado di addensamento dei materiali presenti ma anche alle dimensioni dei clasti così come evidenziato durante l'esecuzione dei sondaggi meccanici.

Tutte le prove hanno fatto registrare valori penetrometrici abbastanza simili alle varie profondità per cui è possibile una sicura correlazione stratigrafica e geomeccanica.

In definitiva le prove eseguite hanno consentito di accertare che il sottosuolo dell'area è costituito da termini caratterizzati da un grado di addensamento variabile sia in senso verticale che orizzontale fino alla profondità di almeno 3,00 metri.

<b>Parametrizzazione media da prove DPSH</b>					
<b>Strato</b>	<b>N SPT</b>	<b>Densità relativa [%]</b>	<b>Angolo di Attrito efficace <math>\phi'</math></b>	<b>Modulo Edometrico [Kg/cm<sup>2</sup>] Ed</b>	<b>Modulo Elastico [Mpa] Ey</b>
Strato superficiale eluvio-colluviale (Terreno agrario)	7.11	26.02	25.21	63.18	6.94
Sabbie, sabbie limose e argillose con intercalazioni ghiaiose	29.76	55.46	31.20	124.96	14.03

**Tabella 16: Parametrizzazione media dei terreni sulla base dei sondaggi penetrometrici DPSH.**

## **7.6 TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D**

La tomografia elettrica di superficie si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su un discreto numero di elettrodi posizionati sul terreno, lungo un profilo. La ricostruzione tomografica della sezione verticale del profilo di terreno investigato viene effettuata tramite appositi software di elaborazione che utilizzano generalmente il Metodo degli Elementi Finiti.

Il terreno al di sotto degli elettrodi viene così suddiviso idealmente in un numero finito di maglie e celle (i cosiddetti "elementi finiti"), ciascuno di resistività omogenea ed incognita.

La forma degli elementi è generalmente quadrata o rettangolare e le loro dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (metà della spaziatura tra due elettrodi adiacenti).

Nella ricostruzione tomografica l'incognita è costituita dalla distribuzione della resistività nel terreno, mentre le misure elettriche effettuate sul terreno rappresentano i termini noti.

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da una serie di picchetti che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento (stendimento) e da un energizzatore che produce la corrente da immettere nel terreno. Sia i picchetti che l'energizzatore sono collegati ad una centrale d'acquisizione dati.

Dal punto di vista operativo il metodo consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB), e di misurare tramite un dipolo di lettura (MN) la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta al campo elettrico creato nel terreno.

Una volta fissata l'equidistanza dipolare, le misure vengono registrate spostando alternativamente (con metodo automatico) il dipolo di corrente e quello di tensione, al fine di ottenere una maglia di punti di lettura disposti lungo una sezione.

Conoscendo i diversi punti la d.d.p. e l'intensità di corrente  $I$ , si ricava la resistività apparente in ogni punto applicando le formule relative alla teoria dei dipoli infinitesimali.

### **Resistività delle rocce**

Tra i parametri che caratterizzano un corpo qualsiasi, la resistività è quello che viene preso in considerazione nelle prospezioni elettriche.

In geofisica, l'unità di resistività misurata è  $\text{ohm}\cdot\text{m}$  (la conduttività è l'inverso della resistività).

Tutte le rocce conducono elettricità. La conducibilità di certi giacimenti minerali è della stessa natura di quella dei metalli (pirite, galena, magnetite, grafite). La resistività di questi minerali conduttori è dell'ordine di  $0,01 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ , ma possono essere più resistivi a causa del contatto imperfetto tra i cristalli che lo compongono. La maggior parte delle rocce conducono elettricità grazie all'acqua più o meno salata presente nei loro pori o fessure (conducibilità elettrolitica).

Inoltre, la resistività delle rocce dipende dalla direzione della corrente che le attraversa: la cosiddetta anisotropia. I terreni sedimentari, ad esempio, sono generalmente più resistenti nella direzione perpendicolare al piano di stratificazione.

A titolo indicativo, si forniscono nella seguente Tabella 17 alcuni valori tipici di resistività.

Natura del terreno	Resistività (ohm•m)
Acqua pura	10 <sup>2</sup> - 3•10 <sup>3</sup>
Acqua	10 - 100
Acqua di mare	2 - 3
Calcari e dolomie	1000 - 5000
Arenarie	60 - 10 <sup>4</sup>
Detrito Alluvionale	50 - 1000
Ghiaie e sabbie	70 - 100
Argille (acqua dolce)	10 - 120
Argille (Acqua salata)	1 - 10
Marne	2 - 50
Sabbia (da bagnata ad asciutta)	100 - 1000
Graniti	1000 - 20000
Piroclastiti	50 - 600
Rocce Ignee	100 - 10000
Tufi	10 - 40

**Tabella 17: Valori indicativi di resistività di terre e rocce.**

#### **Caratteristiche strumentazione utilizzata**

Lo strumento utilizzato è un MAE A6000E e consiste di un acquirente digitale per la misura della resistività nel terreno con tecnica SEV o multielettrodo. La strumentazione integra al suo interno tutto il necessario per effettuare prospezione geoelettrica SEV e multielettrodo con 32 elettrodi. Si caratterizza per la massima rapidità operativa grazie ai cavi per prospezione geoelettrica ad alta resistenza dotati di 16 prese ognuno con intervalli di 2 o 3 metri. L'alimentazione è assicurata da pacchi batteria esterni gestiti a microprocessore in grado di fornire ampia autonomia di acquisizione. La potenza del generatore interno è di 60 Watt e può essere incrementata fino a 600 Watt con l'utilizzo di un generatore esterno opzionale. La registrazione e il salvataggio dei dati avviene su memoria Disk on Module interno o su disk on key USB (in dotazione). L'unità è totalmente computerizzata e tutte le funzioni operative vengono selezionate toccando semplicemente il menu corrispondente sul monitor LCD a colori tranflettivo 10,4" con touch screen integrato.

Le caratteristiche tecniche dello strumento sono:

- Risoluzione scheda di acquisizione: 16 bit
- Numero elettrodi gestiti senza box di espansione: 32
- Numero elettrodi con box di espansione: da 32 a 256
- Uscita da 50 a 600 Volt in corrente continua
- Potenza generatore interno 60 Watt
- Risoluzione nella misura 100 microvolt
- Generatore di potenza esterno (opzionale)
- Morsetti M-N, A-B per stendimento classico
- Risoluzione misura corrente: 38uA
- Impedenza d'ingresso voltmetro: 1 MW
- Intervallo di misura della corrente: 0 - 2500mA
- Intervallo di misura del potenziale: 0 - 50V
- Autorange: 1.25V - 2.5V - 5V

- Formato dei dati: TSV, CSV, DAT

### **Tecnica del rilevamento**

L'indagine geoelettrica di superficie è consistita nell'esecuzione di 3 stendimenti geoelettrici, al fine di ottenere delle misure di resistività dei materiali presenti nel sottosuolo. Gli stendimenti, con distanza interelettrodica di m 3.0 ed acquisizione a 32 elettrodi, hanno una lunghezza totale dello stendimento di m 93.0.

### **Elaborazione dei dati**

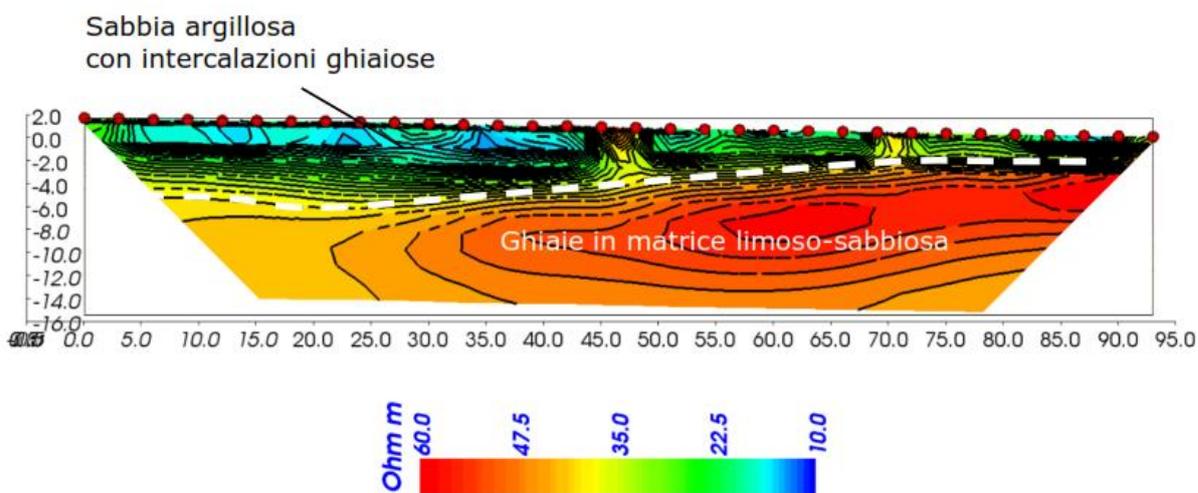
Una volta ottenuti i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante il software ERT LAB, è stato ottenuto un modello 2D di resistività che consente di dare un'interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati suddivisi, come precedentemente esposto, in elementi cubici. ERTLab è un software 2D-3D di inversione di resistività e polarizzazione indotta che rappresenta uno strumento innovativo nell'interpretazione di misure geoelettriche. Grazie all'algoritmo di modellazione agli Elementi Finiti Tetraedrici, ERTLab è in grado di invertire misure acquisite anche in contesti in cui la topografia non risulta essere piana. Un nucleo di routine di inversioni flessibili e collaudate consente l'interpretazione robusta e affidabile delle misure di campagna, anche in presenza di livelli considerevoli di rumore. Il potente ambiente grafico ERTLab Viewer permette poi di visualizzare i risultati dell'inversione mediante una completa serie di oggetti grafici (sezioni, superfici iso-resistive, volumi). Il modulo ERTLab Sequencer consente inoltre di creare sequenze quadripolari per qualunque disposizione elettrodica (configurazioni 2D e 3D) in foro, in superficie o mista.

Nel seguito si riportano le risultanze delle indagini eseguite; le tomografie elettriche (WTG6 ERT2D, WTG9 ERT2D, WTG12 ERT2D) integrate con i risultati delle indagini dirette (sondaggi geognostici) e delle prove penetrometriche DPSH, ha permesso di ricostruire le geometrie del sottosuolo.

### **WTG6 ERT2D**

La ert 2d ha messo in evidenza un elettrostrato superficiale di spessore e resistività variabile (10-30 ohm·m di colore blu-verde), costituito prevalentemente da sabbia argillosa con intercalazioni ghiaiose, le variazioni di resistività potrebbero essere attribuibili a depositi a granulometria variabile.

Al di sotto dell'elettrostrato superficiale sopra descritto è presente un elettrostrato alto resistivo (40-60 ohm·m di colore rosso), riferibile a litotipi ghiaiosi in matrice limoso-sabbiosa.

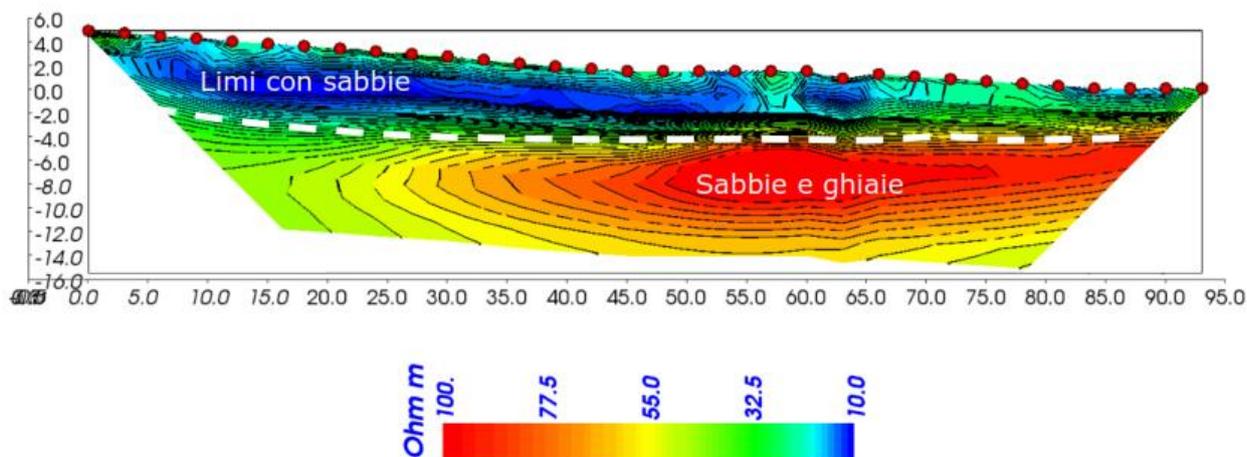


**Figura 35 – Interpretazione elettrostratigrafica ERT\_WTG6.**

### **WTG9 ERT2D**

La ert 2d ha messo in evidenza un elettrostrato superficiale di spessore e resistività variabile (10-20 ohm·m di colore blu-verde), costituito prevalentemente da limi con sabbie, le variazioni di resistività potrebbero essere attribuibili a depositi a granulometria variabile.

Segue in profondità un elettrostrato alto-resistivo (60-80 ohm·m di colore rosso), riferibile a litotipi sabbiosi e ghiaiosi.



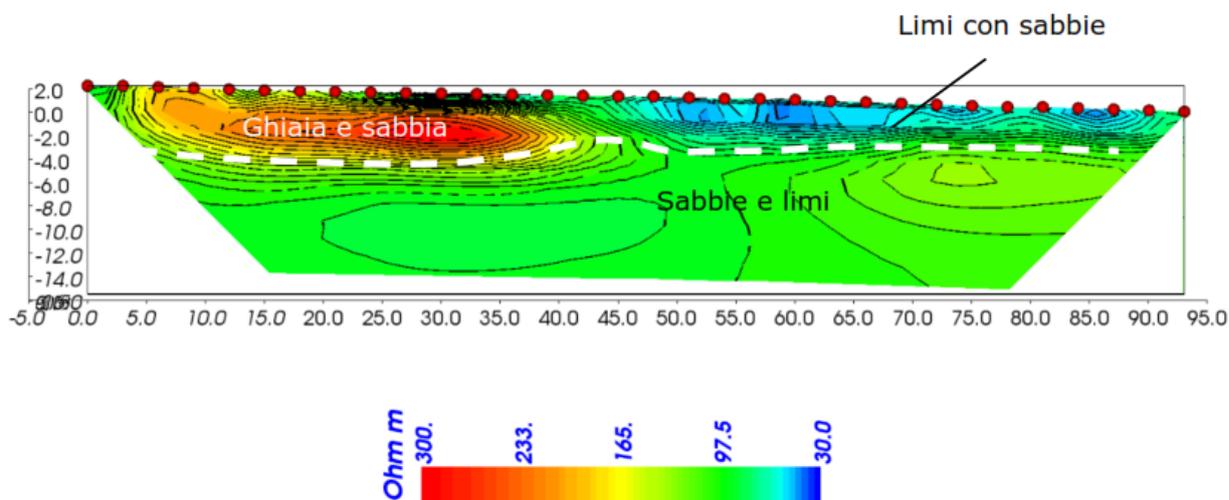
**Figura 36 – Interpretazione elettrostratigrafica ERT\_WTG9.**

### **WTG12 ERT2D**

La ert 2d ha messo in evidenza un elettrostrato superficiale di spessore e resistività variabile; in particolare, in corrispondenza delle progressive 0-40 m si osservano valori di resistività di circa 180-300 ohm·m (in rosso) attribuibili alla presenza di ghiaia e sabbia in eteropia con litotipi limoso-sabbiosi con valori di resistività 30-100 ohm·m (blu-verde), presenti nelle progressive 40 -93 m.

Le variazioni di resistività potrebbero anche essere attribuibili a depositi a granulometria variabile.

Segue in profondità un elettrostrato con valori di resistività di circa (50-120 ohm·m di colore verde), riferibile a litotipi sabbiosi e limosi.



**Figura 37 – Interpretazione elettrostratigrafica ERT\_WTG6.**

## **7.7 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

### **Strumentazione utilizzata**

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto da:

- sismografo;
- sorgente energizzante;
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione.

Sono state eseguite tre indagini sismiche con stendimento di lunghezza di 60,0 m ciascuna in ogni punto di interesse, a mezzo di basi da 24 canali e 7 energizzazioni su piastra di alluminio. Per il dettaglio della metodologia e delle specifiche strumentali si rimanda nel dettaglio ALLEGATO 7 - Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

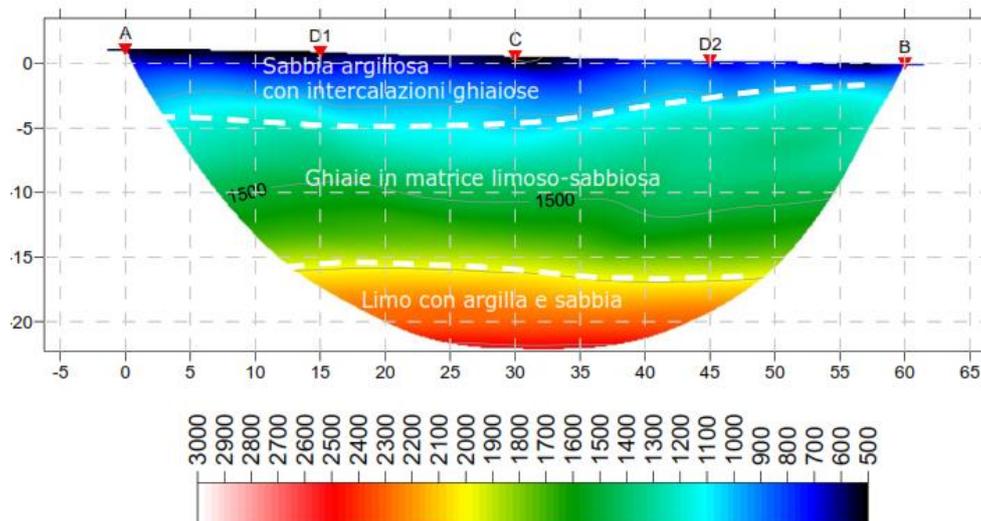
Le prospezioni sismiche a rifrazione in onde P sono state elaborate in tecnica tomografica. Nell'Allegato 7 sopra citato, si riportano i certificati ed i risultati delle elaborazioni, nelle seguenti figure le interpretazioni delle sezioni tomografiche, in cui vengono correlate le litologie (ottenute dalle stratigrafie dei sondaggi) e i risultati delle prove penetrometriche dinamiche, con i valori di velocità delle onde P.

Di seguito si riporta l'interpretazione delle prospezioni sismiche a rifrazione eseguite

### **WTG6 RIFRA P**

La tomografia sismica mette in evidenza un sismostrato a profondità variabile con spessore massimo 5-8 m dal p.c., caratterizzato da velocità delle onde P di circa 800 m/s, e da deboli variazioni laterali di velocità, attribuibile alla presenza di sabbia argillosa con intercalazioni ghiaiose.

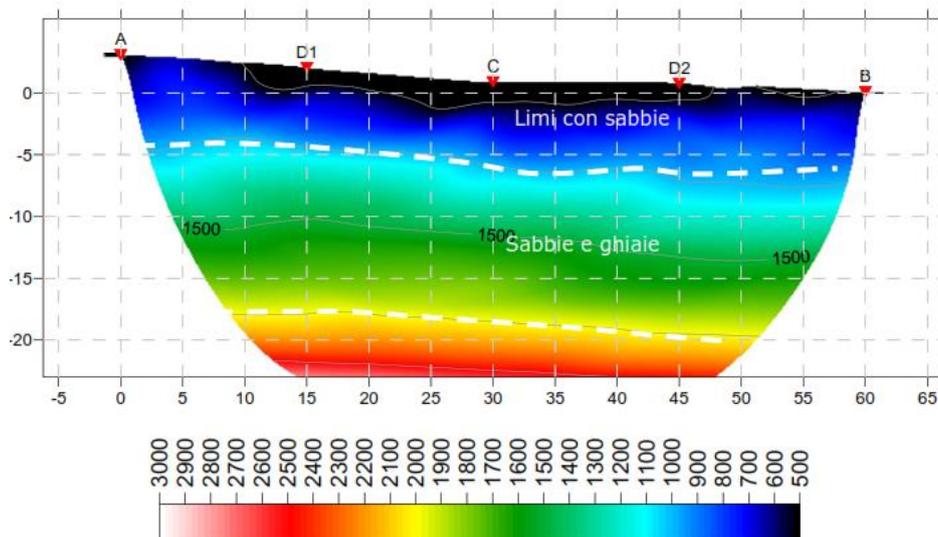
Segue un sismostrato le cui velocità sono di circa 1500 m/s, correlabile a litotipi ghiaiosi in matrice limoso-sabbiosa. L'ultimo sismostrato è caratterizzato da  $V_p > 2000$  m/s ed è riferibile a i limi con argilla e sabbia molto consistenti, come visibile nelle seguenti figure.



**Figura 38 – Interpretazione simostragrafica Rifrazione WTG6.**

### **WTG9 RIFRA P**

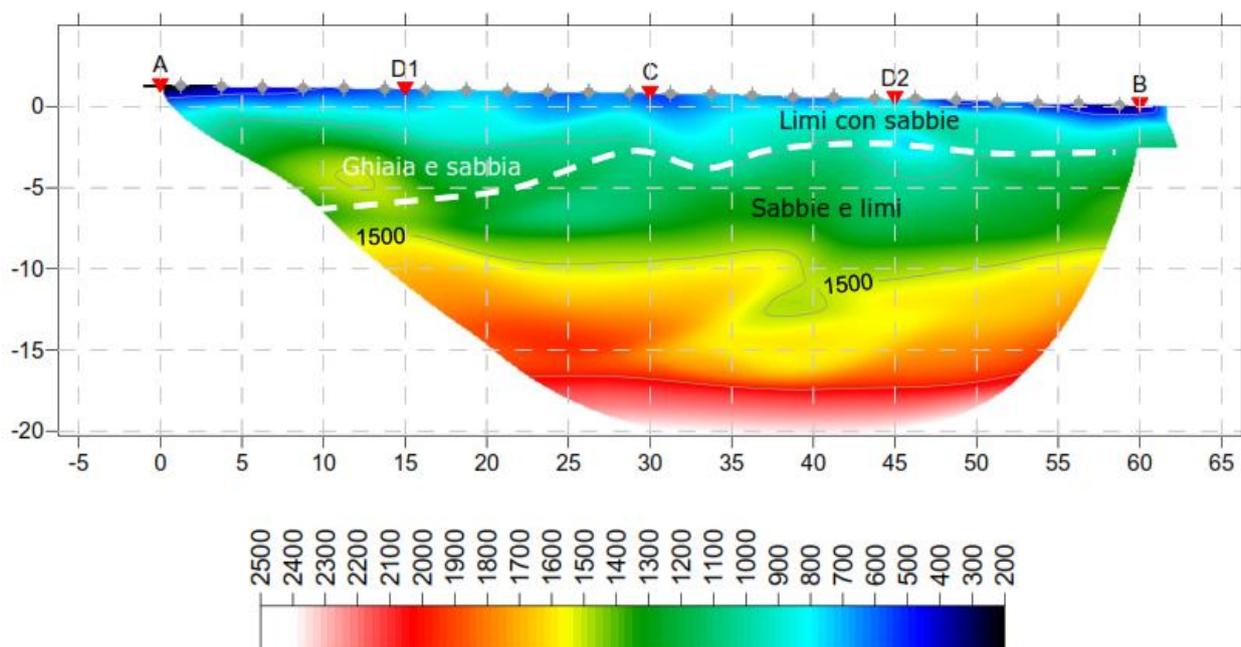
La tomografia sismica mette in evidenza un sismostrato a profondità variabile con spessore massimo 5-7 m dal p.c., caratterizzato da velocità delle onde P di circa 700-900 m/s, attribuibile alla presenza di Limi con sabbie. Segue un sismostrato le cui velocità sono di circa 1400-1600 m/s, correlabile a litotipi sabbiosi e ghiaiosi. L'ultimo sismostrato è caratterizzato da  $V_p > 2000$  m/s ed è riferibile a i limi con argilla e sabbia molto consistenti, come visibile nella seguente figura.



**Figura 39 – Interpretazione simostragrafica Rifrazione WTG9.**

### **WTG12 RIFRA P**

La tomografia sismica mette in evidenza un sismostrato a profondità variabile con spessore massimo 5-7 m dal p.c., caratterizzato da variazioni laterali di velocità; in particolare nelle progressive 5-30 m sono presenti valori velocità di circa 1200-1300 m/s attribuibile alla presenza di ghiaie e sabbie. Nelle progressive 30-60 m i valori delle velocità sono inferiori e di circa 800 m/s, attribuibili alla presenza di limi con sabbie. Segue un sismostrato le cui velocità sono di circa 1500-1700 m/s, correlabile a litotipi sabbiosi e limosi.



**Figura 40 – Interpretazione sismostragrafica Rifrazione WTG12.**

## **7.8 PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW**

### **Strumentazione utilizzata**

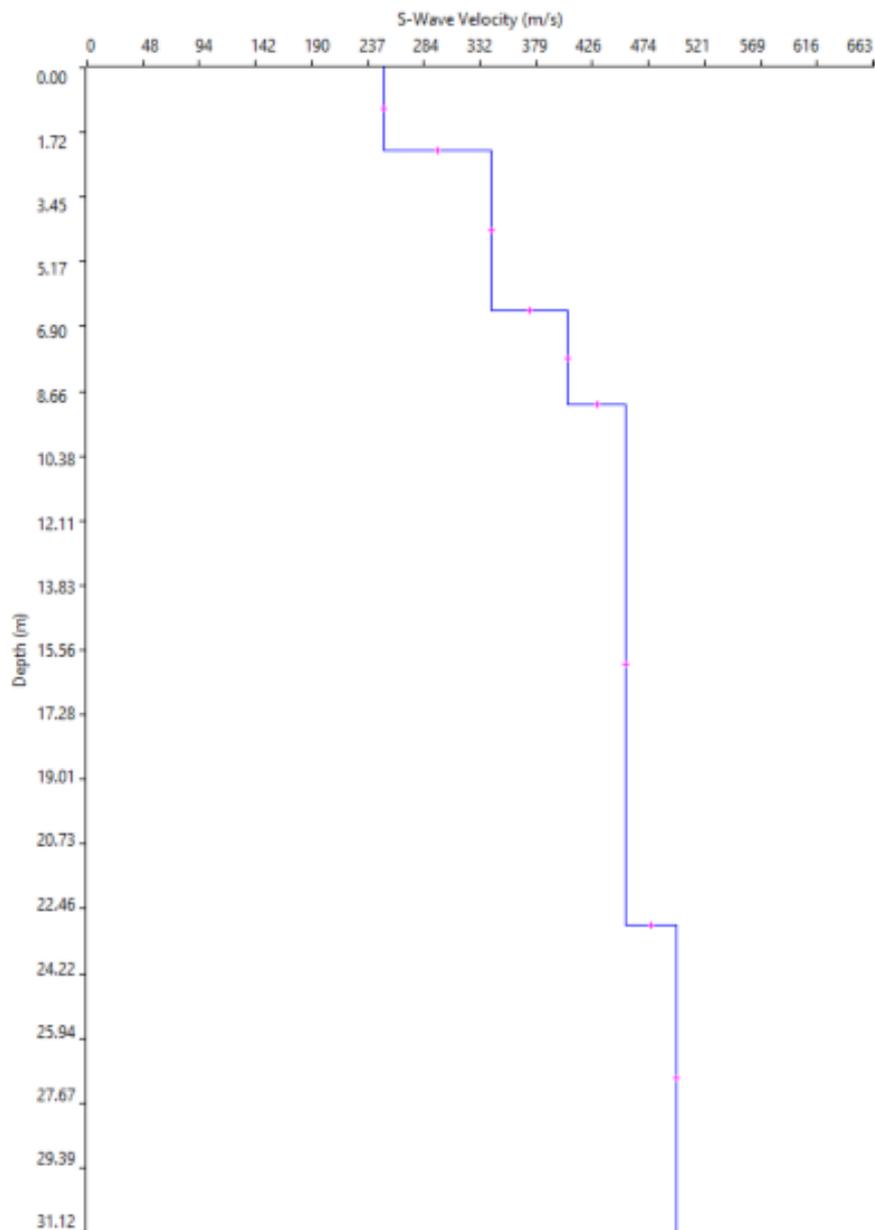
L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto da:

- sismografo;
- sorgente energizzante;
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione.

Sono state eseguite tre indagini sismiche nelle aree di interesse due con stendimento di m 53,0 mezzo di basi da 24 canali ed uno stendimento di m 41,0 mezzo di basi da 18 canali. Per tutte le indagini eseguite l'energizzazione è stata una ed è avvenuta su di una piastra di alluminio.

Per il dettaglio della metodologia e delle specifiche strumentali si rimanda nel dettaglio all'Allegato 8 - Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

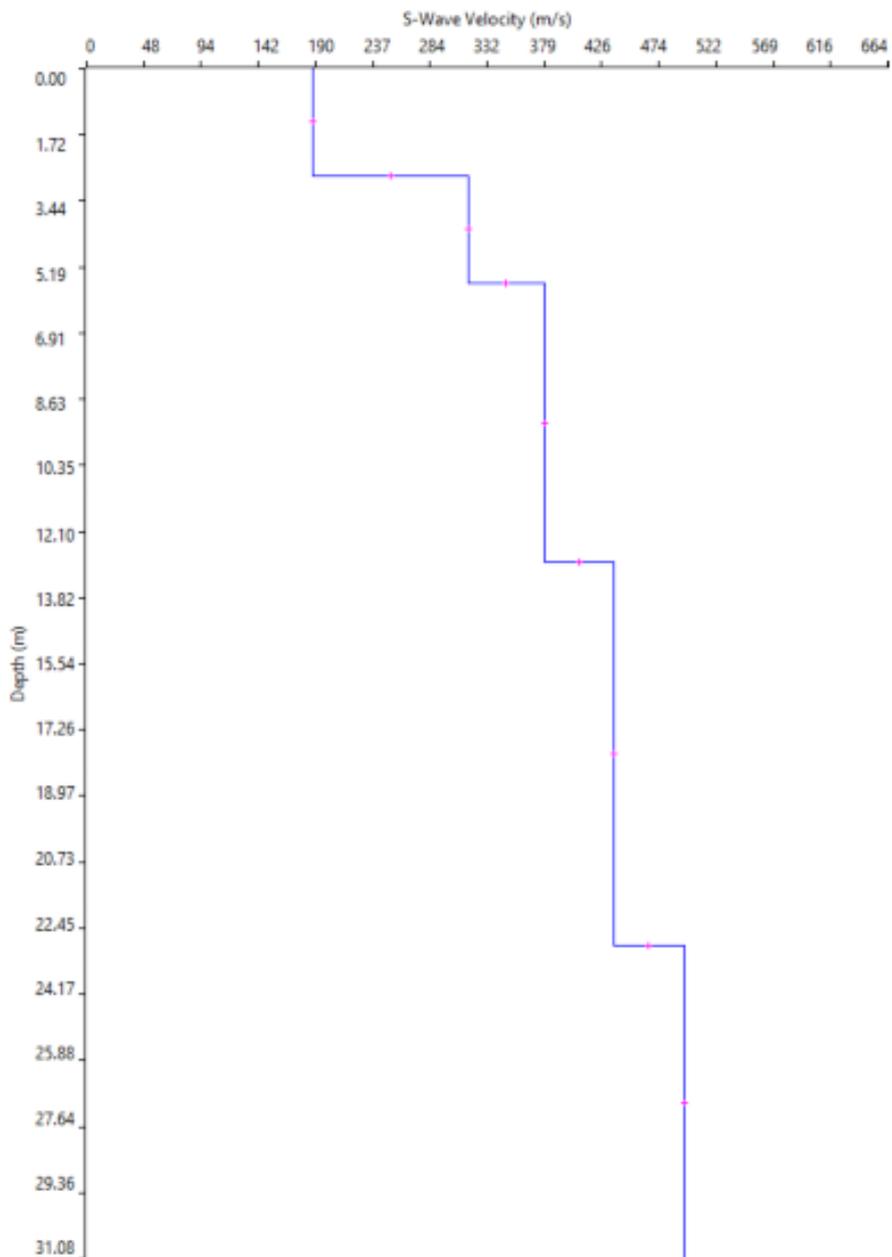
Facendo riferimento al modello medio ( $V_s$  e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione per le indagini eseguite, di seguito si riportano i profili verticali  $V_s$  identificati, sia graficamente che sotto forma tabellare.



**Figura 41 – Profilo verticale di velocità Vs MASW\_WTG6.**

SISMOSTRATI	WTG6 - MASW		
	Prof. (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)
1	2.2	2.2	251
2	6.5	4.3	341
3	9.0	2.5	406
4	22.9	13.9	455
5	30.0	....	498

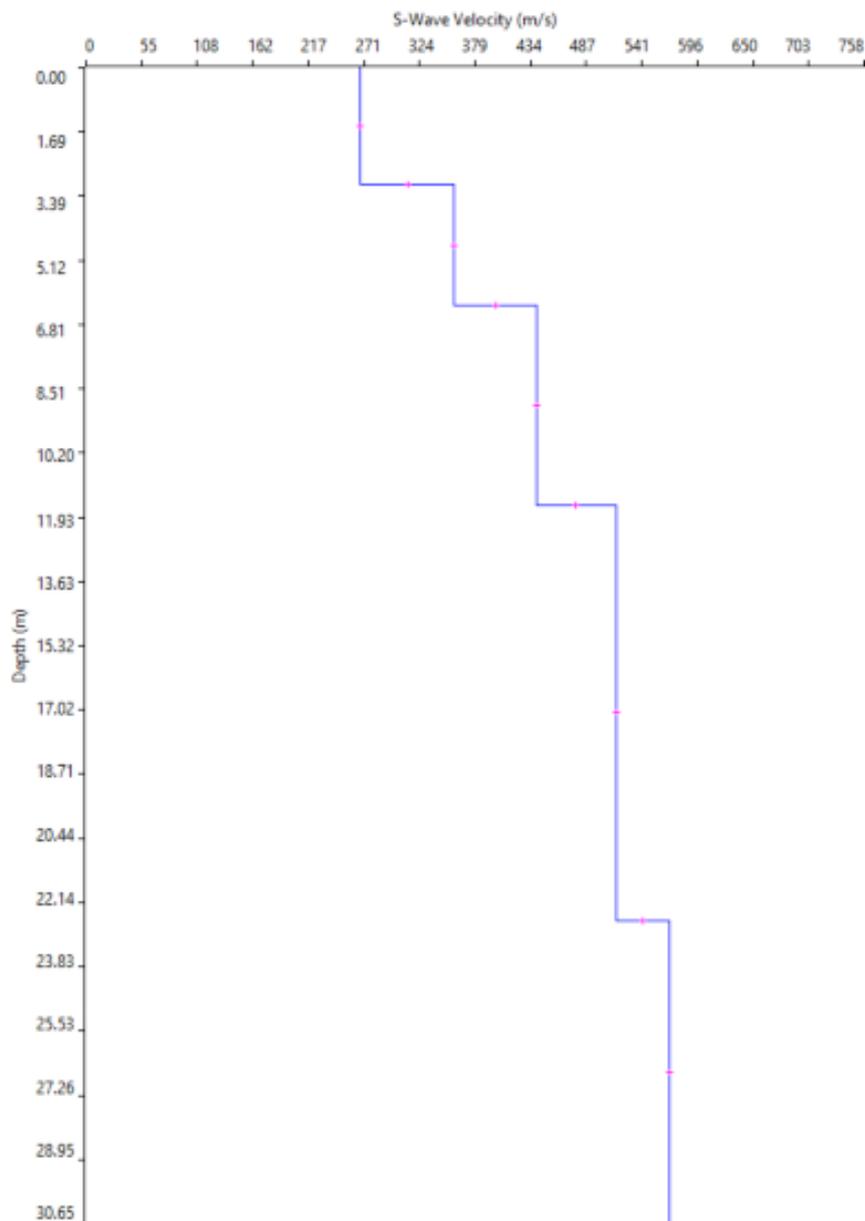
**Tabella 18: Modello medio delle Vs – MASW\_WTG6.**



**Figura 42 – Profilo verticale di velocità Vs MASW\_WTG9.**

SISMOSTRATI	WTG9 - MASW		
	Prof. (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)
1	2.8	2.8	187
2	5.6	2.8	316
3	12.9	7.3	379
4	22.9	10.0	437
5	30	....	495

**Tabella 19: Modello medio delle Vs – MASW\_WTG9.**



**Figura 43 – Profilo verticale di velocità Vs MASW\_WTG12.**

SISMOSTRATI	WTG12 - MASW		
	Prof. (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)
1	3.1	3.1	267
2	6.3	3.2	359
3	11.6	5.3	439
4	22.6	11.0	516
5	30	...	568

**Tabella 20: Modello medio delle Vs – MASW\_WTG12.**

### 7.8.a Calcolo vs, eq e definizione della categoria del suolo di fondazione (D.M. 17/01/2018 NTC2018)

Gli aggiornamenti delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018), in vigore dal 22 marzo 2018, riportano quanto segue: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alla categoria definite nella tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con

hi = spessore dello stato i-esimo;

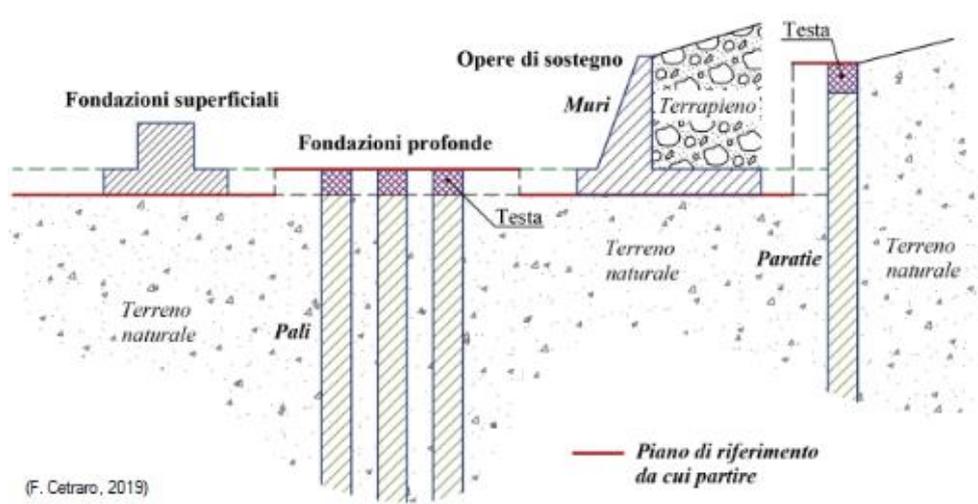
Vs,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

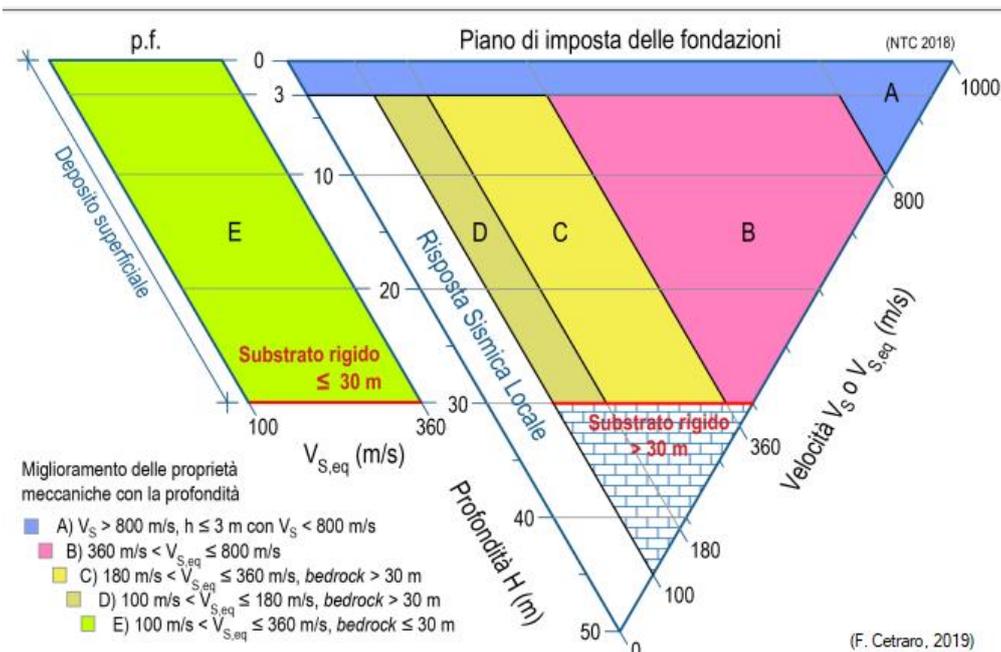
H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali 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 viene riferita al piano di imposta della fondazione (Figura 44).



**Figura 44 - Definizione della profondità del substrato.**



**Figura 45 - Diagramma per la definizione delle categorie del suolo di fondazione in accordo alle NTC 2018 § 3.2.2.**

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Categoria	Descrizione	$V_S$ min	$V_S$ max
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.	800	-
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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360	800
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180	360
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	100	180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	-	-

**Figura 46 - Categorie suolo di fondazione tabella 3.2.II delle NTC18.**

Le indagini sismiche eseguite (WTG6-MASW, WTG9-MASW, WTG12-MASW) hanno permesso una ricostruzione dell'assetto sepolto, sia in termini di spessori dei litotipi oggetto d'indagine, sia per ciò che concerne i valori di propagazione delle onde di taglio. È stato possibile definire, per ogni sismostrato indagato, un valore di  $V_s$ .

SISMOSTRATI	WTG6 - MASW		V <sub>Seq</sub> E CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE IN FUNZIONE DEL PIANO DI POSA DELLA FONDAZIONE		
	Spessori (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>Seq</sub> (m/s) RIFERITO AL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -1,0 m DAL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -3,0 m DAL P.C.
1	2.2	251	<b>V<sub>Seq</sub> = 415</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 426</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 440</b> <b>B</b>
2	4.3	341			
3	2.5	406			
4	13.9	455			
5	----	498			

**Tabella 21: Velocità, spessori dei sismostrati e Categoria di suolo di fondazione in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni, relativi alla prospezione sismica WTG6 - MASW.**

SISMOSTRATI	WTG6 - MASW		V <sub>Seq</sub> E CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE IN FUNZIONE DEL PIANO DI POSA DELLA FONDAZIONE		
	Spessori (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>Seq</sub> (m/s) RIFERITO AL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -1,0 m DAL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -3,0 m DAL P.C.
1	2.8	187	<b>V<sub>Seq</sub> = 373</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 390</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 417</b> <b>B</b>
2	2.8	316			
3	7.3	379			
4	10.0	437			
5	----	495			

**Tabella 22: Velocità, spessori dei sismostrati e Categoria di suolo di fondazione in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni, relativi alla prospezione sismica WTG9 - MASW.**

SISMOSTRATI	WTG6 - MASW		V <sub>Seq</sub> E CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE IN FUNZIONE DEL PIANO DI POSA DELLA FONDAZIONE		
	Spessori (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>Seq</sub> (m/s) RIFERITO AL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -1,0 m DAL P.C.	V <sub>Seq</sub> (m/s) -3,0 m DAL P.C.
1	3.1	267	<b>V<sub>Seq</sub> = 448</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 462</b> <b>B</b>	<b>V<sub>Seq</sub> = 483</b> <b>B</b>
2	3.2	359			
3	5.3	439			
4	11.0	516			
5	----	568			

**Tabella 23: Velocità, spessori dei sismostrati e Categoria di suolo di fondazione in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni, relativi alla prospezione sismica WTG12 - MASW.**

Dal calcolo della  $V_{seq}$  i terreni potrebbero essere assimilabili ad **una categoria di suolo di fondazione B**, per profondità del piano di posa delle fondazioni comprese tra m 0,0 e m -3,0 dal p.c., secondo gli Aggiornamenti NTC D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 3.2.II).

## 7.9 DEFINIZIONE DEI MODULI ELASTO-DIMANI DEL TERRENO

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazioni che forniscono i parametri elastici di un materiale, conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione  $V_p$ , di taglio  $V_s$  e i valori di densità ( $\rho$ ).

Pertanto, avendo determinato i valori di  $V_p$  e di  $V_s$  in corrispondenza delle prospezioni sismiche WTG6 – RIFRA P, WTG9 – RIFRA P, WTG12 – RIFRA P è possibile calcolare i valori della densità sismica e delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni:

**Densità Sismica**  $\rho = 0.51 * V_p^{0.19}$

**Rapporto di Poisson**  $\nu = \frac{1}{2} [(V_p/V_s)^2 - 2] / [(V_p/V_s)^2 - 1]$

**Modulo di Taglio**  $G = \rho V_s^2$

**Modulo di Young**  $E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$

**Modulo di Bulk**  $K = [2 \rho V_s^2 (1 + \nu)] / [3(1 - 2 \nu)]$

Dai risultati ottenuti dalle prospezioni geofisiche sono stati calcolati i parametri elasto-dinamici, visibili nella seguente tabelle.

<b>WTG6 – RIFRA P-MASW</b>								
<b>SISMO STRATI</b>	<b>PROFONDITÀ (m)</b>	<b>VP MEDIA (m/s)</b>	<b>VS MEDIA (m/s)</b>	<b>DENSITÀ SISMICA (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RAPPORTO DI POISSON (ADIMENS.)</b>	<b>MODULO DI TAGLIO G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI YOUNG E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI BULK K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	0.0-2.2	664	251	1.75	0.42	1126	3191	6380
2	2.2-6.5	996	341	1.89	0.43	2245	6437	16160
3	6.5-9.0	1232	406	1.97	0.44	3314	9537	26095

**Tabella 24: Parametri elasto-dinamici calcolati al centro dello stendimento nei sismostrati con informazioni relative sia ai valori di  $V_p$  che di  $V_s$  ottenuti dalla WTG6 – RIFRA P-MASW.**

<b>WTG9 – RIFRA P-MASW</b>								
<b>SISMO STRATI</b>	<b>PROFONDITÀ (m)</b>	<b>VP MEDIA (m/s)</b>	<b>VS MEDIA (m/s)</b>	<b>DENSITÀ SISMICA (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RAPPORTO DI POISSON (ADIMENS.)</b>	<b>MODULO DI TAGLIO G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI YOUNG E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI BULK K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	0.0-2.8	473	187	1.64	0.41	586	1650	2968
2	2.8-5.6	760	316	1.80	0.40	1831	5111	8151
3	5.6-12.9	1220	379	1.97	0.45	2882	8339	26023

**Tabella 25: Parametri elasto-dinamici calcolati al centro dello stendimento nei sismostrati con informazioni relative sia ai valori di  $V_p$  che di  $V_s$  ottenuti dalla WTG9– RIFRA P-MASW.**

<b>WTG12 – RIFRA P-MASW</b>								
<b>SISMO STRATI</b>	<b>PROFONDITÀ (m)</b>	<b>VP MEDIA (m/s)</b>	<b>Vs MEDIA (m/s)</b>	<b>DENSITÀ SISMICA (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RAPPORTO DI POISSON (ADIMENS.)</b>	<b>MODULO DI TAGLIO G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI YOUNG E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DI BULK K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	0.0-3.1	756	267	1.80	0.43	1306	3732	8730
2	3.1-6.3	1075	359	1.92	0.44	2525	7257	19272
3	6.3-11.6	1374	439	2.01	0.44	3955	11417	33473

**Tabella 26: Parametri elasto-dinamici calcolati al centro dello stendimento nei sismostrati con informazioni relative sia ai valori di Vp che di Vs ottenuti dalla WTG12- RIFRA P-MASW.**

### **7.10 PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO HVSR**

Nelle aree investigate sono state effettuate n° 3 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi, in ottemperanza al **Documento di Attuazione della L.R. 38/97** "Criteri e modalità attuativi L.R. n. 38/1997 art. 12 comma 1".

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie della Terra, è generato, oltre che dall'attività dinamica del pianeta, dai fenomeni atmosferici e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10-15 m/s<sup>2</sup> in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di fenomeni di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. L'applicazione del metodo corrisponde ad accertare che la frequenza di risonanza di uno strato coincida con la frequenza per la quale assume il valore massimo il rapporto  $RHV=S/VS$  (Horizontal to Vertical Ratio) tra gli spettri delle componenti orizzontale e verticale del moto del suolo nello stesso sito. Il metodo dei rapporti spettrali si basa sull'individuazione di un sito di riferimento, presumibilmente privo di effetti di sito rilevanti, rispetto al quale confrontare il segnale sismico del sito da analizzare.

Nakamura (1989) ha proposto una tecnica per l'interpretazione dei microtremori che dovrebbe fornire stime attendibili sia della frequenza fondamentale del deposito che dell'amplificazione relativa a tale frequenza. La tecnica di Nakamura considera i microtremori composti principalmente da onde di Rayleigh e considera che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio. In queste condizioni ci sono quattro componenti del moto sismico da considerare:

- le componenti orizzontali in superficie (HS) e alla base dei sedimenti (HB);
- le componenti verticali in superficie (VS) e alla base dei sedimenti (VB).

Secondo Nakamura è possibile stimare la forma spettrale della sorgente dei microtremori  $AS(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_B(\omega)}$$

dove VS e VB sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e alla base di sedimenti.

Nakamura definisce come effetto di sito il rapporto spettrale SE( $\omega$ ):

$$S_E(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{H_B(\omega)}$$

dove HS e HB sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto rispettivamente in superficie e alla base dei sedimenti.

Per compensare l'effetto di sito SE( $\omega$ ) dallo spettro di sorgente AS( $\omega$ ) viene calcolato il rapporto spettrale modificato SM( $\omega$ ) come:

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_s(\omega)} = \frac{H_s(\omega)/V_s(\omega)}{H_B(\omega)/V_B(\omega)}$$

Nakamura assume che per tutte le frequenze di interesse HB /VB = 1, basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremiti in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato SM( $\omega$ ) è descritto da:

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_s(\omega)} = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)}$$

L'interpretazione dei dati sismici acquisiti consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con discontinuità sismiche e cambi litologici presenti nel sottosuolo, consentendo di ricavare spessori e velocità dei vari sismo strati e di ottenere la frequenza di risonanza del sito; quest'ultima rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento dei manufatti in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nella costruzioni di fabbricati aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di doppia risonanza estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi; essa dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità media delle onde (Vs) nel sedimento secondo la seguente relazione:

$$f = Vs/4H \text{ (sistemi omogenei - isotropi a due strati)}$$

Per la registrazione del rumore sismico ambientale è stato utilizzato il Tromino (Micromed), uno strumento digitale che viene utilizzato per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale (microtremiti) nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 200 Hz delle vibrazioni. I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri orientati N-S, E-W, e verticalmente, che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore avente dinamica 24 bit equivalente. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. Questa tecnica è totalmente non invasiva, molto rapida e non necessita di stendimenti di cavi né di energizzazione esterne.

Il segnale di microtremiti, dopo essere stato acquisito viene elaborato secondo la tecnica di Nakamura

(rapporti spettrali o HVSR) tramite il software dedicato (Grilla) il quale, per ciascuna delle tre componenti del moto registrate, permette di:

- suddividere la registrazione in intervalli di qualche decina di secondi ciascuno;
- eseguire l'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
- calcolare i rapporti spettrali fra componenti del moto orizzontali e verticale;
- calcolare i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Dalle osservazioni delle curve H/V visibili in Allegato 9 - Elaborato A.2.1. - Relazione sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, relative alle registrazioni HVSR condotte sui terreni oggetto di studio si riportano in Tab. 4-8 solo le sintesi dei risultati, in termini di frequenze di amplificazione di interesse ingegneristico secondo i criteri del progetto SESAME (valori di  $H/V > 2$ ).

<b>Frequenze di sito discriminate nell'area WTG6</b>		
<b>HV1</b>	<b>Frequenza Hz</b>	<b>Ampiezza</b>
<b>F0</b>	0.4	2.48
<b>F1</b>	3.5	2.87

**Tabella 27: Frequenze di amplificazione area di prospezione WTG6.**

<b>Frequenze di sito discriminate nell'area WTG9</b>		
<b>HV1</b>	<b>Frequenza Hz</b>	<b>Ampiezza</b>
<b>F0</b>	0.28	3.81
<b>F1</b>	5.47	2.12

**Tabella 28: Frequenze di amplificazione area di prospezione WTG9.**

<b>Frequenze di sito discriminate nell'area WTG12</b>		
<b>HV1</b>	<b>Frequenza Hz</b>	<b>Ampiezza</b>
<b>F0</b>	0.31	3.35
<b>F1</b>	3.71	2.31
<b>F2</b>	7.01	2.75

**Tabella 29: Frequenze di amplificazione area di prospezione WTG9.**

I risultati delle indagini H.V.S.R. da microtremori hanno consentito di realizzare la Carta delle frequenze naturali dei terreni (Elab. A.2.2.1 - Carta delle frequenze naturali del terreno), ed hanno fornito informazioni utili a definire e delineare la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) ed hanno dato informazioni su locali criticità.

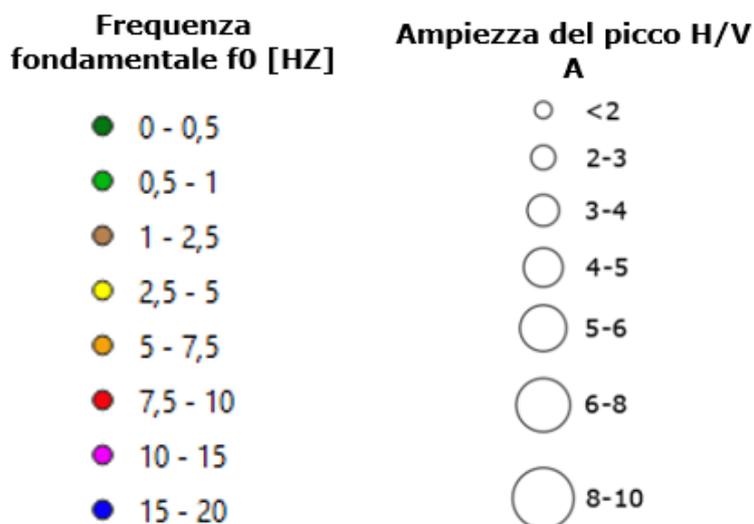
In sostanza, questa carta, elaborata sulla base della C.T.R. alla scala 1:5.000, evidenzia come la frequenza caratteristica di risonanza di un sito sia molto variabile e condizionata dai rapporti

litostratigrafici che si sviluppano con la profondità: inoltre, essa illustra che le variazioni di rigidità lungo la verticale di sviluppo non sono esclusivamente collegate ai classici ambiti geomorfologici che mettono in contatto terreni a risposta sismica differente (alluvioni su roccia, detrito su roccia, ecc.), ma indica che tali interfacce, più o meno importanti, possono trovarsi anche all'interno di un ammasso roccioso, e non solo quando si è in presenza di ammassi rocciosi particolari e poco competenti o intensamente fratturati.

Si sono osservati contrasti sismici medio-alti in corrispondenza dei terreni sciolti con frequenze variabili in base allo spessore delle coperture.

I risultati delle analisi sono stati cartografati utilizzando come legenda dei cerchi di diverso colore in base ai valori di frequenza  $f_0$  (8 classi) e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco (7 classi).

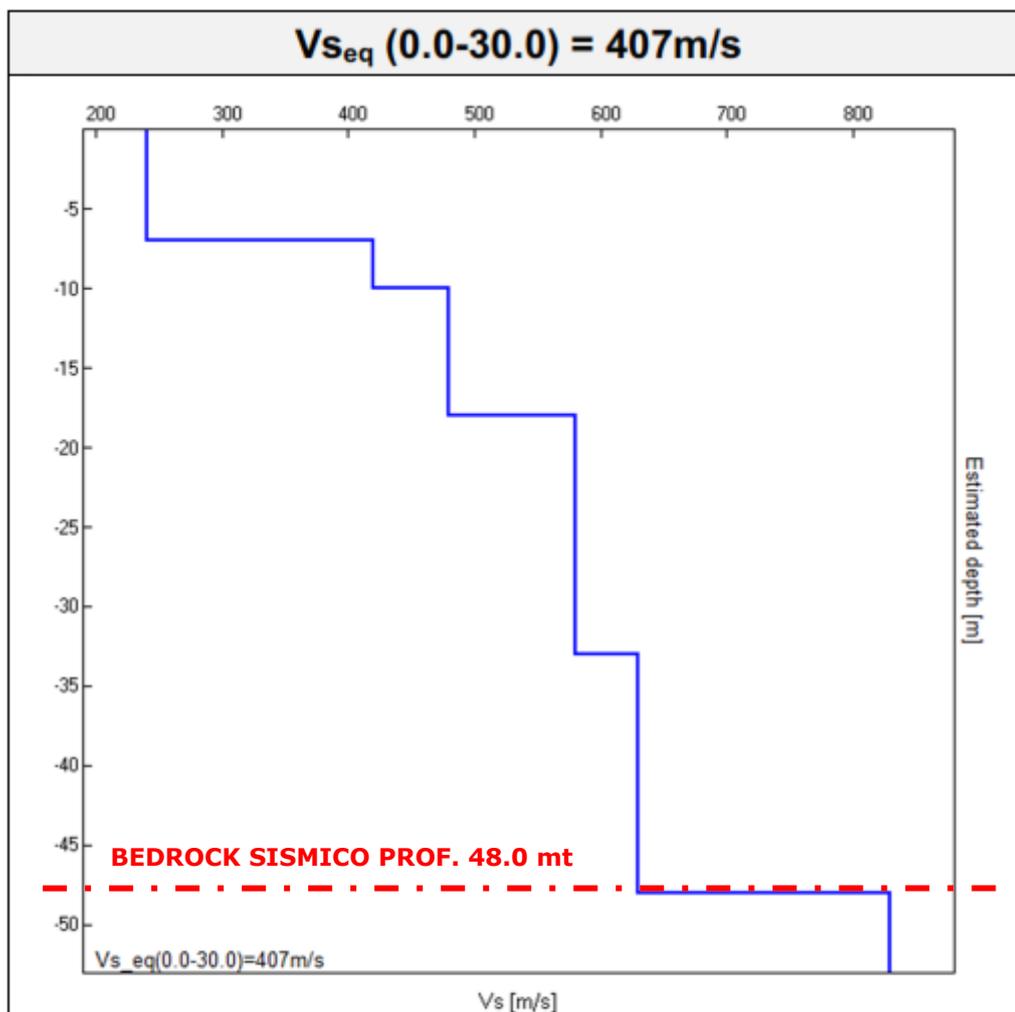
Per quanto riguarda l'intervallo frequenziale, ad ogni range è stato assegnato un cerchio colorato, mentre l'ampiezza del picco è stata rappresentata sulla base del diametro dei cerchi colorati (Figura 47).



**Figura 47 – Legenda utilizzata per la Carta delle frequenze naturali dei terreni.**

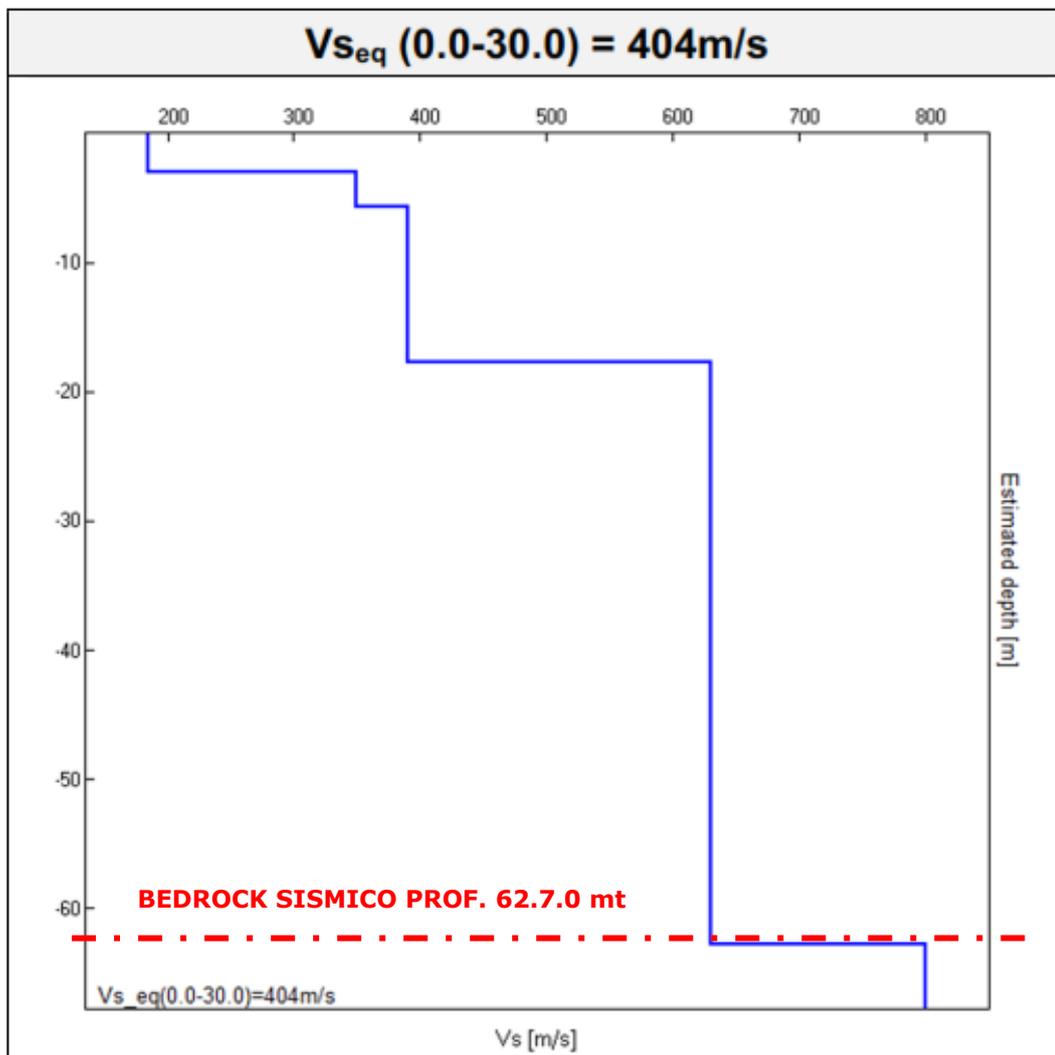
Oltre alla definizione delle frequenze naturali del terreno, le indagini HVSR eseguite hanno permesso, attraverso i profili di velocità  $V_s$  individuati dalle prove, la definizione della profondità del bedrock sismico, utile alla ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo ai fini dell'analisi di risposta sismica locale (Cfr. Capitolo 10) ai fini della redazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Di seguito si mostrano nel dettaglio i profili  $V_s$  ricavati dalle indagini eseguite.



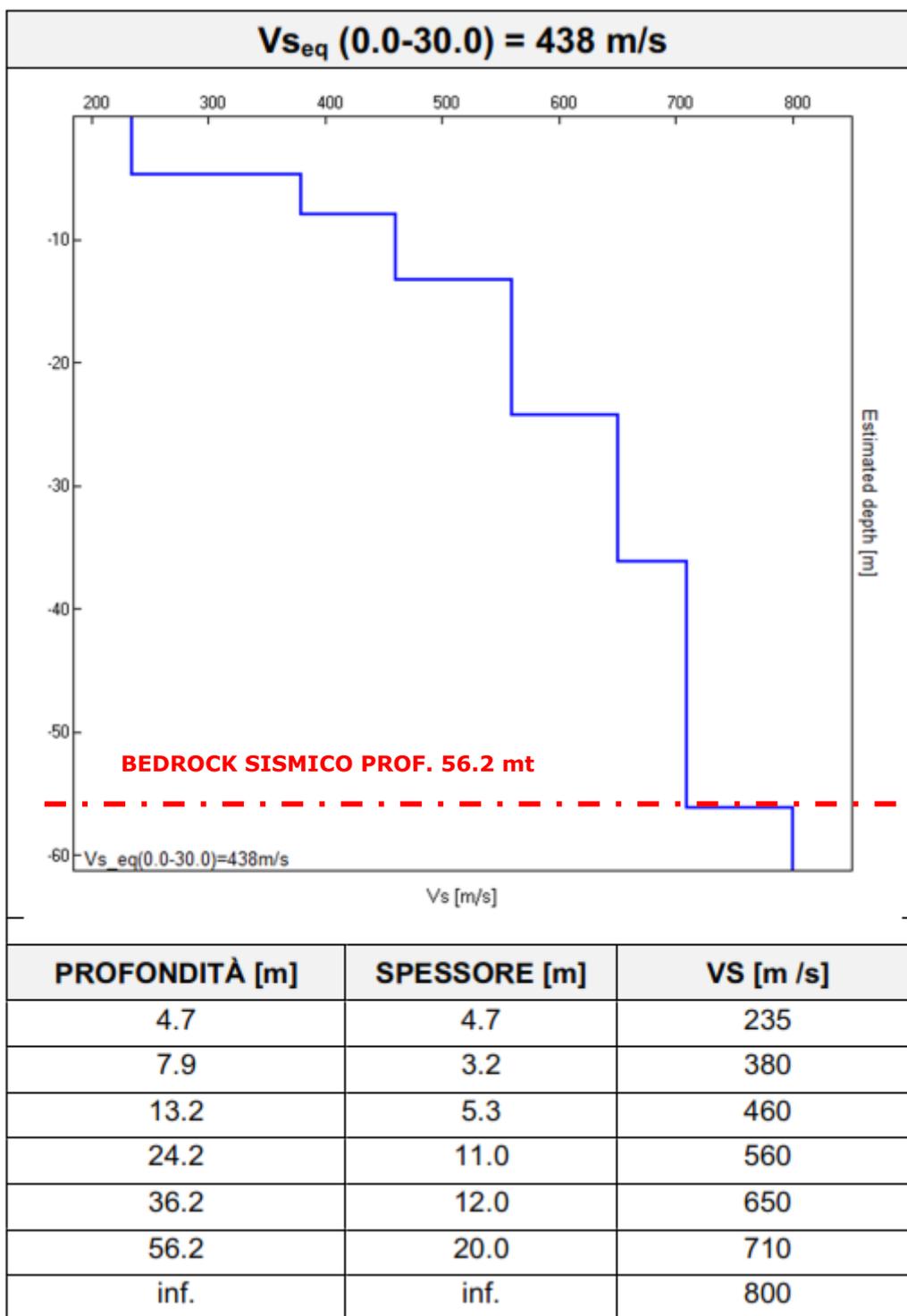
PROFONDITÀ [m]	SPESSORE [m]	VS [m /s]
7.0	7.0	240
10.0	3.0	420
18.0	8.0	480
33.0	15.0	580
48.0	15.0	630
inf.	inf.	830

**Figura 48 – Profilo  $V_s$ , calcolo  $V_{s, eq}$  e definizione del bedrock simico prova HVSr\_WTG6.**



PROFONDITÀ [m]	SPESSORE [m]	VS [m /s]
3.0	3.0	185
5.7	2.7	350
17.7	12.0	390
62.7	45.0	630
inf.	inf.	800

**Figura 49 – Profilo  $V_s$ , calcolo  $V_s$ , eq e definizione del bedrock simico prova HVSr\_WTG9.**



**Figura 50 – Profilo Vs, calcolo Vs, eq e definizione del bedrock simico prova HVSr\_WTG9.**

## **7.11 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DELLE AREE IN STUDIO**

Sulla scorta degli studi delle risultanze delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile elaborare per l'area di progetto "modello geologico del sottosuolo", il quale tiene conto di tutte le informazioni acquisite durante il presente studio, che viene nel seguito esplicitato.

I dati acquisiti hanno consentito di individuare una successione stratigrafica generale dei siti di interesse che, dall'alto verso il basso, è costituita dai litotipi di seguito descritti.

- A. Coltre superficiale pedogenizzata** di colore bruno (suolo), variamente rimaneggiata a causa delle attività agricole che interessano l'area. Si tratta di un orizzonte, di colore da marrone a marrone bruno, dal punto di vista granulometrico limo argilloso con dispersi clasti eterogenei ed eterometrici. Tale orizzonte fortemente areato e disturbato, costituisce mediamente il primo metro del sottosuolo in tutte le aree investigate, con spessore variabile da 0,50 m a 1,10 m da zona a zona. (Unità litotecnica A).
  
- B. Formazione del Conglomerato di Irsina**, costituita da ghiaia e ciottoli di natura arenacea e calcarenitica da debolmente cementate a cementate in abbondante matrice sabbiosa, di colore giallastro, con intercalazioni di lenti e livelletti di materiale argilloso-siltoso e sabbioso. Lo spessore di questi terreni è di circa 15,0 m (S-WTG6) (Unità litotecnica B). Tale litotipo di rinviene nelle aree di allocazione delle WTG1, WTG1, WTG2, WTG3, WTG4, WTG5, WTG6, WTG10.
  
- C. Formazione delle Sabbie di Monte Marano**, costituita da sabbie da medie a grossolane di colore giallo ocra, con intercalazioni verso l'alto di lenti di ghiaia. Questo litotipo è stato riscontrato nel sondaggio S-WTG9 ed S-WTG12 dove lo spessore complessivo misurato è superiore ai 30,0 metri circa (Unità litotecnica C). Interessa le aree di allocazione delle WTG1, WTG7, WTG8, WTG9, WTG11, WTG12.
  
- D. Formazione delle Argille Subappennine** costituite da argille ed argille sabbiose di colore grigio-azzurro. Il contenuto della frazione grossolana, che localmente può essere predominante, di norma va aumentando verso la parte alta della successione, specie in prossimità del passaggio stratigrafico con le sovrastanti sabbie, dove si rinvengono strati il cui spessore può raggiungere il metro (Unità litotecnica D). Costituisce il sedime di fondazione della sola WTG13

## 8. MODELLO GEOTECNICO DELLE AREE IN STUDIO

In accordo con il modello geologico, sintetizzando le risultanze delle indagini geognostiche effettuate unitamente ai dati bibliografici in possesso dello scrivente, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dalle seguenti unità geotecniche:

<b>Unità Geotecnica</b>	<b>Descrizione</b>
U.G. 1)	COLTRE SUPERFICIALE
U.G. 2)	GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSA E LIMOSA
U.G. 3)	SABBIE, SABBIE LIMOSE CON INTERCALAZIONI ARENITICHE E GHIAIOSE
U.G. 4)	SABBIE FINI LIMOSE E ARGILLE

I valori delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati ricavati dall'elaborazione di tutte le prove eseguite oltre che da dati bibliografici in possesso dello scrivente riguardanti indagini pregresse su terreni simili a quelli in studio.

In particolare sono state parametrizzate le Unità geotecniche 2, 3, 4; l'Unità 1, costituita da terreno vegetale, date le scadenti caratteristiche meccaniche non viene prese in considerazione, e dovrà necessariamente essere asportato.

Di seguito, viene esplicitata la parametrizzazione geotecnica delle singole Unità precedentemente individuate.

Si precisa che in fase di progettazione esecutiva dovranno essere svolte specifiche indagini geognostiche e geofisiche **su ogni WTG**, al fine di definire con esattezza il modello litologico e geotecnico di dettaglio caratteristico.

### **UNITA' GEOTECNICA 2: Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa**

Formazione geologica: Conglomerato di Irsina

Descrizione litologica: ghiaia e ciottoli di natura arenacea e calcarenitica da debolmente cementate a cementate in abbondante matrice sabbiosa, di colore giallastro, con intercalazioni di lenti e livelletti di materiale argilloso-siltoso e sabbioso.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente incoerente, a consistenza generalmente elevata.

Comportamento Strato: Granulare sciolto

Stato di addensamento: da addensato a semicoerente

#### **Parametri geotecnici caratteristici:**

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	= 19.5 ÷ 21.0
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	= 20.0 ÷ 22.0
$\phi'$ (°) Angolo di attrito efficace	= 35 ÷ 38
$c'$ (kPa) Coesione drenata	= -----
<b>E<sub>y</sub></b> (Mpa) Modulo Elastico	= 70 ÷ 85
<b>C<sub>u</sub></b> (kPa)	= -----

### **UNITA' GEOTECNICA 3: Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa**

Formazione geologica: Sabbie di Monte Marano

Descrizione litologica: sabbie da medie a grossolane di colore giallo ocra, con intercalazioni verso l'alto di lenti di ghiaia e livelli arenitici.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente incoerente, a consistenza generalmente elevata.

Comportamento Strato: Granulare sciolto

Stato di addensamento: da addensato a estremamente addensato.

#### **Parametri geotecnici caratteristici:**

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	= 19.0 ÷ 19.5
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	= 19.5 ÷ 20.0
$\phi'$ (°) Angolo di attrito efficace	= 29 ÷ 32
$c'$ (kPa) Coesione drenata	= 2 ÷ 3
$C_u$ (kPa) Coesione non drenata	= 60 ÷ 75
$E_y$ (Mpa) Modulo Elastico	= 15 ÷ 20

### **UNITA' GEOTECNICA 4: Depositi sabbioso-limo-argillosi e argillosi**

Formazione geologica: Argille Subappennine

Descrizione litologica: Sabbie fini con limo e argilla passanti ad argille propriamente dette

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, a comportamento coesivo.

Comportamento Strato: Coesivo

Stato di Consistenza: da mediamente consistente a duro.

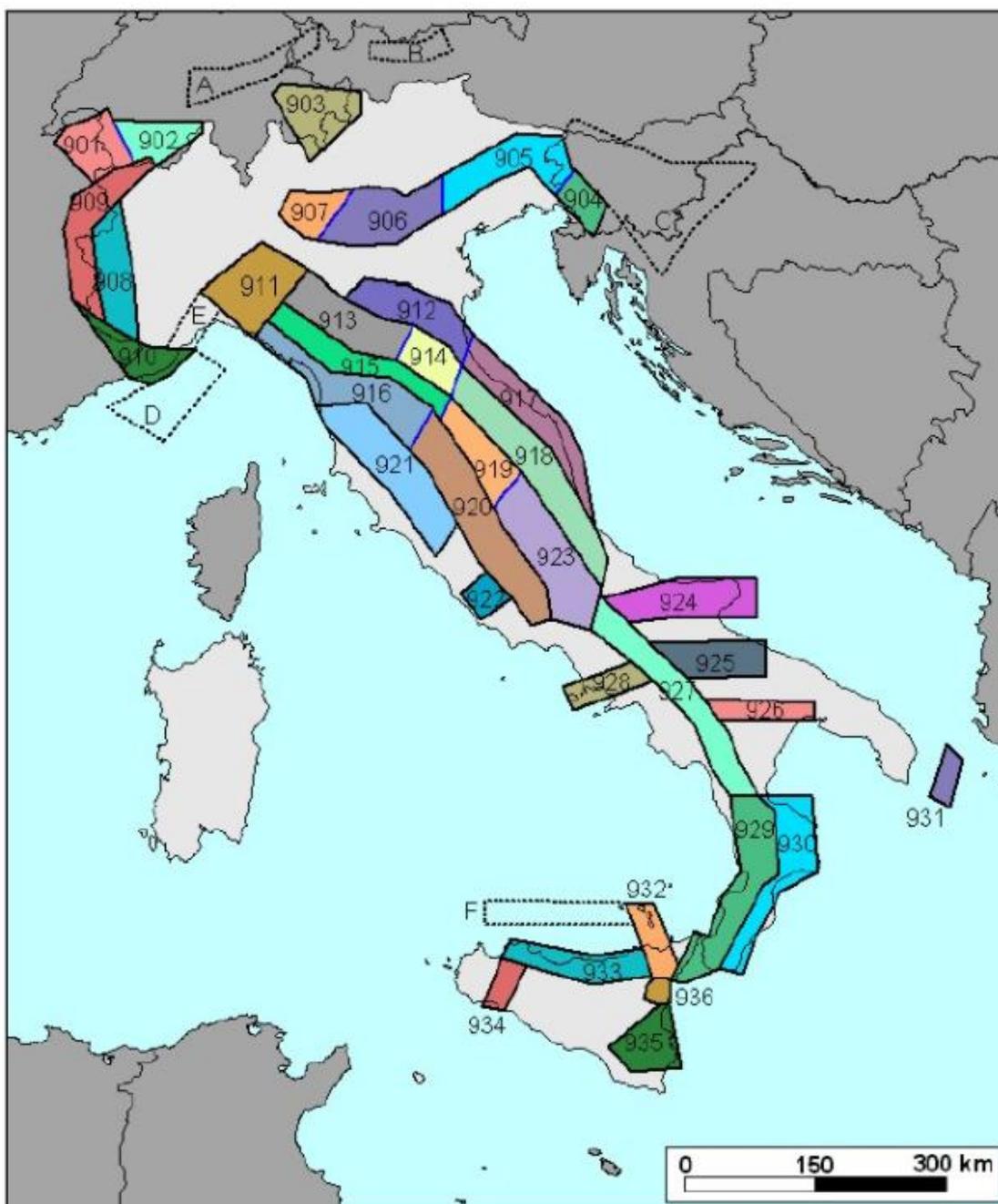
#### **Parametri geotecnici caratteristici:**

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	= 19.8 ÷ 21.0
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	= 20.0 ÷ 22.0
$\phi'$ (°) Angolo di attrito efficace	= 24 ÷ 27
$c'$ (kPa) Coesione drenata	= 15 ÷ 25
$C_u$ (kPa) Coesione non drenata	= 90 ÷ 120
$E_y$ (Mpa) Modulo Elastico	= 10 ÷ 15

## 9. SISMICITA' E AZIONE SISMICA

La Zonazione sismogenetica per il territorio nazionale, denominata ZS9, è stata eseguita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Meletti e G. Valensise - marzo 2004) che rappresenta il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone della precedente Zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone e Stucchi, 2000) e dell'introduzione di nuove zone.

La Zonazione sismogenetica ZS9 è costituita da 36 zone-sorgente identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A ad F) (Figura 51).



**Figura 51 – Zonazione Sismogenetica ZS9.**

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		CODE <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		PAGE 94 di/of 123

Oltre alla riduzione del numero di zone rispetto alla ZS4, la ZS9 è caratterizzata anche da modifiche dei limiti delle zone, che sono state effettuate tenendo conto dei nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Si deve però tener presente che i confini geografici di molte zone di ZS9 rappresentano il frutto di un compromesso tra numerosi parametri, di conseguenza, sono affetti da un certo margine di incertezza.

La geometria delle sorgenti sismogenetiche della Basilicata e, più in generale, l'Appennino Meridionale (zone da 56 a 64 in ZS4 e zone da 924 a 928 in ZS9), in seguito alla realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9, è stata sensibilmente modificata rispetto a ZS4 (Rapolla, 2005).

La zona 927 include l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da ca. 0.7 Ma, ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990). Tale zona comprende tutte le precedenti zone di ZS4 coincidenti con il settore assiale della catena, fino al confine calabro-lucano (massiccio del Pollino).

La zona 57 di ZS4, corrispondente alla fascia costiera tirrenica, è stata in gran parte cancellata. Infatti si ritiene che, in caso di zonazione della fascia tirrenica, la sismicità non sarebbe tale da consentire una definizione affidabile dei tassi di sismicità. Peraltro, il contributo che verrebbe alla PGA sarebbe del tutto trascurabile rispetto agli effetti che su questa stessa zona verrebbero dall'attivazione di sorgenti nella zona 927.

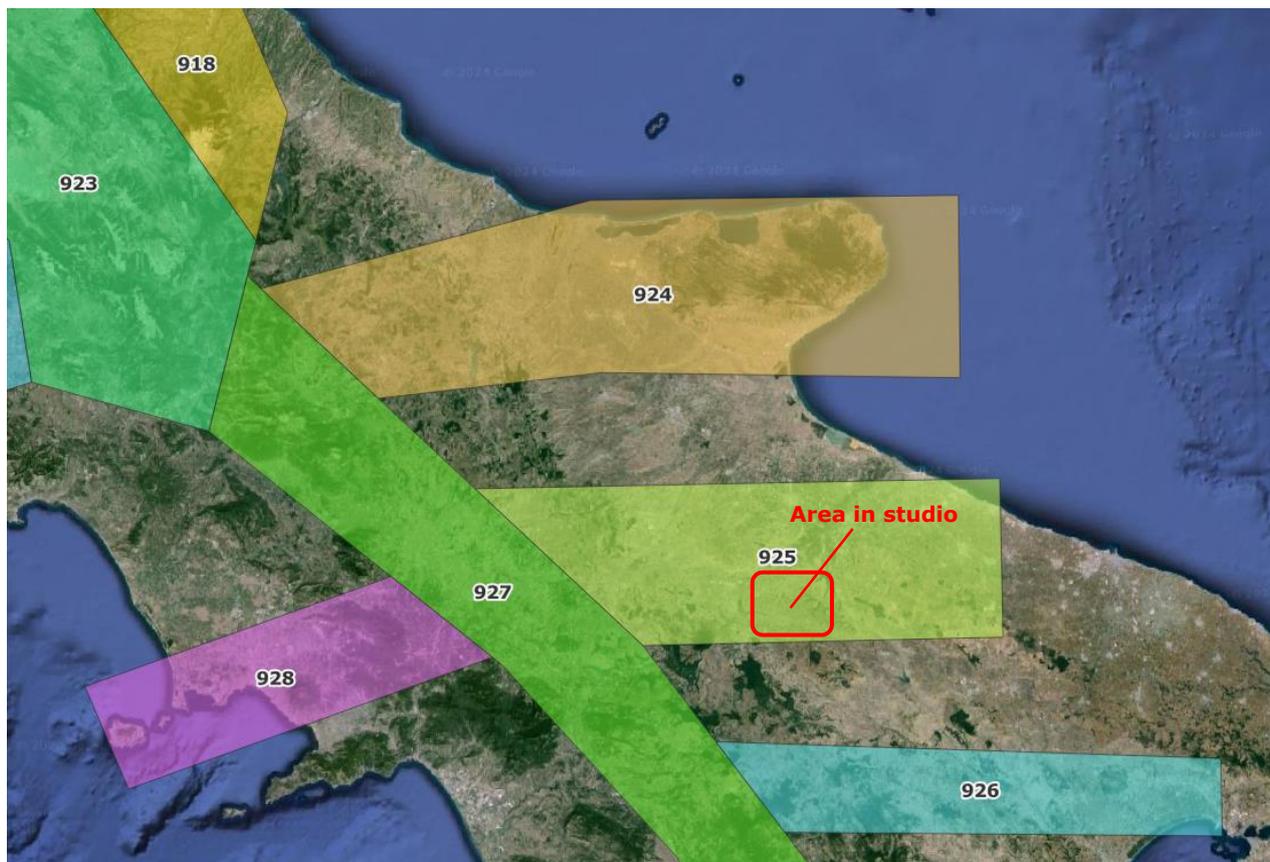
La parte rimanente della zona 57, insieme alla zona 56 sono attualmente rappresentate dalla zona 928 (Ischia-Vesuvio), che include l'area vulcanica napoletana, con profondità ipocentrali comprese nei primi 5 km.

Nell'area al confine tra la catena e la Puglia, cioè l'area dell'avanfossa e dell'avampaese apulo, le nuove conoscenze sulla sismicità locale, suggerite dalla sequenza sismica del Molise del 2002 (Di Bucci e Mazzoli, 2003; Valensise et al., 2004), hanno comportato scelte che cambiano notevolmente le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed hanno permesso di identificare sorgenti con direzione EW, caratterizzate da cinematica trascorrente.

E' stata così identificata (Fig. 30):

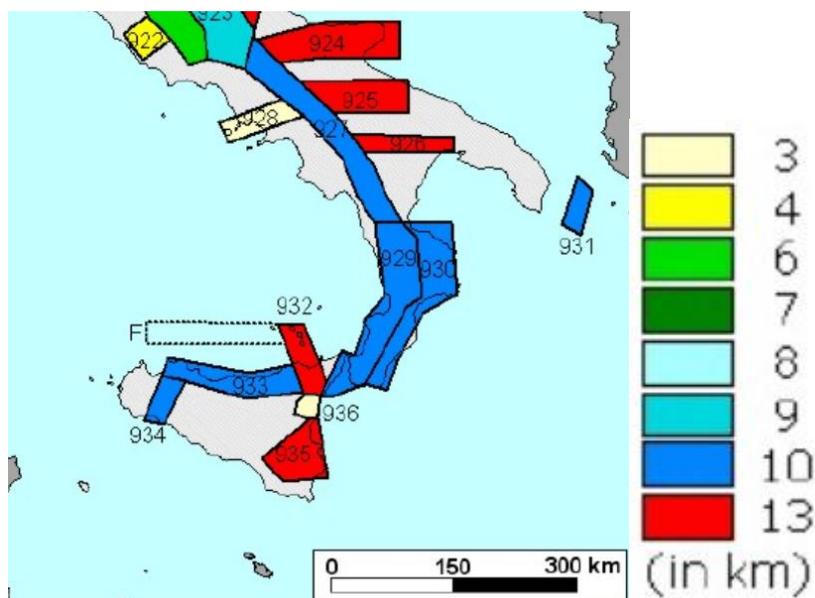
- nell'area garganica una zona 924 (Molise-Gargano) orientata E-W, che include tutta la sismicità dell'area e la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva;
- una zona 925 (Ofanto) la cui geometria trae in parte spunto dalla zona 62 di ZS4, ad andamento WNW-ESE;
- la zona 926 (Basento) ad andamento E-W, definita dall'allineamento di terremoti a sismicità medio-bassa nell'area di Potenza.

L'area di studio ricade alla **Zona sismogenetica 925** (Figura 52).



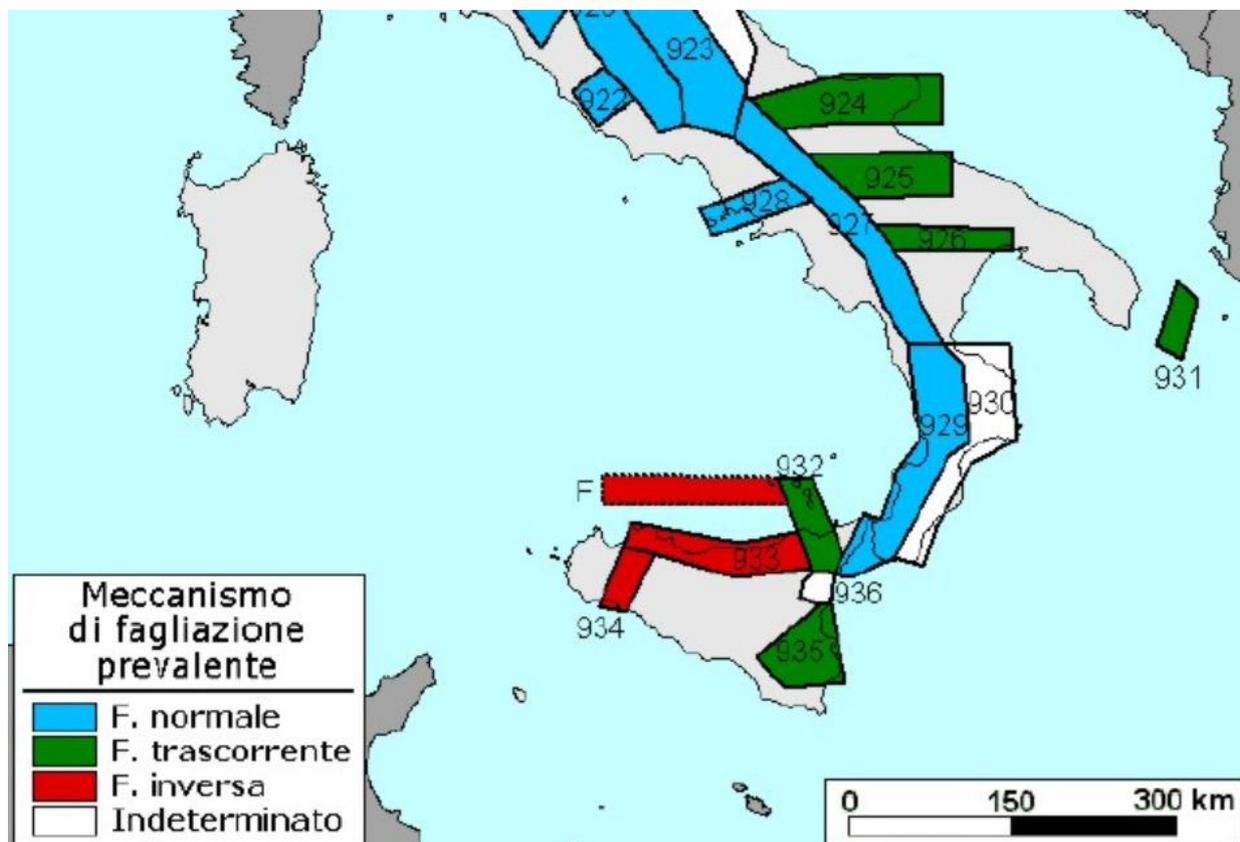
**Figura 52 – Ubicazione dell’area di studio rispetto alla Zonazione sismogenetica ZS9.**

La profondità efficace, vale a dire quella profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, per queste zone è di 13 Km (Figura 53).



**Figura 53 – Moda delle distribuzioni di frequenza in funzione della profondità dei terremoti riportati nel catalogo strumentale INGV (1983-2002) per tutte le ZS di ZS9.**

Il meccanismo di fagliazione prevalente per le zone 925 e 926, dove per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi, è di tipo trascorrente (Figura 54).



**Figura 54 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9.**

Oltre alla consultazione di numerose pubblicazioni specialistiche, si è ritenuto significativo considerare, per la numerosa raccolta di dati e per la loro semplicità di sintesi, la banca dati ITHACA dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca dell'Ambiente) (Figura 55).

ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) è un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare riguardo ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. Difatti, studi paleosismici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche (faglie attive) hanno interessato molte strutture prima considerate silenti. La stima della pericolosità legata ai terremoti ed alla fagliazione superficiale è un tema molto importante ed assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio sismico.

Nel territorio in esame vengono riportate 2 faglie primarie attive (faglie associabili a moderata-alta sismicità e/o creep, generalmente con lunghezza di vari chilometri) capaci, con lunghezza compresa fra 17.8 e 35.6 Km e cinematismo prevalentemente normale (*Eastern Ofanto Valley 43100; Foggia -*

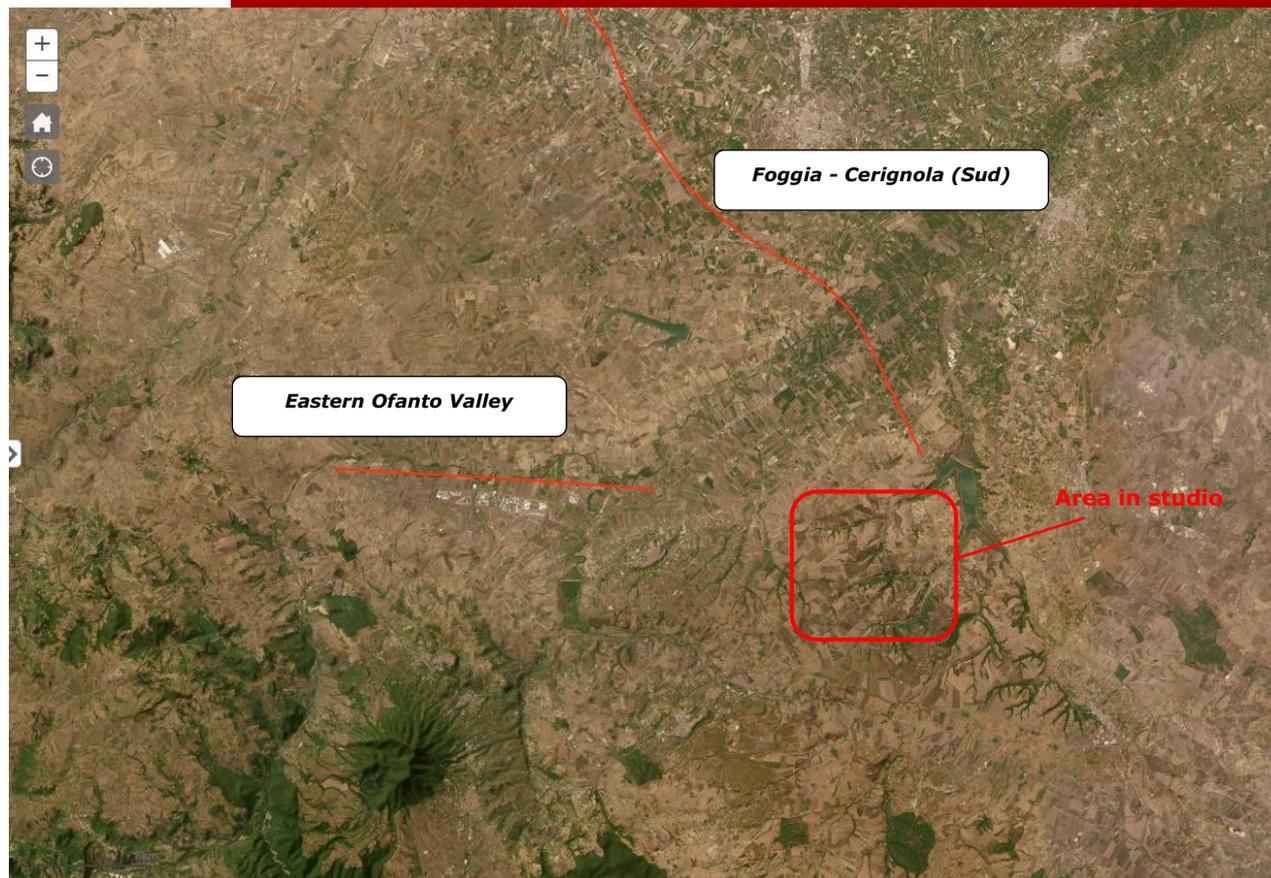
*Cerignola (Sud) 44101).*



**ISPRA**

**ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI**

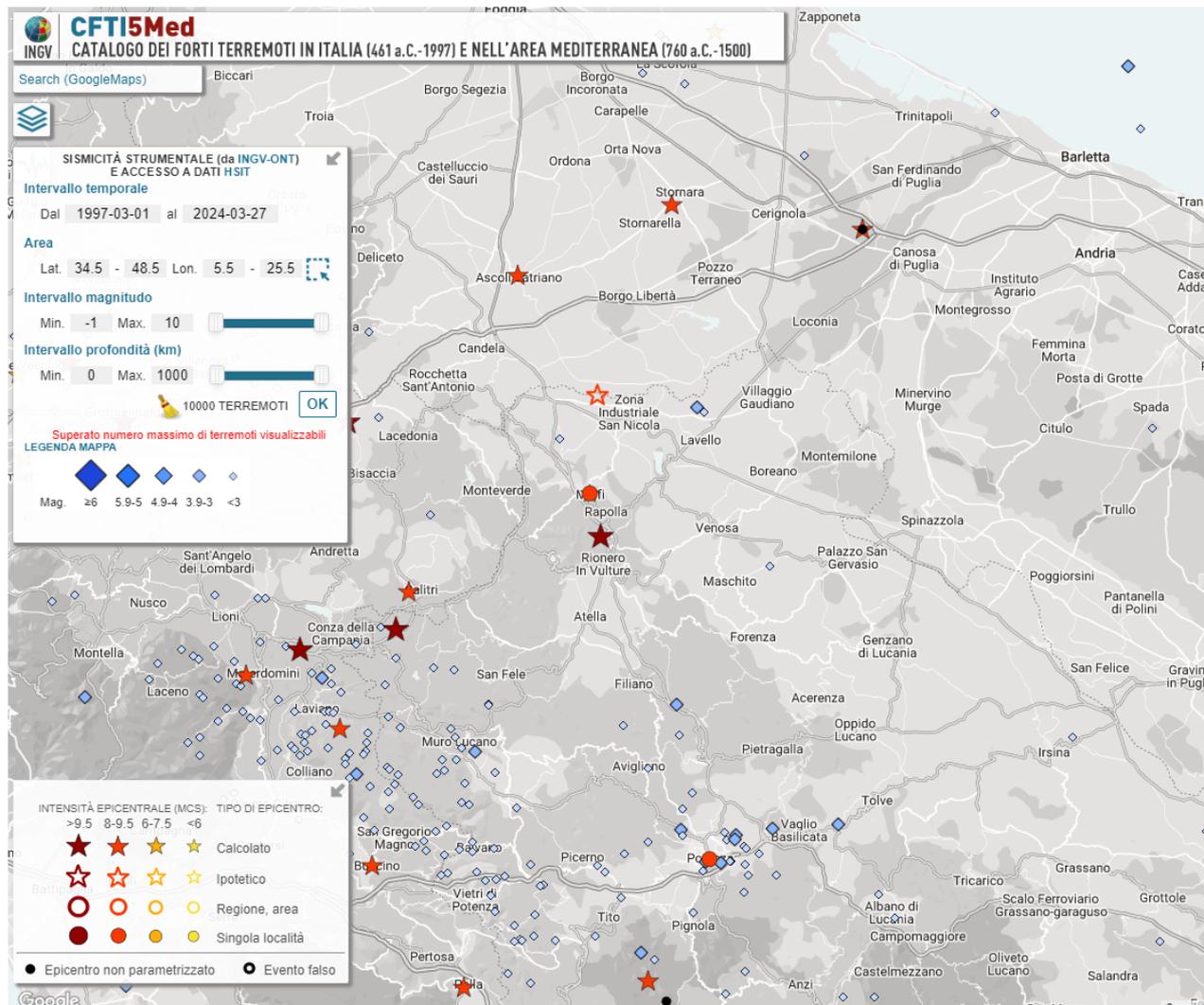
ISPRA-Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia



**Figura 55 - Faglie capaci da ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI - ISPRA-Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>).**

## **9.1 SISMICITA' STORICA**

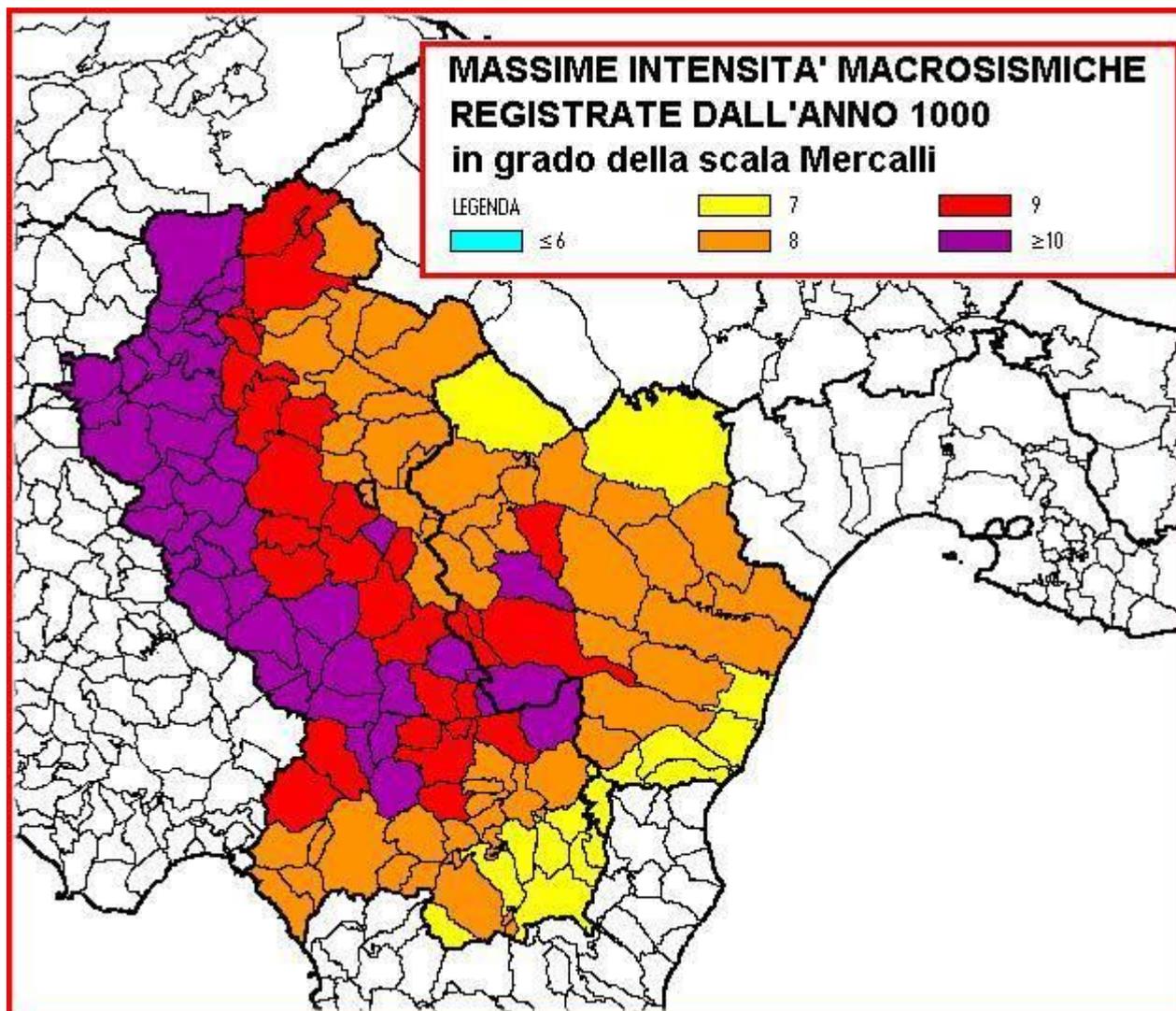
I maggiori terremoti storici risentiti nella Regione hanno area epicentrale lungo la dorsale appenninica, al confine con la Campania. La sismicità strumentale degli ultimi 35 anni è concentrata anch'essa lungo la catena appenninica; in particolare emergono le sequenze del 1990-1992 nell'area del potentino, e quelle del 1998 e del 2012 nell'area del Pollino (Figura 56).



**Figura 56 – Maggiori terremoti storici risentiti nella Regione Basilicata (Fonte: INGV CFTI5Med – Catalogo dei forti terremoti in Italia e nell’area mediterranea).**

In termini di massima intensità macrosismica avvertibile in seguito ad eventi sismici, la zona in esame risente gli effetti in forma piuttosto accentuata come è confermato dai campi macrosismici dei maggiori eventi storici per i quali nell’area di studio è stato registrato l’8° grado della scala MCS. Tale valore è in accordo con le intensità dei terremoti registrate a Matera, evidenziata dalla storia sismica e dai cataloghi di terremoti consultati.

Appare, pertanto, che l’8° grado MCS può essere considerato come il massimo grado di danneggiamento per il **Comune di Montemilone** (Figura 57).



**Figura 57 – Massime intensità macrosismiche (MCS) registrate in Basilicata.**

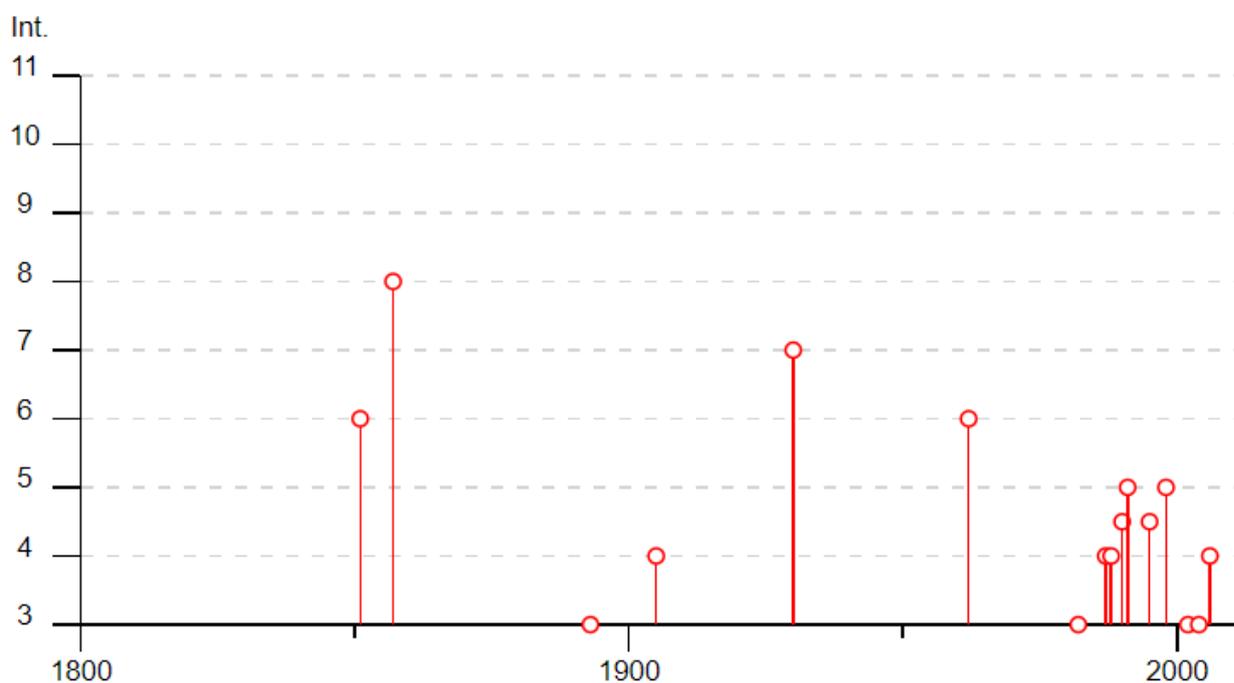
Il Database Macrosismico Italiano permette di visionare la storia sismica delle località italiane. La versione DBMI15 v. 4.0 stata realizzata nell'ambito delle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro tra il Dipartimento di Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia 2012-2021.

La versione 2022 del Database Macrosismico Italiano (DBMI15), è consultabile liberamente all'indirizzo [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_eq/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/). L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2020 e contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti. La storia sismica del Comune di Montemilone è di seguito riportata (Figure 58 e 59).

## Montemilone

PlaceID	IT_63165
Coordinate (lat, lon)	41.032, 15.972
Comune (ISTAT 2015)	Montemilone
Provincia	Potenza
Regione	Basilicata
Numero di eventi riportati	19



**Figura 58 – Storia sismica del Comune di Montemilone.**

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
6	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10 6.52
8	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11 7.12
3	1893	08	10	20	52		Gargano	69	8 5.39
4	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11 6.95
7	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10 6.67
NF	1957	05	03	03	29	34	Potentino	36	5 4.09
6	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9 6.15
3	1982	03	21	09	44	0	Golfo di Policastro	125	7-8 5.23
4	1987	01	28	05	33	2	Potentino	62	5 4.54
4	1988	04	26	00	53	4	Adriatico centrale	78	5.36
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375	5.77
5	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7 5.08
4-5	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6 5.15
NF	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6 4.90
5	1998	04	07	21	36	0	Valle dell'Ofanto	45	5 4.31
3	2002	04	18	20	56	4	Appennino lucano	164	5 4.34
3	2004	09	03	00	04	1	Potentino	156	5 4.41
4	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384	4.64
NF	2006	12	10	11	03	4	Adriatico centrale	54	4.48

**Figura 59 – Storia sismica del Comune di Montemilone.**

## 9.2 ZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio n°3274 del 20/03/2003 pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003, e successivamente ai sensi della Delibera di Consiglio Regionale della Regione Basilicata n°731 del 19/11/2003, il Comune di Venosa e il Comune di Montemilone vengono classificati in ZONA 2, che è la zona intermedia di pericolosità in termini di zone soggette a rischio e pericolosità sismica.

Secondo la nuova zonazione sismica della L.R. 9/2011 e s.m.i., il **Comune di Montemilone** è classificato come **Zona 2b** a cui è attribuito il valore di **PGA di 0.225 g**.

La *pericolosità sismica di base* è definibile in linea generale come la previsione probabilistica che si possa verificare un evento sismico in una certa area in un determinato intervallo di tempo.

Come parametro per caratterizzare la pericolosità sismica è proposto, un valore d'accelerazione di picco del suolo (Peak Ground Acceleration – PGA) prodotto dai terremoti attesi in un sito in condizioni standard (superficie piana su roccia o suolo molto rigido): il fattore di scala del terremoto di progetto è quindi definito in base a un particolare valore di PGA, cui corrisponde una definita probabilità di essere superato in un definito arco di tempo (50 anni per le verifiche di resistenza al collasso e 10 anni per quelle di limitazione). Tale valore di PGA è denominato "accelerazione del suolo di progetto" (design

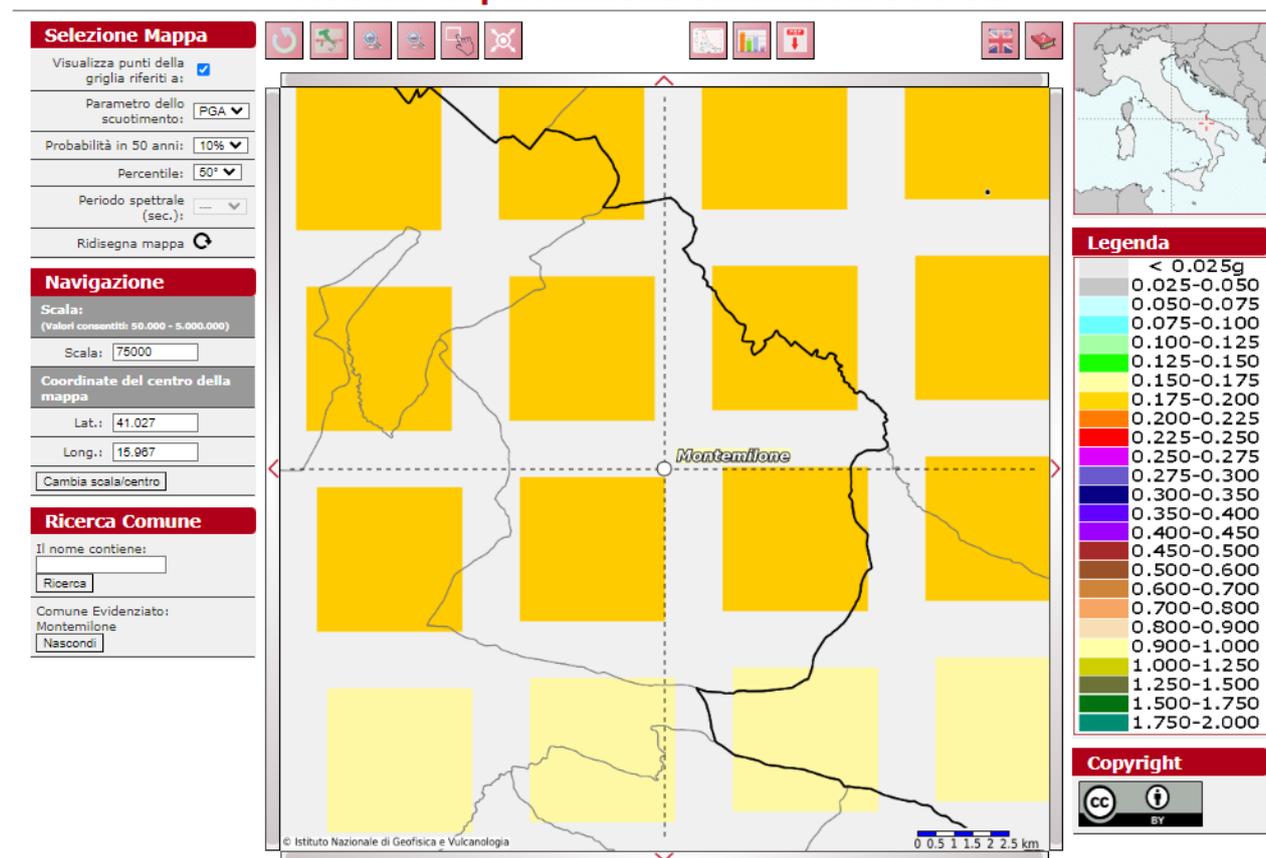
ground acceleration - DGA). La scelta del valore di probabilità che individua il valore della DGA è demandata alle autorità nazionali, anche se si raccomanda l'adozione di una probabilità del 10% (che, rapportato a 50 e 10 anni, corrisponde a un tempo medio di ritorno di 475 e di 95 anni, rispettivamente per gli eventi su cui verificare i requisiti di resistenza al collasso e di limitazione del danno).

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riportata nella Figura 53 ed elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, approvata con Ordinanza n.3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 Aprile 2006, è diventata la mappa di riferimento prevista dall'Ordinanza n.3274 del 2003, All.1.

In tale cartografia l'area di progetto ricade in una zona con accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat .A) tra 0.175 - 0.200 g. (Figura 60).



### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



**Figura 60 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A). Fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.**

La pericolosità sismica viene quindi definita in termini di:

- Accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (Categoria suolo **A**), con superficie orizzontale (Categoria topografica **T1**);
- Ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione, a questa corrispondente, **Se(T)**, con

riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

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

- Accelerazione orizzontale massima al sito (**ag**);
- Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (**Fo**);
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (**Tc\***)

## **10. ANALISI DI RISPOSTA SIMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III**

Come previsto all'art. 2, comma 7 della L.R. Basilicata n. 9 del 07/06/2011, per lo studio di microzonazione sismica dell'area interessata dagli interventi, è necessario redigere la Carta di microzonazione sismica del livello 3.

Per la definizione e redazione della Carta di microzonazione sismica del livello 3 è necessario fare riferimento alle indicazioni riportate negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica" (ICMS).

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno la finalità di evidenziare la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma.

Le carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 caratterizzano con valori numerici le microzone sismicamente omogenee e definiscono una scala di pericolosità sismica locale.

La caratterizzazione avviene mediante l'individuazione di un fattore di amplificazione del moto (FA).

Seguendo le indicazioni riportate negli ICMS si è proceduto all'elaborazione della sismicità dell'area di studio attraverso:

- l'analisi ed interpretazione delle indagini eseguite, finalizzate alla modellazione geolitologica e geotecnica del substrato ed all'individuazione dei parametri utili per la caratterizzazione sismica del sito
- la determinazione dei fattori FA e FV con input definito da accelerogrammi, così come indicato a pagg. 88 e 89 del ICMS (volume 1).

Sulla scorta dello studio geologico e litologico di dettaglio condotto nelle aree di studio e dell'elaborazione ed interpretazione delle campagne di indagine eseguite, ai fini della microzonazione sismica sono stati presi in considerazione i risultati delle indagini riferite alle verticali poste in corrispondenza dell'ubicazione dei manufatti oggetto di intervento diretto. Lungo tali verticali il modello geolitologico è stato ricostruito sulla base dei sondaggi meccanici, delle Masw e della misura HV.

Per la stima dei fattori di amplificazione (FA) in superficie riscontrabili nell'area di studio si è proceduti con un'analisi sismica 1D, come richiesto nelle NTC 2018 (cap. 3.2.2).

Per questo studio sono stati utilizzati due software specifici: Rexel 3.5 (Iervolino et al.,2010)<sup>1</sup>, per l'estrazione dei moti di input, e STRATA (Kottke & Rathje, 2008) per la definizione della risposta sismica locale.

I parametri relativi alla scelta progettuale adottati sono i seguenti:

**Vita Nominale (Vn):** 50 anni

**Coefficiente d'uso (Cu):** 2 in considerazione del fatto che le opere in progetto ai sensi delle NTC2018,

---

<sup>1</sup> Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. - REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362, 2010 DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

<b>SCS ENLIN S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02703630745		<b>CODE</b> <b>SCS.DES.R.GEO.ITA.W.5681.001.00</b>
		<b>PAGE</b> 105 di/of 123

appartengono alla **Classe d'Uso IV**

**Vita di riferimento (Vr): [Vr = Vn \*Cu] = 100 anni**, che nello Stato Limite della Salvaguardia (SLV) corrisponde ad un periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica pari a **949 anni**.

In prima analisi sono state definite le coordinate del sito di riferimento, al fine di stimare l'accelerazione di base del sito di progetto (**ag**), parametro utile per la procedura finale di normalizzazione degli spettri di risposta.

Le coordinate del sito di riferimento per l'area di progetto sono (ED50):

*Longitudine: 15.944*

*Latitudine: 41.042*

Inserendo tali coordinate (ed i relativi parametri della scelta progettuale sopra riportati) nel programma Spettri-NTC ver. 1.0.3. otteniamo un valore di **ag = 0,263** per lo Stato Limite SLV.

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info  
 Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Vita di riferimento (in anni) -  $V_R$   info  
 Vita sismica (in anni) -  $T_R$   info

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{V_R})$$
**Cap. 3.2.1 delle NTC Formula (3.20)**

SLO - $P_{V_R} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>
SLD - $P_{V_R} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>
SLV - $P_{V_R} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
SLC - $P_{V_R} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

Elaborazioni: Grafici parametri azione, Grafici spettri di risposta, Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	60	0,066	2,469	0,309
SLD	101	0,087	2,434	0,336
SLV	949	0,263	2,372	0,408
SLC	1950	0,369	2,313	0,426

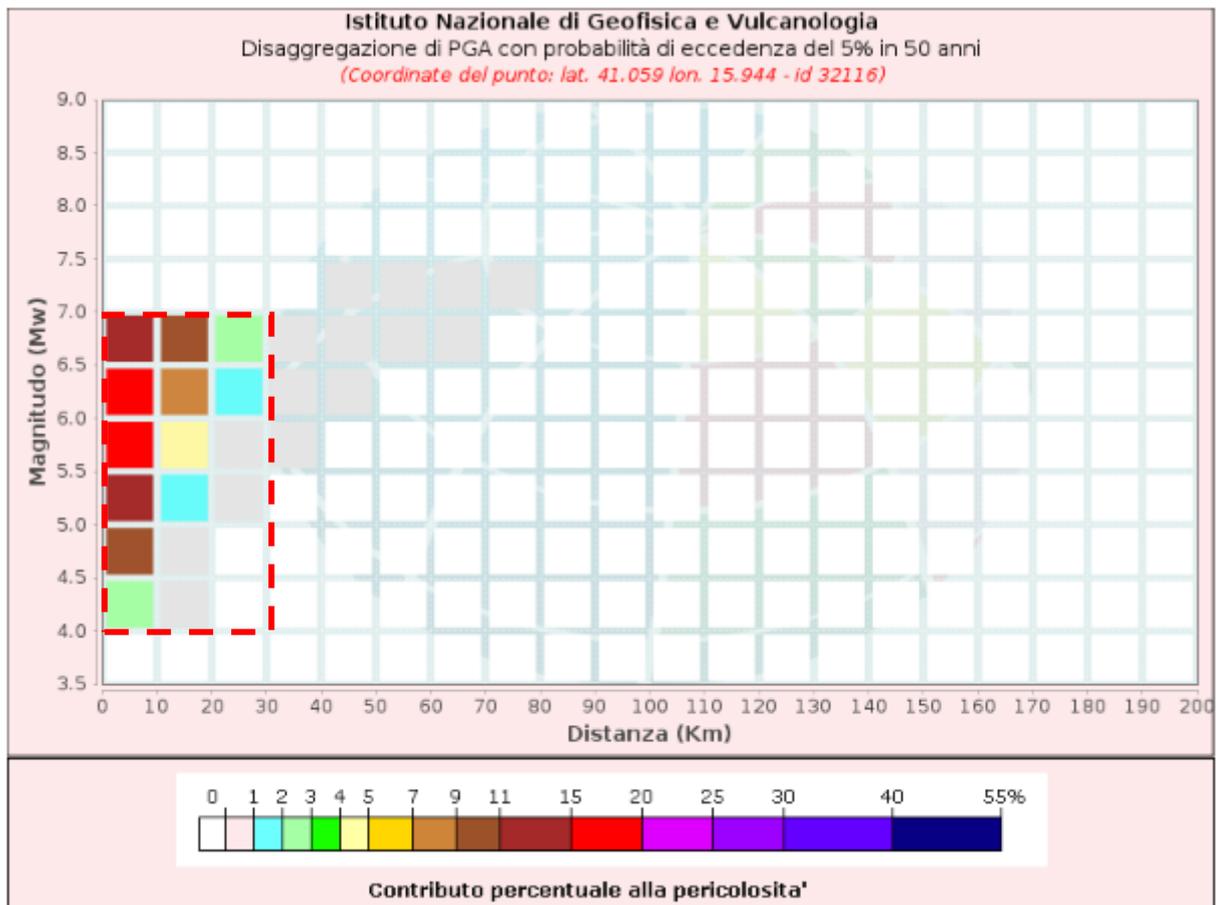
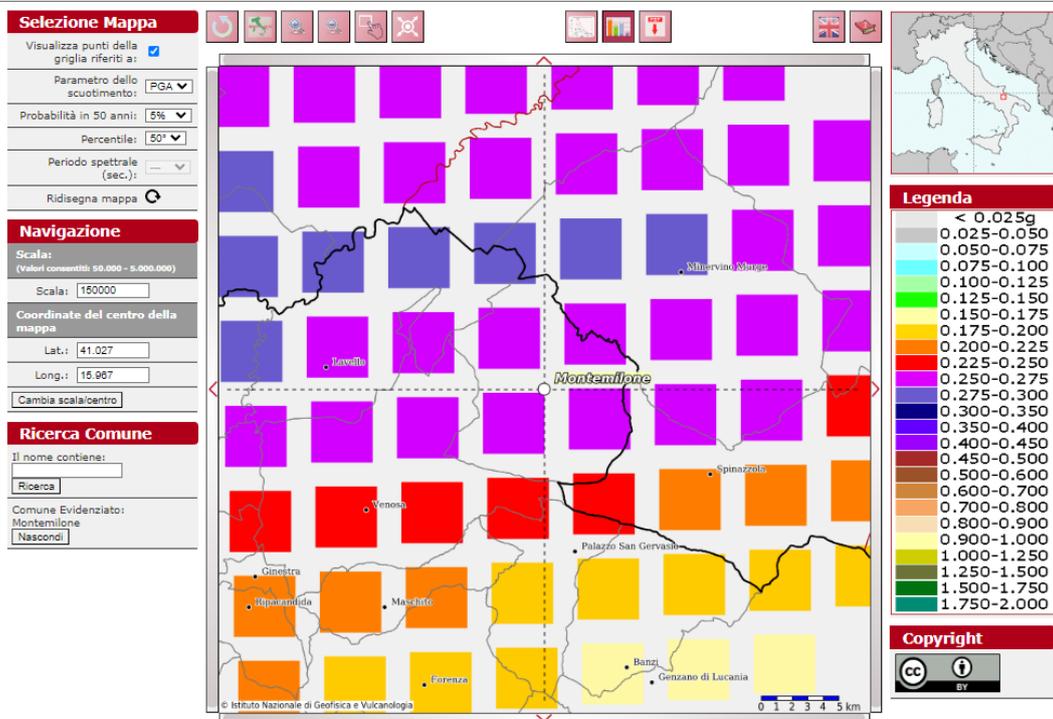
LEGENDA GRAFICO: --- Strategia per costruzioni ordinarie, - - - Strategia scelta

**Figura 61 – Definizione dei parametri della scelta progettuale da Spettri-NTC ver. 1.0.3.**

Sulla base delle coordinate del sito e utilizzando le Mappe interattive di Pericolosità sismiche, collegandosi al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, è possibile conoscere **i dati di disaggregazione del sito in esame**. Come si evince dalla figura che segue sono stati individuati i parametri di Magnitudo compresi fra 4 e 7 e una distanza epicentrale compresa fra 0 e 30 km. Questi dati non comprendono i parametri di M e R indicati nella **L.R. n. 9 del 2011**, e pari rispettivamente a 6.3 e 30 Km per il Comune di Montemilone, mostrati nella tabella sottostante.

COMUNE	Zona Sismica OPCM3274	Nuova Zonazione Sismica	PGA Subzona (g)	Magnitudo	Distanza
Montemilone	2	2b	0.225	6.3	30

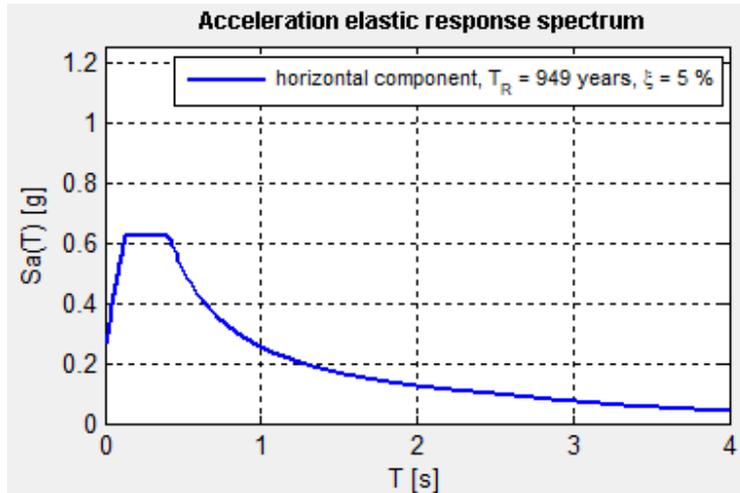
**Modello di pericolosità sismica MPS04-S1**



**Figura 62 – Parametri di disaggregazione per l'area di interesse.**

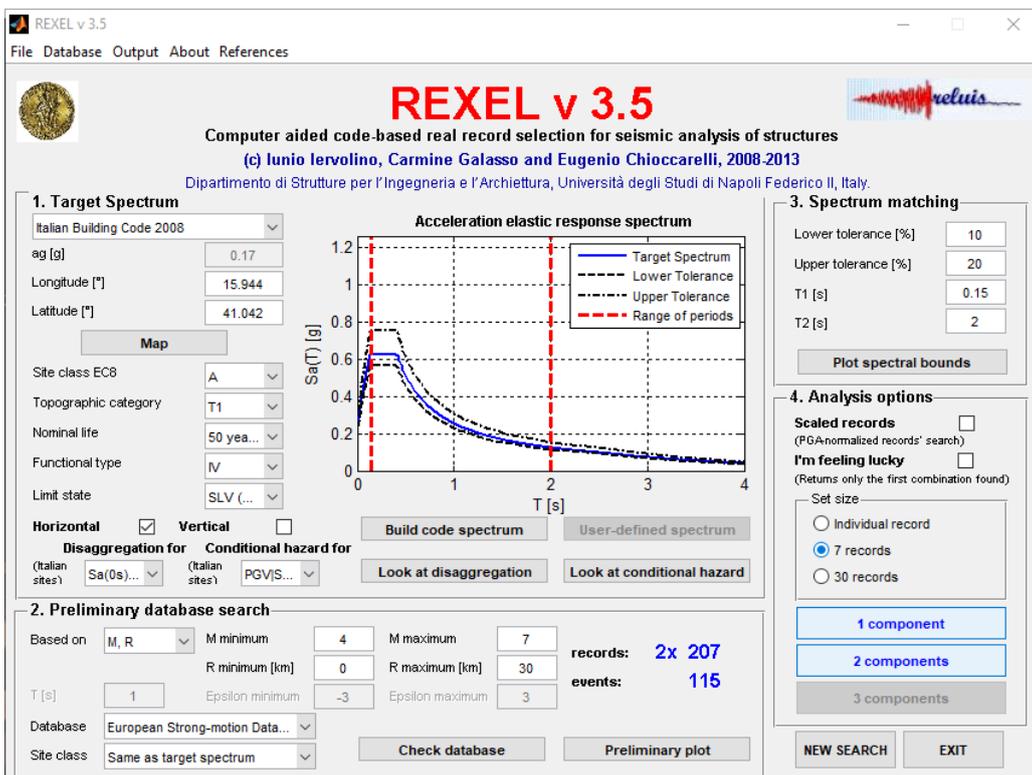
Il software Rexell ha consentito l'estrazione di accelerogrammi di input naturali da più banche dati quali la banca dati europea (ESD) e la banca dati italiana (ITHACA).

Ha consentito, inoltre, di individuare lo spettro di riferimento per un periodo di ritorno di 949 anni. A seguire si riporta lo spettro individuato.



**Figura 63 – Spettro di riferimento per la scelta progettuale considerata**

Sulla base delle coordinate geografiche del sito e dei dati disaggregazione con M compreso fra 4 e 7 e R compreso fra 0 e 30 km, utilizzando Rexel si individuano 115 eventi. Su questi eventi trovati si considera una massima tolleranza in difetto del 10% e in eccesso del 20%, con valori di T1 e T2 per cui verificare la corrispondenza pari a 0.15s e 2s, relativamente allo scarto tra spettro di riferimento individuato e lo spettro di risposta medio dei 7 input da estrarre.



The screenshot shows the REXEL v 3.5 software interface. The main window displays the title "REXEL v 3.5" and "Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures". Below this, there are several sections:

- 1. Target Spectrum:** Includes fields for "Italian Building Code 2008", "ag [g]" (0.17), "Longitude [°]" (15.944), "Latitude [°]" (41.042), "Site class EC8" (A), "Topographic category" (T1), "Nominal life" (50 yea...), "Functional type" (IV), and "Limit state" (SLV (...)).
- 2. Preliminary database search:** Includes "Based on" (M, R), "M minimum" (4), "M maximum" (7), "R minimum [km]" (0), "R maximum [km]" (30), "records: 2x 207", "events: 115", "T [s]" (1), "Epsilon minimum" (-3), "Epsilon maximum" (3), "Database" (European Strong-motion Data...), and "Site class" (Same as target spectrum).
- 3. Spectrum matching:** Includes "Lower tolerance [%]" (10), "Upper tolerance [%]" (20), "T1 [s]" (0.15), "T2 [s]" (2), and a "Plot spectral bounds" button.
- 4. Analysis options:** Includes "Scaled records" (unchecked), "I'm feeling lucky" (unchecked), "Set size" (7 records selected), and buttons for "1 component", "2 components", and "3 components".

The central graph, titled "Acceleration elastic response spectrum", shows the target spectrum (solid blue line) and tolerance bounds (dashed black lines) against the period  $T$  [s]. Vertical red dashed lines indicate the range of periods between  $T_1 = 0.15$  s and  $T_2 = 2$  s.

**Figura 64 – Parametri di input in Rexel per l'estrazione degli spettri di risposta da estrarre.**

Sulla base di un numero massimo di combinazioni compatibili da ricercare, ognuna delle quali caratterizzata da 7 accelerogrammi, il software individua tutte le combinazioni possibili, ognuna delle quali è caratterizzata da 7 accelerogrammi. Fra queste combinazioni è stata scelta quella che rispetta i seguenti parametri:

- non presente ripetizioni del sisma all'interno della settupla considerata;
- presenta il minor scarto rispetto allo spettro di riferimento.

A seguire si riporta la tabella delle combinazioni individuate e con in evidenza quella con il minimo scarto.

PGA - Input [m/s<sup>2</sup>]: 2.595415  
 Lower limit [%]: 10  
 Upper limit [%]: 20  
 Tolerance [%]: 0  
 Non-dimensional: NO

n.	Name of the combination							Inf	n-inf	Sup	n-sup	PGAs_M
1	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000766ya	000055ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.8436
2	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	006115xa	000055ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.6632
3	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000287ya	000055ya	004674ya	SI	0	SI	0	2.6532
4	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000055ya	000649ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.8774
5	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000055ya	003802ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.9487
6	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000055ya	000665ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.5998
7	007142ya	000198xa	000055xa	000198ya	000055ya	000052ya	004674xa	SI	0	SI	0	2.8132
8	007142ya	000198xa	000055xa	006335xa	000287xa	000651ya	006349ya	SI	0	SI	0	2.9797
9	007142ya	000198xa	000055xa	006335xa	000287xa	000665xa	006349ya	SI	0	SI	0	2.9785
10	007142ya	000198xa	000055xa	006335xa	000287xa	000242xa	006349ya	SI	0	SI	0	2.9328
-1	FINEFINE	FINEFINE	FINEFINE	FINEFINE	FINEFINE	FINEFINE	FINEFINE	OK	0	OK	0	

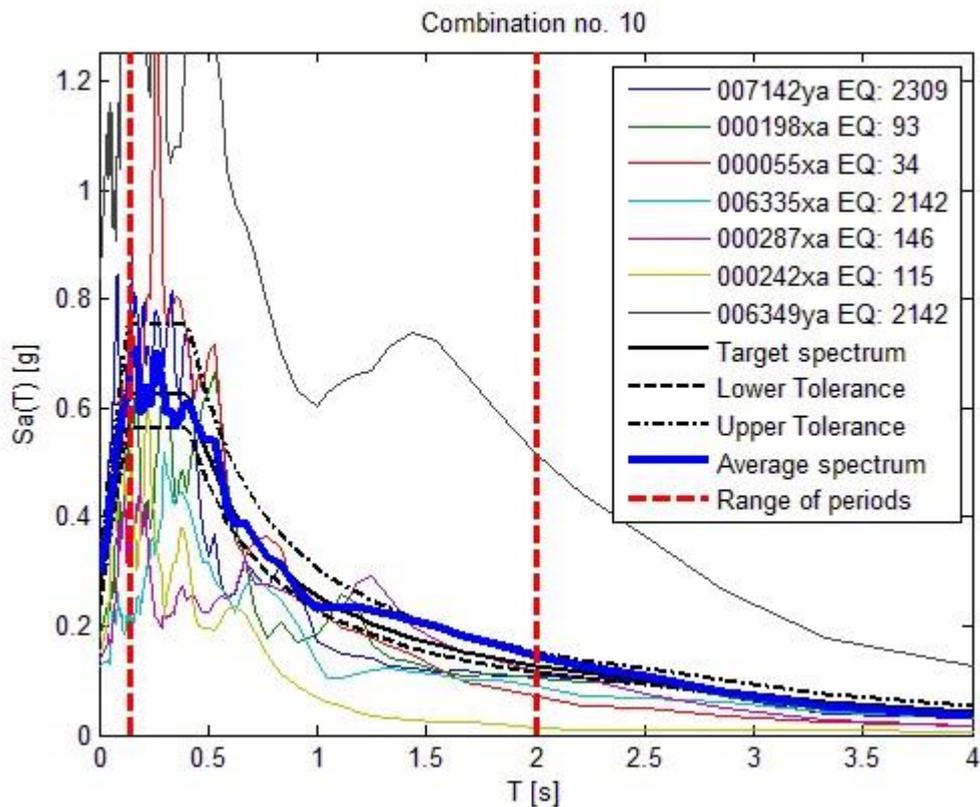
scarto\_OUT

PGA - Input[m  
 Lower limit [%]: 10  
 Upper limit [%]: 20  
 Tolerance [%]: 0  
 Non-dimensional :

ncomb	Recdev_med	Recdev_1	Recdev_2	Recdev_3	Recdev_4	Recdev_5	Recdev_6	Recdev_7
1	0.090	0.232	0.246	0.349	0.377	0.448	0.525	0.636
2	0.072	0.232	0.246	0.349	0.377	0.487	0.525	0.636
3	0.091	0.232	0.246	0.349	0.377	0.519	0.525	0.531
4	0.072	0.232	0.246	0.349	0.377	0.525	0.531	0.636
5	0.079	0.232	0.246	0.349	0.377	0.525	0.532	0.636
6	0.074	0.232	0.246	0.349	0.377	0.525	0.552	0.636
7	0.070	0.232	0.246	0.349	0.377	0.525	0.626	0.636
8	0.092	0.232	0.246	0.349	0.441	0.462	0.485	1.634
9	0.088	0.232	0.246	0.349	0.441	0.462	0.493	1.634
10	0.082	0.232	0.246	0.349	0.441	0.462	0.542	1.634
-1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 65 -

Il grafico con gli accelerogrammi scelti e riferiti alla combinazione n. 10, è riportato nella figura che segue.



**Figura 66 – Accelerogrammi scelti a riferimento – combinazione n° 10.**

I sette accelerogrammi naturali individuati dal software Rexel (combinazione n.10) sono riferiti ai seguenti terremoti:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	50,514	29,178	0.336	0.2097
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	21	17,743	21,985	0.1705	0.2591
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	34,985	30,968	0.2061	0.3262
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	12,481	11,322	0.1659	0.1083
287	146	ST93	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	23	13,633	17,756	0.2056	0.3044
242	115	ST225	Valnerina	19/09/1979	5.8	normal	5	15,095	20,121	0.0758	0.1401
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	5	72,947	8,218	0.4557	0.9202
mean:					6.457		15.143	3.106	3.050	0.231	0.324

**Tabella 30: Caratteristiche dei terremoti da cui derivano gli accelerogrammi considerati nell'analisi.**

Gli accelerogrammi naturali individuati dal software Rexell vengono utilizzati come terremoti di input riferiti al bedrock.

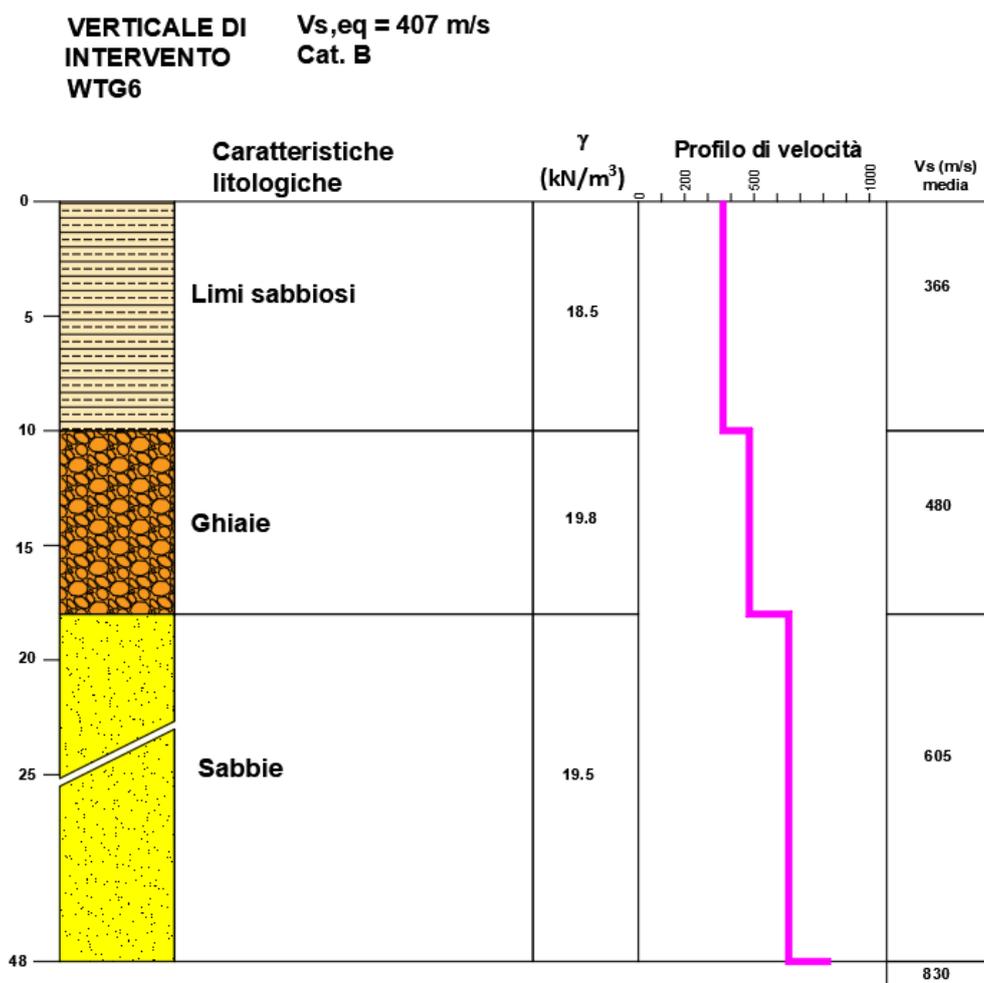
Gli accelerogrammi vengono caricati nel software **STRATA** come file di testo.

Definiti gli accelerogrammi di riferimento da sottoporre a simulazione, vengono riportate le caratteristiche sismostratigrafiche del substrato. Si riportano nella pagina Soil Types del software STRATA le litologie con le relative principali caratteristiche geotecniche. La variazione della rigidezza dei terreni al variare delle sollecitazioni di taglio cicliche (curve di degradazione del modulo di taglio  $G_0$  e del rapporto di smorzamento  $D_0$ ) sono state introdotte dal software utilizzando dati bibliografici per i terreni individuati come di seguito mostrato:

- *Limi Sabbiosi - Lombardia*
- *Ghiaia - Rollins*
- *Sabbie - (Idriss, 1990).*

Nella pagina Soil Profile viene definito il modello geolitologico della verticale considerata, con indicazione delle profondità, spessore, litologia e velocità delle onde S per ogni livello litologico.

Le stratigrafie considerate sono quelle riportate nelle colonne stratigrafiche di seguito illustrate e riferite alle seguenti relative verticale rappresentative delle diverse aree di studio.



**Figura 67 - Modello geolitologico e sismico di input inserito nel software Strata - Area WTG6.**

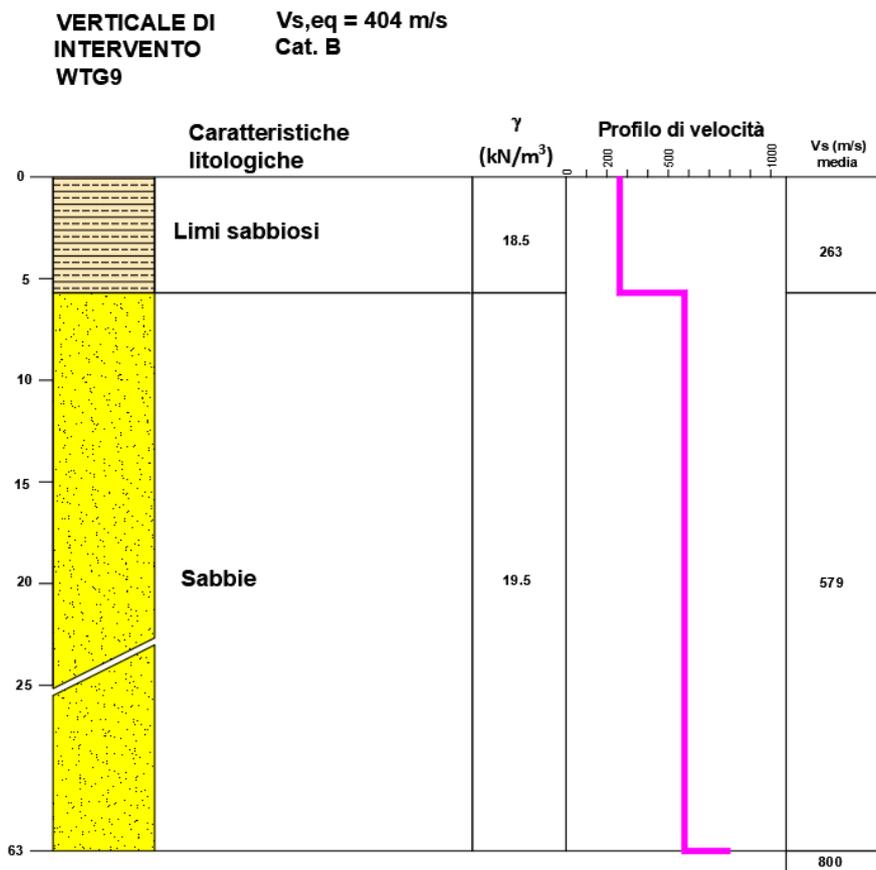


Figura 68 – Modello geolitologico e sismico di input inserito nel software Strata – Area WTG9.

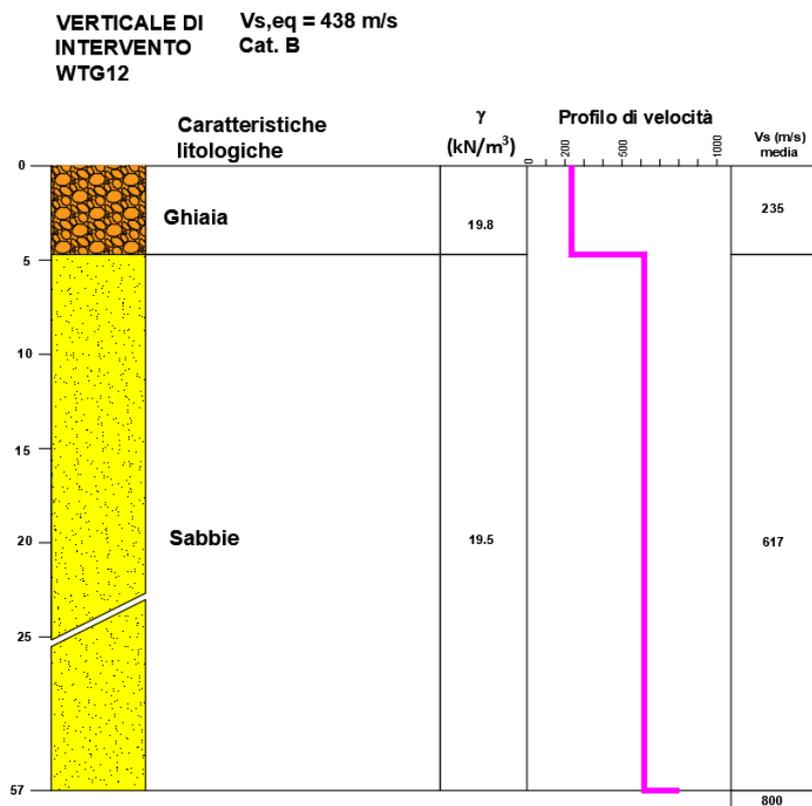


Figura 69 – Modello geolitologico e sismico di input inserito nel software Strata – Area WTG12.

La profondità del bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) è stato individuato a profondità variabili da 48 a 63 m dal p.c. (Cfr Paragrafo 7.10).

Il software STRATA ricava lo spettro di risposta elastico corrispondente all'accelerogramma al bedrock, inserendo il fattore di smorzamento del 5%.

Dall'accelerogramma generato viene ricavato lo spettro di Fourier delle ampiezze al bedrock. La stima dell'amplificazione sismica viene eseguita con il metodo lineare.

Dopo il calcolo della funzione di trasferimento si ha la stima dell'accelerogramma in superficie.

Immessi i dati di input il software STRATA fornisce i seguenti elaborati:

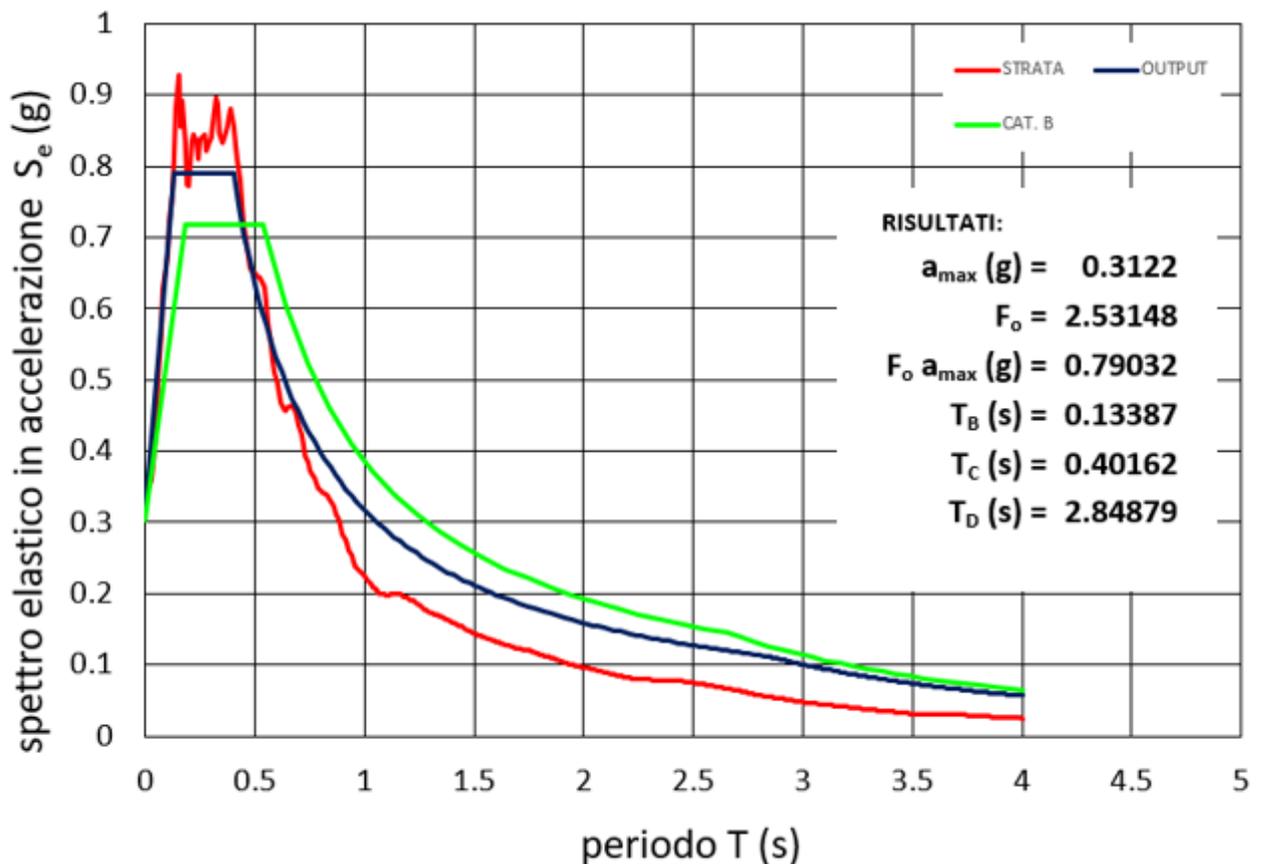
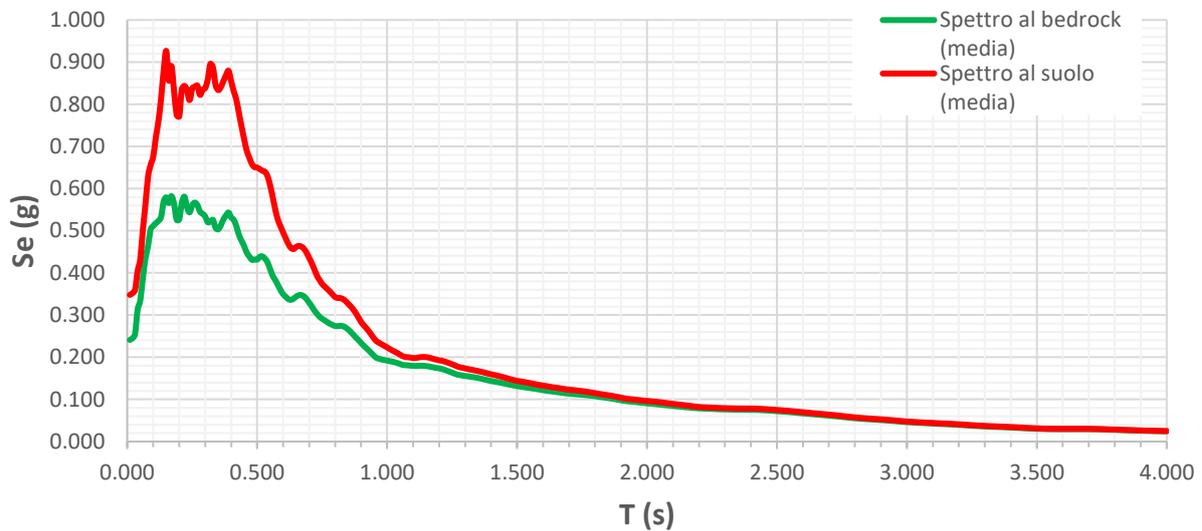
- Accelerogrammi utilizzati
- Funzione di trasferimento dell'accelerazione dal bedrock al suolo
- Spettro delle accelerazioni al suolo
- Spettro delle accelerazioni al bedrock

### **Calcolo dello spettro di risposta elastico in superficie**

Per la definizione di FA, a basso periodo (determinato al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) si è proceduto secondo quanto definito negli Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica e secondo quanto recentemente aggiornato dall'Allegato 1 - Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016 "*Criteri generali per l'utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016*".

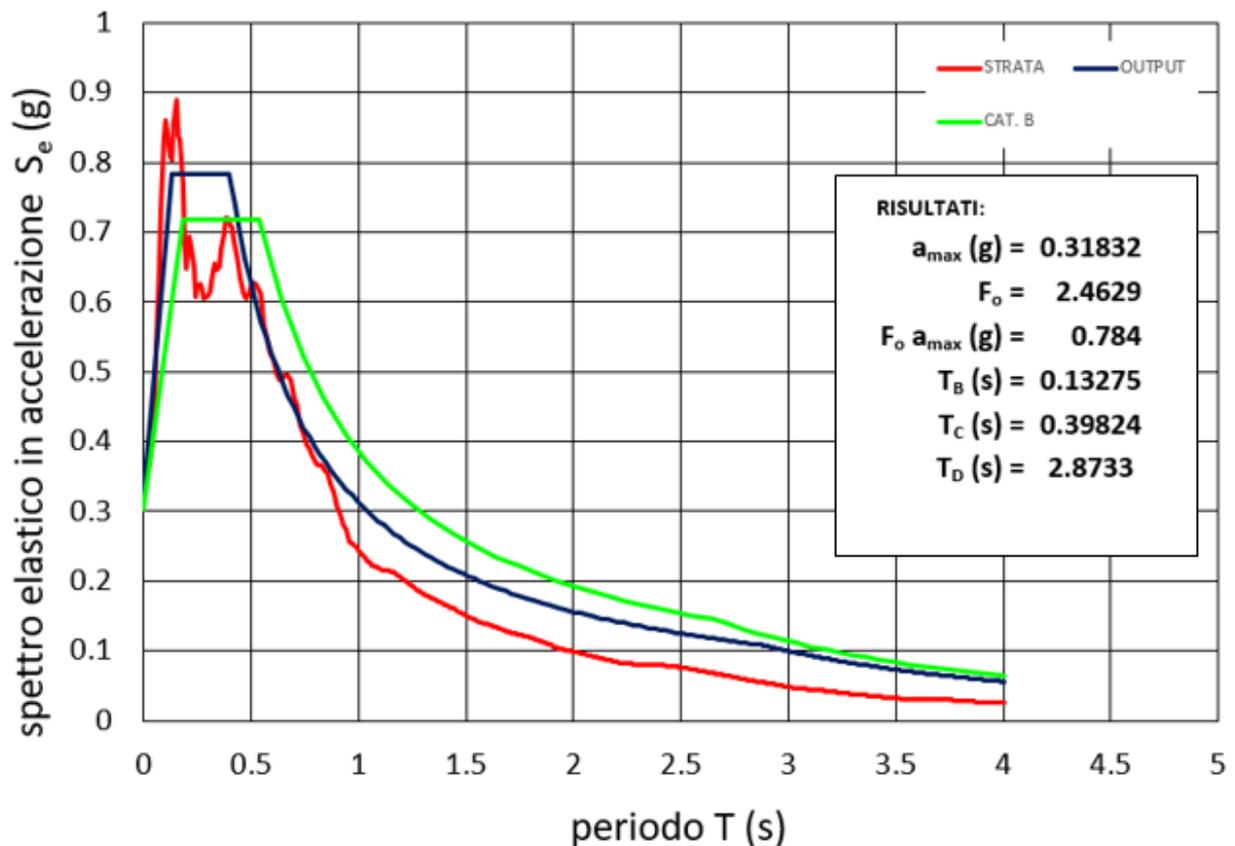
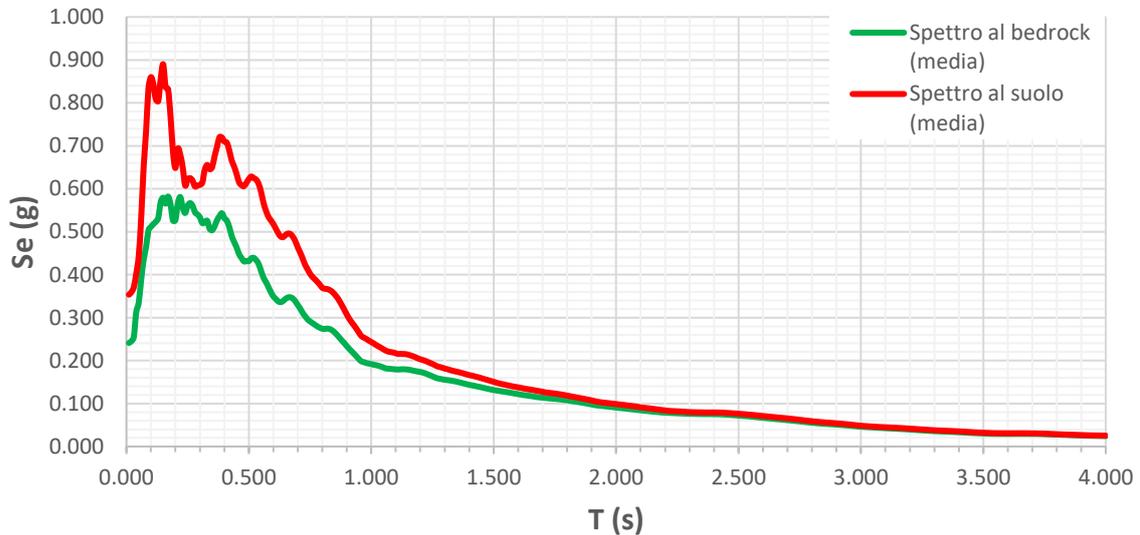
Riportando su fogli di calcolo i valori di  $S_e(g)$  e  $T(s)$  dello spettro al suolo, ricavati dal software STRATA, è stato fatto un confronto con gli spettri derivati dalle NTC 2018 e riferiti ad una categoria di suolo B. A seguire si riportano i grafici di confronto fra i due spettri per ogni verticale considerata ed i parametri dello spettro di progetto normalizzato derivante dall'analisi di RSL.

## Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali - Verticale WTG6



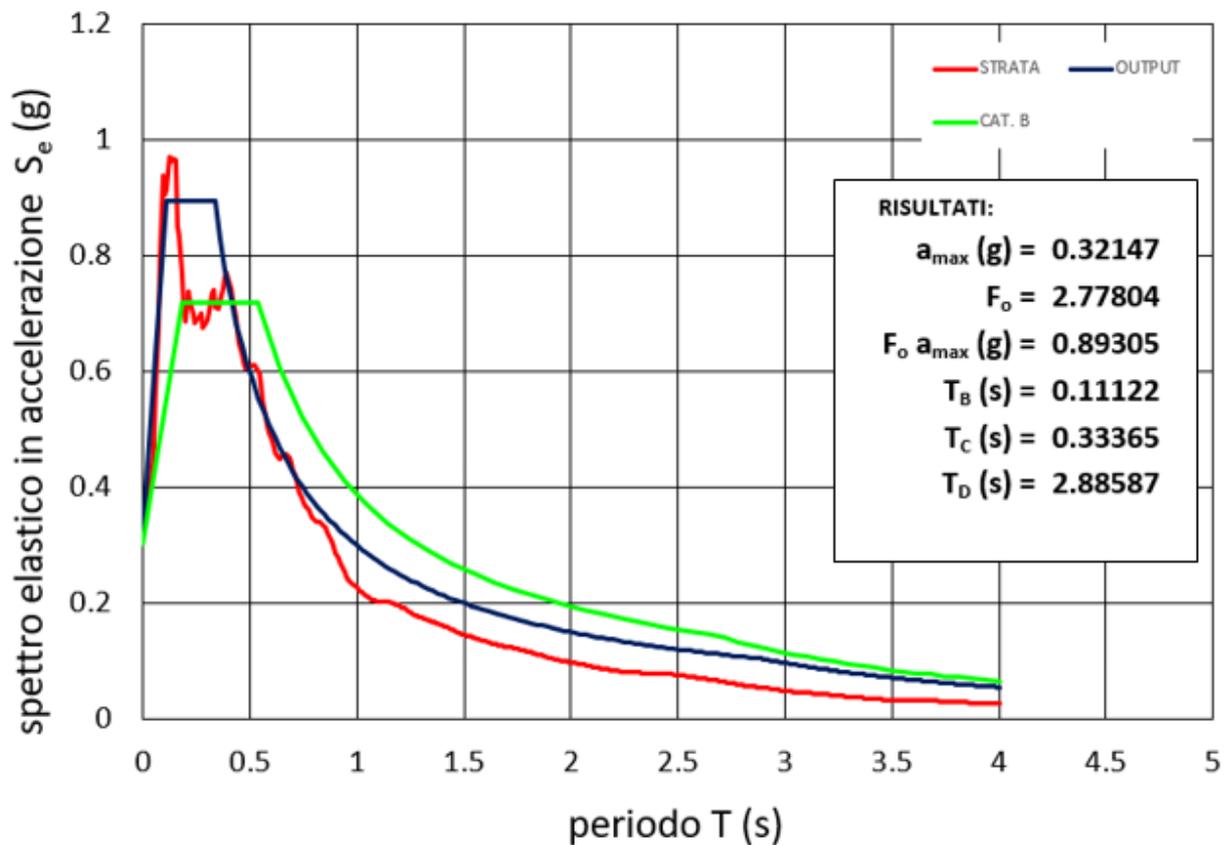
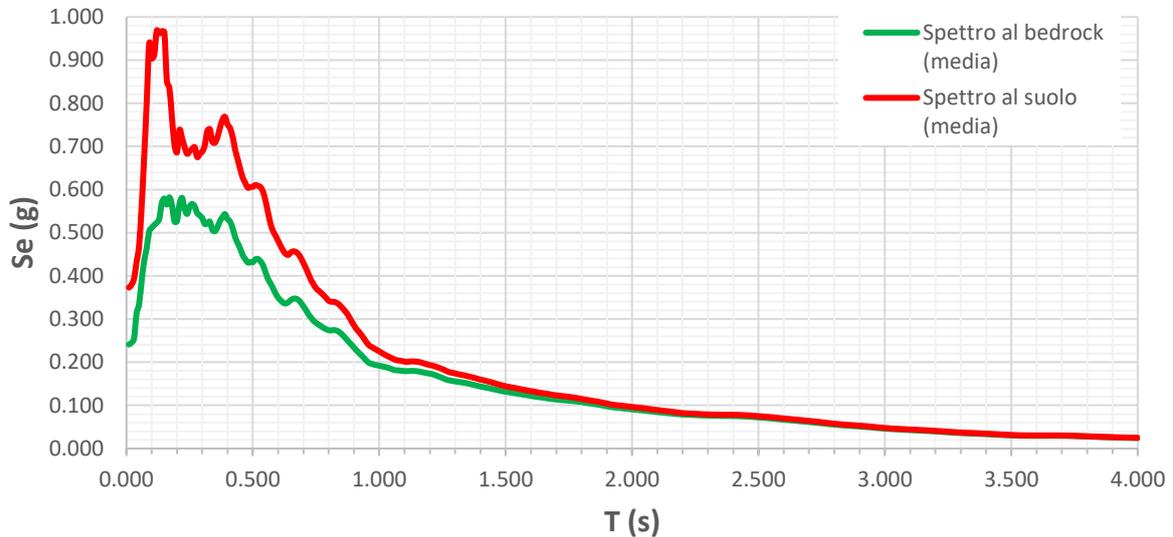
**Figura 70 – Figura sopra: spettri di risposta elastici al bedrock (Input) ed al suolo (Output); Figura sotto: confronto fra lo spettro di output al suolo, il suo spettro normalizzato e lo spettro da normativa di Cat. B. Verticale WTG6.**

## Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali - Verticale WTG9



**Figura 71 – Figura sopra: spettri di risposta elastici al bedrock (Input) ed al suolo (Output); Figura sotto: confronto fra lo spettro di output al suolo, il suo spettro normalizzato e lo spettro da normativa di Cat. B. Verticale WTG9.**

## Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali - Verticale WTG12



**Figura 72 – Figura sopra: spettri di risposta elastici al bedrock (Input) ed al suolo (Output); Figura sotto: confronto fra lo spettro di output al suolo, il suo spettro normalizzato e lo spettro da normativa di Cat. B. Verticale WTG12.**

I grafici ricavati da Strata (Ratio – 0.00 m from Bedrock – Acceleration Transfer Function) e riportati in allegato evidenziano amplificazioni per alte frequenze e bassi periodi.

Utilizzando sempre il foglio excel, applicando la seguente formula (ICMS, 2.5.3.3.2 pag 88):

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T) dT$$

sono stati calcolati i valori medi dello spettro di input ( $SA_{m,i}$ ) e di output ( $SA_{m,o}$ ) considerando che:

- $SA_m$  è il valore medio dello spettro e può essere  $SA_{m,i}$  o  $SA_{m,o}$
- $SA(T)$  è lo spettro di risposta elastico in accelerazione pari a  $SA_i$  per l'input,  $SA_o$  per l'output
- $TA$  vale  $TA_i$  per l'input  $TA_o$  per l'output e rappresenta il periodo di massimo valore dello spettro
- I valori medi degli spettri di input ( $SA_{m,i}$ ) e di output ( $SA_{m,o}$ ) vengono considerati nell'intorno di  $TA_i$  e  $TA_o$  pari rispettivamente a 0,5 e 1,5 sec, corrispondente al range dei valori massimi di accelerazione.

Il valore FA ovvero l'amplificazione è pari al rapporto  $SA_{m,o} / SA_{m,i}$

I valori di amplificazione FA individuati sulle verticali considerate sono i seguenti:

Verticale	FA
<b>1 (WTG-6)</b>	1.54
<b>2 (WTG-9)</b>	1.32
<b>3 (WTG-12)</b>	1.41

**Tabella 31:**

Nelle tre aree interessate dagli interventi diretti è possibile individuare le seguenti zone sismiche:

**Zona 1:** con FA = 1.32-1.54. Categoria di suolo B. Questa zona è caratterizzata dalla presenza di una successione essenzialmente sabbiosa-ghiaiosa a tratti limosa, alterata superficialmente. In questa zona sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto delle condizioni litostratigrafiche.

## **11. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento.

Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Il fenomeno della liquefazione si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1,00 m e 20,00 m di profondità dal piano campagna, come chiarisce la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

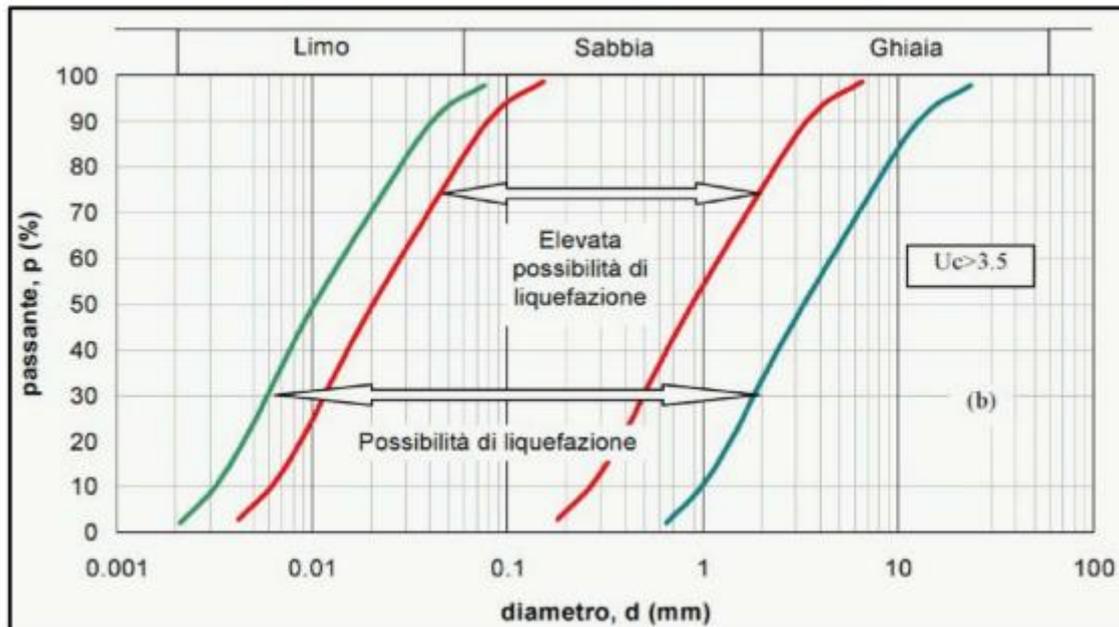
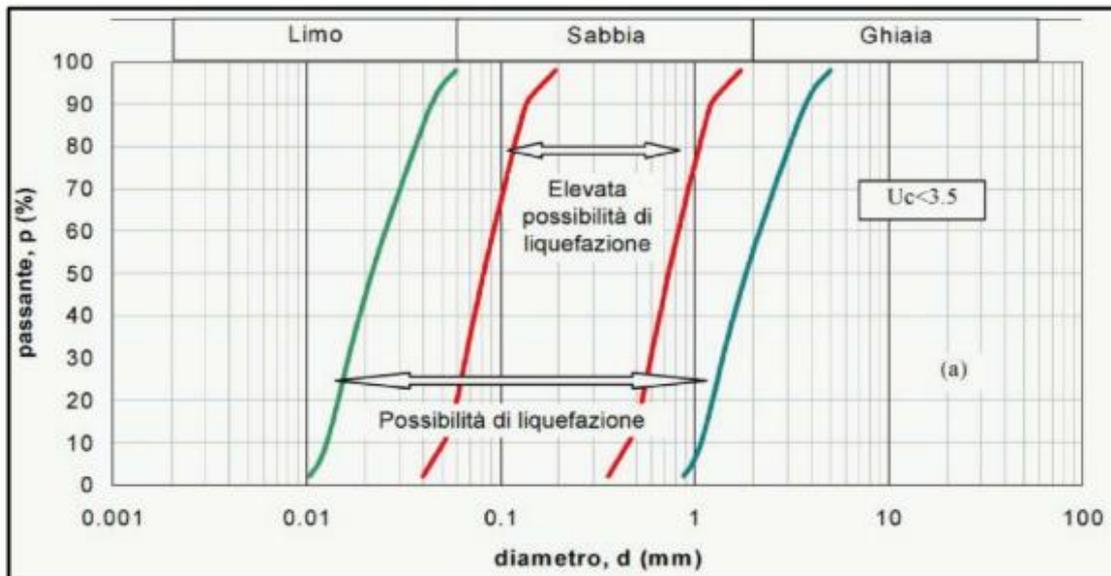
Il D.M. 17.01.2018 contiene al punto 7.11.3.4.2 le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Una valutazione semplificata della suscettibilità può essere ottenuta considerando le seguenti condizioni:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti
- profondità media stagionale della falda
- tipo di deposito.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1.** accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2.** profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 KPa, e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione di verticale di 100 KPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 89 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 90 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Quando nessuna delle condizioni risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio.

La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

La caratterizzazione sismica dell'area di studio è stata trattata nei capitoli precedenti di questa relazione, ai quali si rimanda.

Di seguito, si analizzano i dati disponibili per l'analisi dei quattro elementi predisponenti alla liquefazione.

**1. Condizione 1: accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.**

Il sito in esame ricade in una categoria di sottosuolo B, in riferimento al valore di  $V_s$ , eq misurato a partire dal piano campagna. Per gli stessi siti è stato calcolato, per lo stato limite SLV, quanto segue:

$a_{max}$  attesa al piano campagna = 0,3122 [WTG6]

$a_{max}$  attesa al piano campagna = 0,3183 [WTG9]

$a_{max}$  attesa al piano campagna = 0,3214 [WTG12]

**! La condizione 1 non risulta soddisfatta !**

**2. Condizione 2: profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.**

Dalle indagini eseguite in sito e dall'analisi della bibliografia disponibile per l'area di studio, si evince che la profondità media stagionale della falda è superiore a 15,00 m dal piano campagna.

**! La condizione 2 risulta soddisfatta !**

**Per tale motivo ai sensi del D.M. 17.01.2018 - punto 7.11.3.4.2, è possibile omettere la verifica a liquefazione.**

## **12. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

Coerentemente con le indicazioni contenute nella circolare esplicativa del Regolamento di Attuazione della Legge regionale n°23 del 1999 è stata redatta la Carta di Sintesi delle Pericolosità e Criticità geologiche e geomorfologiche delle aree interessate alla realizzazione dell'opera.

Tale carta rappresenta la sintesi e la sovrapposizione della carta geolitologica, geomorfologica e idrogeologica e, nel contempo, riporta la caratterizzazione sismica del territorio che sarà interessato dalla realizzazione dell'impianto eolico ed delle opere connesse, differenziata in classi riferite alle esigenze e/o possibilità di tutela, uso e trasformabilità in funzione delle criticità e delle problematiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e sismiche, includendo i rischi conseguenti riscontrati durante l'analisi.

La citata legge regionale indica lo schema della legenda da utilizzare per la redazione di questo elaborato che è il seguente:

### **I - AREE NON CRITICHE**

Ia: aree di pianura (aree non esondabili ed esenti da criticità idrauliche o idrologiche).

Ib: aree su versante (esenti da problematiche di stabilità).

Ic: aree costiere (esenti da problematiche di erosione).

### **II - AREE CON CRITICITA' PUNTUALI E MODERATE**

IIa: aree di pianura (aree non esondabili, con fenomeni di erosione localizzati).

IIb: aree su versante (globalmente stabili, con modesti fenomeni di instabilità puntuale).

IIc: aree costiere (con problematiche puntuali di erosione)

### **III - AREE CON CRITICITA' DI LIVELLO MEDIO E DIFFUSO**

IIIa: aree di pianura (aree esondabili per piene straordinarie e/o con fenomeni di erosione diffusa).

IIIb: aree su versante (versanti in stabilità precaria).

IIIc: aree costiere (con problematiche diffuse di erosione).

### **IV - AREE CON CRITICITA' DI LIVELLO ELEVATO SIA PUNTUALI CHE DIFFUSE**

Iva: aree di pianura (aree esondabili per piene ordinarie e/o con fenomeni di erosione attiva).

IVb: aree su versante (instabili per presenza di frane attive e/o di fenomeni erosivi intensi).

IVc: aree costiere (con erosione attiva a danno dei litorali e/o delle coste rocciose).

### **AREE NON CRITICHE**

**Ib:** aree su versante (esenti da problematiche di stabilità)

In tali aree sono state inserite tutte le zone subpianeggianti o debolmente pendenti caratterizzate da un substrato con buone caratteristiche geomeccaniche. Nelle aree Ib ricadono:

- tutti gli interventi diretti collegati alla realizzazione dell'opera quali fondazioni aerogeneratori, strade esistenti da adeguare e strade di nuova realizzazione.

Le aree non critiche, sulla base della natura del substrato, della morfologia e dell'amplificazione sismica attesa, sono state distinte in due diverse zone:

**Ib.1:** Aree utilizzabili, caratterizzate dall'assenza di fenomeni di instabilità morfologica e dalla presenza di un substrato conglomeratico, sabbioso e calcarenitico con buone caratteristiche geotecniche. Queste aree sono atte alla edificazione secondo i normali accorgimenti tecnici e quanto previsto nelle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Dal punto di vista sismico tali aree rientrano nella categoria di sottosuolo B e nella categoria topografia T1 e sono da considerarsi zone stabili suscettibili di amplificazione locale di tipo stratigrafico.

**Ib.2:** Aree utilizzabili, caratterizzate dall'assenza di fenomeni di instabilità morfologica e dalla presenza di un substrato prevalentemente argilloso con discrete caratteristiche geotecniche. Queste aree sono atte alla edificazione secondo i normali accorgimenti tecnici e quanto previsto nelle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Dal punto di vista sismico tali aree rientrano nella categoria di sottosuolo B e nella categoria topografia T1 e sono da considerarsi zone stabili suscettibili di amplificazione locale di tipo stratigrafico.

#### **AREE CON CRITICITA' PUNTUALI E MODERATE**

**Iib:** aree su versante (globalmente stabili, con modesti fenomeni di instabilità puntuale).

Queste aree sono state distinte sulla base della loro morfologia e delle litologie dominanti. Nelle aree Iib ricadono:

- esclusivamente parte del tracciato del cavidotto interrato MT di collegamento al punto di connessione. Si rappresenta che il tracciato del cavidotto ricadente in tali aree corre interamente su viabilità pubblica esistente.

Le aree con criticità puntuali e moderate sono state distinte in due diverse zone:

**Iib.1:** Aree utilizzabili, caratterizzate dalla presenza di un substrato prevalentemente sabbioso e ghiaioso e/o calcarenitico con buone caratteristiche geotecniche e da versanti con pendenza maggiore di 15°. Per le opere previste in queste aree dovranno essere eseguite indagini finalizzate alla modellazione geotecnica del substrato e, quindi, alla scelta delle tipologie fondazionali; in presenza di tagli del versante sono necessarie opere di sostegno, opportunamente dimensionate). Dal punto di vista sismico tali aree rientrano nella categoria di sottosuolo B e nella categoria topografia T2 e sono da considerarsi zone stabili suscettibili di amplificazione locale di tipo stratigrafico.

**Iib.2:** Aree utilizzabili, caratterizzate dalla presenza di un substrato prevalentemente argilloso con discrete caratteristiche geotecniche e da versanti con pendenza maggiore di 15°. Per le opere previste in queste aree dovranno essere eseguite indagini finalizzate alla modellazione geotecnica del substrato e, quindi, alla scelta delle tipologie fondazionali; in presenza di tagli del versante sono necessarie opere di sostegno, opportunamente dimensionate). Dal punto di vista sismico tali aree rientrano nella categoria di sottosuolo B e nella categoria topografia T2 e sono da considerarsi zone suscettibili di amplificazione locale di tipo stratigrafico.

### **13. CONCLUSIONI**

Sulla base delle informazioni acquisite nel corso del presente studio, sono state verificate le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area al fine di dimostrare la compatibilità geologica delle opere di progetto.

Di seguito in sintesi alcune considerazioni emerse nel corso del presente lavoro.

- ✓ L'impianto eolico di progetto sarà realizzato su formazioni geologiche costituite per la maggior parte da terreni ghiaioso-conglomeratici, riferibili alla F.ne del Conglomerato di Irsina, e da litotipi prevalentemente sabbiosi con lenti di ghiaia riconducibili alla Formazione delle Sabbie di Monte Marano; solo un aerogeneratore ricade sulla F.ne delle Argille Subappennine.
- ✓ Dal punto di vista geotecnico i terreni in giacitura naturale che costituiscono il sedime di fondazione delle opere di futura progettazione, sono dotati di caratteristiche geotecniche da discrete a buone, il cui comportamento è da assimilare a materiali misti granulari.
- ✓ La profondità del piano di posa della fondazione e la tipologia deve essere scelta e giustificata in relazione alle caratteristiche e alle prestazioni della struttura in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali.
- ✓ Da un punto di vista geomorfologico l'area di studio si sviluppa su superfici pianeggianti stabili sia per posizione morfologica che per condizioni litologiche: le formazioni affioranti hanno assetto sub-orizzontale e le aree sono caratterizzate da pendenze sempre inferiori al 10%. I rilevamenti di campagna eseguiti nell'area di studio indicano che le condizioni geomorfologiche sono stabili, in quanto non sono emersi fattori predisponenti al dissesto, non sono state riscontrate evidenze di fenomeni franosi pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi.
- ✓ Da un punto di vista idrogeologico, i litotipi presenti nel sottosuolo sono caratterizzati da un tipo di permeabilità primaria per porosità e un grado di permeabilità medio-alto. La falda freatica è posta ad una profondità maggiore di 30,0 metri dal piano campagna e pertanto non vi è alcuna interazione fra le opere in progetto e la falda.
- ✓ Dal punto di vista della Microzonazione Sismica nell'area (Area Impianto, Cavidotto e Sottostazione) è stata riconosciuta un'unica microzona sismica che rientra nelle "Zone stabili suscettibili di amplificazione locale" denominata ZONA 1, dove i terreni sono suscettibili di amplificazione locale con valori di FA=1.32 ed FV=1.54, con il bedrock sismico stimato a profondità variabili da 48 a 63 m dal p.c. (Cfr Paragrafo 7.10), valore ricavato direttamente mediante i profili di velocità della HVSr;
- ✓ La categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/2018 è di tipo B e la categoria topografica è la T1 per tutte le aree oggetto di studio.
- ✓ Dall'analisi condotta, si ritiene irrilevante il rischio di liquefazione dei terreni a seguito di sollecitazioni sismiche.
- ✓ Dal punto di vista del rischio idraulico e geomorfologico, l'area di indagine non risulta inclusa all'interno di aree classificate a rischio idraulico e/o frana secondo i vigenti perimetri PAI

dell'UoM Regionale Puglia e Interregionale Ofanto e dell'UoM Bradano, nessuna componente progettuale interferisce con le suddette perimetrazioni.

- ✓ Ai sensi della L.R. 23/99 le aree di interesse progettuale rientrano nella Classe Ib - "Area di versante esente da problemi di stabilità" ovvero area caratterizzata da terreni Ghiaioso-Sabbiosi e Sabbiosi o Arenacei con un aumento della consistenza del materiale con la profondità; area con morfologia sub-pianeggiante  $i < 15^\circ$  priva di instabilità. Le aree si presentano stabili ed esenti da problematiche geologico-tecniche relative alle opere in progetto.
- ✓ gli scavi previsti per l'alloggiamento del cavidotto, per altro di minima entità, saranno realizzati su tracciati stradali esistenti, per cui non peggiorano le condizioni di pericolosità idrogeologica attualmente presenti nel territorio.

Per i motivi fin qui esposti è possibile esprimere una valutazione positiva in merito alla compatibilità degli interventi da realizzare con l'assetto idro-geomorfologico dell'area, in quanto gli stessi non pregiudicano la stabilità attuale della zona e sono da considerarsi compatibili dal punto di vista idrogeologico con la situazione di pericolosità e di rischio da dissesti di versante attualmente presente nel territorio.

Tutte queste considerazioni, associate alle conoscenze geologiche acquisite nel corso del presente studio di dettaglio, consentono di affermare che l'area in esame rientra in un territorio che, per le sue condizioni, risulta idoneo e compatibile con le lavorazioni in progetto, che verranno messe in atto adottando tutti gli accorgimenti necessari per garantire la funzionalità e la sicurezza delle opere. Pertanto si ribadisce la piena compatibilità del progetto con le condizioni di pericolosità e di rischio idrogeologico attualmente presenti nel territorio esaminato in quanto non altera in alcun modo l'equilibrio geomorfologico ed idrogeologico dell'area in cui si inserisce.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Ostuni, Marzo 2024

**Il geologo**

Dott. Walter MICCOLIS

Ordine dei geologi della Regione Puglia n. 676