



Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale
Dott. Geol. Antonio Scurria
Circonvallazione Clodia n. 163/167 - ROMA
Tel. 06/94807775 - Mobile 347/5709391
O.R.G.S. n. 2326
e-mail: studioscurria@gmail.com pec: studioscurria@pec.it

COMUNE DI SANT'ANGELO DI BROLO
(Città Metropolitana di Messina)

Relazione geologico-tecnica

*PNRR - Missione 5 - Inclusione e coesione -
Componente 3 - Interventi speciali per la coesione
territoriale - Investimento 2 - Valorizzazione dei
beni confiscati alle mafie finanziato dall'Unione
Europea - Next Generation EU. Intervento:
"Riqualficazione spazi pubblici volti alla
realizzazione di un'area a verde attrezzato per il
tempo libero in località Pantano". C.U.P.:
E85B22000050009.*

COMMITTENTE: Comune di Sant'Angelo di Brolo (Me)

DATA: Maggio 2024

RIF.: B034



INDICE

1.	PREMESSA	pag. 2
2.	LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI E SISMO-TETTONICI GENERALI	pag. 5
	2.1 Quadro geologico e studi precedenti	
	2.2 Caratteristiche geomorfologiche	
	2.3 Caratteristiche idrografiche	
	2.4 Cenni rischio idrogeologico	
	2.5 Quadro sismo-tettonico e rischio sismico	
	2.5.1 Cenni sulla sismicità e classificazione sismica del territorio	
	2.5.2 Pericolosità e rischio sismico	
3.	QUADRO CLIMATICO ED IDROGEOLOGICO	pag. 24
	3.1 Caratteristiche climatiche	
	3.2 Cenni idrogeologici	
4.	AZIONE SISMICA SECONDO LE NTC-18	pag. 28
	4.1 Quadro normativo	
	4.2 Nuova classificazione sismica	
	4.3 Pericolosità sismica di base	
	4.4 Pericolosità sismica locale ed azione sismica di progetto	
5.	SMALTIMENTO DELLE ACQUE REFLUE	pag. 39
	5.1 Valutazione della capacità di assorbimento e depurazione del terreno	
	5.1.1 Criteri generali	
	5.1.2 Caratteristiche idrogeologiche	
	5.1.3 Stima della capacità di assorbimento e depurazione	
6.	INDAGINI E PROVE IN SITU	pag. 45
	6.1 Sintesi delle indagini e delle prove in situ	
	6.2 Indagini penetrometriche	
	6.3 Indagini sismiche	
7.	QUADRO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO LOCALE	pag. 51
	7.1 Condizioni geomorfologiche locali	
	7.2 Considerazioni stratigrafiche e geotecniche	
	7.3 Valori caratteristici dei parametri geotecnici	
8.	CONCLUSIONI	pag. 58

Allegati:

- n. 23 tavole;
- Report indagini.

1 - PREMESSA

Nella presente relazione si espongono i risultati di uno studio geologico-tecnico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, commissionato dal Comune di Sant'Angelo di Brolo (Me), giusta determinazione dirigenziale del responsabile dell'Area Urbanistica ed Infrastrutture n. 44 del 22/04/2024 (R.G. n. 210 del 22/04/2024), effettuato nell'area interessata dal progetto di *“Riqualificazione spazi pubblici volti alla realizzazione di un'area a verde attrezzato per il tempo libero in località Pantano”*.

La zona di insediamento dell'intervento progettuale è localizzata sull'allegato stralcio della C.T.R. - elemento n. 599070 - Sant'Angelo di Brolo - in scala 1:10.000 (**tav. 1**).

Come riportato nella relazione tecnica, il progetto riguarda la realizzazione di un'area a verde attrezzato che comprende *“opere di carattere funzionale e/o di arredo (giochi e attrezzature ginnico-sportive) ed eventuali opere di giardinaggio (piantumazione di alberi, talee e cespugli fioriti)”* nonché l'impianto di pubblica illuminazione ed opere di consolidamento della stessa area (paratia di pali, muro su pali, gabbionate, viminate e/o graticciate in paletti di legno, rete di smaltimento acque meteoriche), come riportato nell'allegata planimetria (**tav. 2**).

Inoltre, tenuto conto dell'assenza di impianto di pubblica fognatura, sarà realizzata una fossa settica tipo *“Imhoff”* per lo smaltimento dei reflui.

Nella successiva Fig. 1 si riporta la localizzazione dell'area oggetto di intervento ripresa da *Google™*.



Fig. 1 - Localizzazione area in esame

Lo studio è stato complessivamente sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- a) definizione del quadro geologico, geomorfologico, sismo-tettonico e climatico generale, attraverso dati, opportunamente elaborati, acquisiti prevalentemente dalla ricerca biblio-cartografica e da precedenti studi eseguiti nella zona;
- b) ricostruzione delle condizioni idro-geo-morfologiche locali, anche sulla base di rilievi di superficie e di studi precedenti;
- c) caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, tramite l'elaborazione, anche su base statistico-matematica, di dati acquisiti

attraverso l'utilizzo di correlazioni empiriche riprese dalla letteratura specializzata;

- d) caratterizzazione sismica e geotecnica del sito sulla base di un piano di indagini predisposto dal Committente (prove penetrometriche, M.A.S.W., sismica a rifrazione, indagini HVSR);
- e) indicazioni e prescrizioni di carattere geologico-tecnico delle quali tenere conto durante l'esecuzione dei lavori.

Lo studio è stato articolato sulla base della normativa tecnica di riferimento (D.M. 11/03/1988 *“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”*, D.M. 14/01/2008 per le parti ancora applicabili e D.M. 17/01/2018 *“Norme Tecniche per le Costruzioni”*), Circolare del C.S.LL.PP. n. 7 del 21/01/2019, recante: *“Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”*.

Il presente studio è stato condotto al fine di effettuare la caratterizzazione e modellazione geologica dell'area di intervento e valutare la compatibilità geomorfologica del progetto.

In particolare, dopo una ricerca bibliografica sullo stato delle conoscenze dell'area esaminata, sono stati individuati i caratteri di pericolosità geologica e, in particolare, litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e la definizione del modello geologico-tecnico del sottosuolo, ci si è avvalsi, oltre che dei dati esistenti, dai risultati di precedenti studi ed indagini geognostiche nella disponibilità del Committente realizzati in prossimità dell'area di progetto per la realizzazione di altre opere pubbliche.

In allegato fuori testo sono riportate le risultanze delle indagini in situ realizzate dal Dott. Geol. Antonino Coletta.

2 - LINEAMENTI GEO-MORFOLOGICI E SISMO-TETTONICI GENERALI

2.1 - QUADRO GEOLOGICO E STUDI PRECEDENTI

Nella zona nebroidea-peloritana affiorano le unità stratigrafico-strutturali più elevate della catena maghrebide siciliana (sistema neogenico a direttrice E-W e vergenza meridionale), che presenta in tali zone una depressione del proprio asse longitudinale. L'elemento geometricamente più basso è rappresentato dal "Flysch Numidico", su cui si trova in ricoprimento tettonico il "Flysch di Monte Soro", che costituisce i livelli strutturalmente più elevati delle successioni sedimentarie del Complesso Sicilide.

Il settore rappresenta una regione complessa dal punto di vista geologico-strutturale, nella quale si osservano le superfici di sovrascorrimento dei terreni della "Unità Longi-Taormina" (dominio "calabride") sulle unità "sicilidi" ("Flysch di Monte Soro") e di queste ultime sul "Flysch Numidico" del "complesso panormide", con i primi affioramenti sul versante di destra idrografica del Torrente S. Fratello.

Il primo rilevamento geologico di un certo interesse nell'area in esame si deve a CAMPISI (1960)¹ che tra i principali risultati indica:

- a) *"Una grande linea di dislocazione (sovrascorrimento) diretta NW-SE porta i terreni metamorfici, mesozoici e terziari della Sicilia nord-orientale ("unità dei Monti Peloritani") a ricoprire il Flysch cretaceo-paleogenico dei Monti Nebrodi ("unità del Flysch")";*
- b) *Un lembo di argille variegata con scisti a pesci e con microfauna cretacea ricopre i conglomerati terziari dell'altipiano di Floresta e sopporta una placca di arenarie di età miocenica inferiore, probabilmente di giacitura trasgressiva";*

¹ CAMPISI B. (1960). *Lineamenti geologici della regione di S. Agata di Militello, Floresta e zone contermini (Sicilia settentrionale)*. Boll. Serv. Geol. It., 80, 565-610.

- c) *“Il sollevamento plio-pleistocenico ha portato ad emergere terreni attualmente posti fino a 1000 metri di quota; i terrazzi di alcune quote sono correlabili alle regressioni calabriana, siciliana e tirreniana”.*

Come detto, al di sopra del Complesso Sicilide giace in ricoprimento tettonico il Complesso Calabride.

L'arco Calabro-Peloritano viene generalmente interpretato come l'elemento di congiunzione tra la catena appenninica s.s. e quella "Siculo-Maghrebide". L'estremità meridionale dell'arco, definita Catena Kabilo-Calabride (Lentini et al., 1994), costituisce l'ossatura dei Monti Peloritani e le unità stratigrafico-strutturali della catena affiorano in tutta la dorsale dei Monti Peloritani, estendendosi verso sud fino all'allineamento S. Fratello - Taormina.

Tale limite, noto in letteratura come linea di *“Longi - Taormina”* o *“S. Agata Militello - Taormina”* ed a cui molti autori attribuiscono un carattere di trascorrenza destro, risulta orientato all'incirca NW-SE e rappresenta il contatto tettonico fra le Unità Kabilo-Calabridi che sovrascorrono sulle sottostanti unità interne della Catena Appenninico-Maghrebide (complesso *“sicilide”*).

La catena Kabilo-Calabride è composta da un complesso sistema a falde di ricoprimento costituite da terreni del basamento metamorfico ercinico e dalle relative coperture sedimentarie meso-cenozoiche.

Il settore peloritano, secondo ricostruzioni recenti (GIUNTA et al., 1998), corrisponde nel suo insieme ad una depressione della catena maghrebide, nella quale sono rappresentate le unità tettonico-stratigrafiche più elevate a vergenza meridionale, dal basso verso l'alto:

- a) Unità di Longi-Taormina: affiora nei settori frontali dell'edificio peloritano, secondo un andamento NW-SE da Sant'Agata Militello fino a Taormina, ed è costituita da un basamento epimetamorfico ricoperto da una successione meso-cenozoica che mostra marcate

differenze di facies correlabili con differenti storie tettonico-sedimentarie;

- b) Unità di Fondachelli: costituita da un basamento epimetamorfico pre-alpino rappresentato da filladi, metareniti e rare metabasiti e metacalcari;
- c) Unità di Mandanici: costituita da un basamento pre-alpino composto da filladi, quarziti, metabasiti, marmi e porfiroidi;
- d) Unità del Mela: costituita da un basamento pre-alpino polimetamorfico rappresentato da paragneiss passanti a micascisti con intercalazioni di metabasiti e marmi (unità di recente istituzione);
- e) Unità dell'Aspromonte: formata da un basamento varisco metamorfico di medio-alto grado costituito da paragneiss e micascisti, gneiss occhiadini e metagraniti, anfiboliti, ultramafiti e marmi, intrusi da plutonici tardo-varisici e riequilibrato in età alpina.

Queste unità tettoniche sono ricoperte in discordanza dalle torbiditi silico-clastiche dell'oligo-miocenico "*Flysch di Capo d'Orlando*" (ridefinito come Fm. di Stilo - Capo d'Orlando), che suturano i contatti tettonici tra le falde sottostanti e la cui sedimentazione si interrompe nel Langhiano a seguito del ricoprimento tettonico di una coltre di argille variegata (Argille Scagliose Antisicilidi) la cui provenienza è assai dibattuta nella letteratura geologica. Seguono la formazione miocenica delle "*Calcareniti di Floresta*" (arkosi a cemento carbonatico ricche di briozoi), i depositi tortoniano-messiniani rappresentati da arenarie, conglomerati, anidriti e siltiti gessose ed, infine, i depositi plio-pleistocenici.

Nelle successive tavv. 3 e 4 si riportano rispettivamente uno schema geologico-strutturale della Sicilia nord-orientale, comprendente la zona di Sant'Angelo di Brolo, e uno schema stratigrafico dei corpi rocciosi componenti l'edificio tettonico dei Monti Peloritani.

Nell'intorno di Sant'Angelo di Brolo i terreni che affiorano con maggiore estensione areale sono le arenarie arkosiche grigio-giallastre, cui si

intercalano livelli decimetrici argilloso-marnosi, che caratterizzano il “*Flysch di Capo d'Orlando*”. Dal punto di vista litologico, esso è genericamente caratterizzato da facies torbiditiche conglomeratico-arenacee evolventi verso l'alto a facies arenaceo-pelitiche e più raramente pelitiche.

Inoltre, nell'area affiorano estesamente metamorfiti erciniche dell'Unità dell'Aspromonte, rappresentate da gneiss occhiadini grigi a grana medio-grossa, localmente con metagranitoidi, e paragneiss passanti a micascisti con grana da medio-grossa a minuta, e filladi passanti a metareniti grigio scure grafitose, grigio-verdi a clorite o grigio argentee a tessitura scistosa.

Dal punto di vista tettonico, l'area è caratterizzata da un sistema di faglie principali avente prevalentemente direzione NW-SE, coincidenti anche con la *fiumara* di Sant'Angelo di Brolo.

Nella **tav. 5** si riporta uno stralcio della Carta Geologica della Provincia di Messina (LENTINI et al., SELCA, Firenze, 2000) comprendente la zona oggetto di studio.

2.2 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Le condizioni geomorfologiche del territorio in esame sono ovviamente condizionate dalle diverse caratteristiche lito-tecniche dei terreni affioranti, che vengono elencati in ordine decrescente di predisposizione all'erosione e alla dissestabilità:

- 1) formazioni prevalentemente argillose tettonizzate;
- 2) formazioni fliscioidi;
- 3) formazioni epimetamorfico-filladiche;
- 4) formazioni calcaree.

Le formazioni argillose tettonizzate sono caratterizzate da una massa argillosa in giacitura caotica con lembi ed elementi lapidei (calcarei o arenacei) inglobati, che provoca variazioni di permeabilità e delle caratteristiche di resistenza al taglio.

L'erosione e la dissestabilità risultano elevate, con fenomenologie di dissesti del tipo scorrimento roto-traslazionale che evolvono verso i veri e propri colamenti e, arealmente, fino ad impegnare interi versanti. Spesso su

queste formazioni si osservano coltri di paleofrane o frane quiescenti, in ogni caso in condizioni di equilibrio limite e ad alto potenziale gravitativo.

Le formazioni fliscioide presentano un comportamento condizionato dal rapporto tra strati argillosi ed arenacei, dall'assetto stratimetrico, dal grado di fratturazione ed alterazione subito a causa degli stress tettonici, con gli strati arenacei prevalenti che conferiscono una discreta resistenza geomorfologica, ma l'esposizione a scivolamenti in presenza di assetto a franapoggio e a scorrimenti della coltre superficiale risulta, comunque, elevato.

Le formazioni epimetamorfico-filladiche sono spesso caratterizzate da una coltre di alterazione superficiale, che arriva fino alla completa argillificazione della roccia originaria, che determina una elevata predisposizione all'instabilità in base al suo spessore ed alle condizioni morfo-idrografiche e di uso del suolo al contorno.

Le formazioni calcaree, in genere, presentano una bassa predisposizione all'erosione, mentre i fenomeni franosi sono limitati per tipologia alle frane di crollo.

I valori angolari critici dell'inclinazione del versante per le diverse classi di propensione al dissesto di queste formazioni litologiche risultano (PICCIONE et al, 1989)²:

FORMAZIONE	INSTABILE	METASTABILE	STABILE
	Angolo di inclinazione del versante (°)		
<i>Argillosa tettonizzata</i>	> 30	30 - 15	< 15
<i>Fliscioide</i>	> 40	40 - 30	< 30
<i>Filladica</i>	> 50	50 - 40	< 40
<i>Calcaree</i>	> 85	85 - 70	< 70

Il territorio di Sant'Angelo di Brolo si sviluppa sui versanti dell'omonima *fiumara*, i quali sono sovente interessati dallo sviluppo di reticoli idrografici

² PICCIONE et al., (1989). *Metodo speditivo per la costruzione di mappe di stabilità naturale basato sulla stima quali-quantitativa di acclività, litologia, vegetazione, antropizzazione e clima*. CNR - Idonea Giovanni Litografo, Catania.

secondari, alla confluenza dei quali con l'asse principale della *fiumara* si riscontrano depositi alluvionali che danno luogo a conoidi, mentre nelle zone sommitali degli impluvi emergono nicchie di frane e paleofrane ed i conseguenti accumuli detritici.

Gli elementi morfologici che caratterizzano maggiormente l'area sono quelli legati sia alla dinamica delle acque di ruscellamento superficiale che alle elevate pendenze dei versanti, soprattutto nelle zone di testata, dove l'acclività ha un'influenza maggiore.

Gli impluvi presentano diffuse zone di ruscellamento concentrato che rapidamente evolvono verso alvei incassati ed in erosione.

La presenza di vegetazione arborea ed arbustiva svolge un'azione di contenimento nei confronti del ruscellamento diffuso che, come detto, è più frequente nelle aree più acclivi.

I versanti che insistono su questi tratti in erosione coincidono con aree di potenziale instabilità, per effetto dello scalzamento al piede degli ammassi rocciosi alterati e fratturati.

Nella **tav. 6** si riporta la Carta delle pendenze, comprendente l'area oggetto di studio.

2.3 - CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il centro abitato di Sant'Angelo di Brolo si localizza nel settore mediano, in destra idraulica, del bacino idrografico della omonima *fiumara*.

La *fiumara* di Sant'Angelo di Brolo mostra le caratteristiche tipiche dei fiumi "braided" di ambiente semi-arido ed incide gli opposti versanti ad elevata acclività e la fascia costiera recente, alimentata dagli apporti alluvionali, sviluppandosi secondo un orientamento NW-SE e attraversando i territori comunali di Brolo, Piraino e Sant'Angelo di Brolo.

Le caratteristiche della *fiumara* di Sant'Angelo di Brolo sono quelle di una valle stretta e dal profilo a "V", limitata dalle due dorsali montuose ad andamento generale SE-NW.

L'asta principale presenta una lunghezza di circa 15,5 km, mentre il bacino idrografico ha una estensione di poco superiore a 38 km², con la massima

altitudine che si registra a Monte dei Saraceni (1.107 metri s.l.m.) e la foce che è nel Mar Tirreno, in territorio comunale di Piraino.

Gli affluenti principali sono: Torrente Fontana, Torrente Salinà, Torrente Tamano, Torrente Mosè, Torrente Gabella, Torrente Scarapulli, Torrente Mannarà, Torrente Saraceni, Torrente Ligo, Torrente Ravò e Torrente Stagliano.

Nella successiva fig. 2 si riporta la rete idrografica del bacino della Fiumara di Sant'Angelo di Brolo.



Fig. 2 - Bacino della fiumara di Sant'Angelo di Brolo

La rete idrografica è strettamente condizionata dalle litologie affioranti. In corrispondenza di litotipi più competenti, l'idrografia si sviluppa in maniera rettilinea o sub-rettilinea. In presenza, di contro, di terreni erodibili, le linee di drenaggio sono molto più ramificate e sviluppate e assumono un andamento dendritico o sub-dendritico.

Dall'analisi morfologica dei versanti si riscontra, inoltre, uno stretto legame fra la configurazione orografica del territorio e l'incisione di alcuni valloni incassati e di breve lunghezza, che presentano un andamento pressoché corrispondente alle direzioni delle faglie principali.

2.4 - CENNI SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO

La Regione Siciliana, con D.A. n. 298/41 del 4 luglio 2000, ha adottato il *"Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico"*, con il quale sono state individuate *"aree franose"* ed *"aree potenzialmente soggette a fenomeni di esondazione"*, distinte con livelli di rischio *"molto elevato"* ed *"elevato"*, in base ai quali vengono definiti gli interventi consentiti e si applicano le misure di salvaguardia, in termini di prevenzione del rischio.

Nella relazione generale, allegata al decreto di approvazione del *"Piano Straordinario"*, per il Comune di Sant'Angelo di Brolo è riportato che: *"Nel 1995 viene segnalato il dissesto idrogeologico in cui versa il territorio in dipendenza degli eventi calamitosi del 1° quadrimestre del 1994. L'eccezionalità delle precipitazioni e la carenza di opere di convogliamento delle acque hanno fatto sì che il terreno, di natura detritico-fliscioide modificasse le originarie condizioni di stabilità. Il territorio è stato interessato da diversi fenomeni franosi che hanno coinvolto la viabilità che collega le varie frazioni con il centro, nonché fabbricati privati e pubblici"*.

Successivamente (2004) è stato adottato il nuovo Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Siciliana.

Il P.A.I., redatto dall'A.R.T.A. ai sensi dell'art. 17 della L. n. 183/1989 e s.m.i., rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono definite azioni, interventi e norme di utilizzo riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano e le cui disposizioni assumono carattere immediatamente vincolante per Amministrazioni, Enti Pubblici e soggetti privati.

Con Decreto Presidenziale 6 maggio 2021, pubblicato sul S.O. n. 2 alla G.U.R.S. n. 22 del 21/05/2021, si è provveduto alla *"Approvazione delle modifiche alla Relazione generale - Piano stralcio di bacino per l'assetto"*

idrogeologico della Regione siciliana - redatta nel 2004 e Tabella Elementi a rischio”.

L'Autorità cui oggi compete l'esercizio dei compiti e delle funzioni prevista dalla normativa è l'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia (art. 63 D. Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii.).

Come stabilito dall'art. 2 del citato D.P. 06/05/2021, *“Il P.A.I. definisce lo scenario di riferimento a scala regionale delle situazioni di pericolosità geomorfologica, idraulica e di morfodinamica costiera ed è uno strumento (conoscitivo, normativo e tecnico-amministrativo) di supporto per le politiche di conservazione, difesa e valorizzazione del territorio, ai fini della mitigazione del rischio idrogeologico e della tutela della salute pubblica e dell'ambiente, nonché della salvaguardia degli insediamenti e delle infrastrutture”.*

Il territorio comunale di Sant'Angelo di Brolo è quasi integralmente ricompreso nel cosiddetto bacino 013 (Area territoriale tra T.te Timeto e F.ra di Naso), all'interno del quale sono state individuate e perimetrate le zone a rischio di frana e a rischio di esondazione.

Il piano stralcio di bacino (013) è stato approvato con D.P.R.S. n. 288 del 05/07/2007, pubblicato sulla G.U.R.S. n. 47 del 05/10/2007 e successivamente aggiornato con D.P. n. 05/AdB del 23/12/2019.

La relazione del bacino di riferimento (013), per il Comune di Sant'Angelo di Brolo, individua complessivamente n. 135 dissesti che interessano circa 2,17 km² di territorio, distinti per tipologia e attività come riportato nella tabella seguente (cfr. tab. 2-26, Relazione P.A.I., 2006):

TIPOLOGIA		ATTIVI		INATTIVI		QUIESCENTI		STABILIZZATI		TOTALE	
		N.	Area [Ha]	N.	Area [Ha]	N.	Area [Ha]	N.	Area [Ha]	N.	Area [Ha]
Crollo/ribaltamento	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	5	0,7381	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	5	0,7381
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Colamento rapido	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	1	1,3229	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	1	1,3229
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Sprofondamento	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Scorrimento	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	1	0,5734	8	3,1213	11	8,8705	1	1,8334	21	14,3986
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Frana complessa	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	4	9,6261	9	11,9349	28	31,6382	11	47,5236	52	100,7228
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Espansione laterale DGPV	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Colamento lento	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Area a franosità diffusa	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	20	55,8701	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	20	55,8701
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Deformazioni superficiali lente(creep)	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	5	7,2787	1	2,3418	0	0,0000	0	0,0000	6	9,6204
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Calanchi	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
Dissesti dovuti ad erosione accelerata	Area tra T. Timeto e F.ra di Naso	30	34,3262	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	30	34,3262
	Fimmarà di Naso	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
TOTALE		66	109,7354	18	17,3980	39	40,5087	12	49,3370	135	216,9990

Le zone a maggiore instabilità morfologica sono quelle dove le porzioni superficiali delle rocce metamorfiche e fliscioidi assumono maggiore spessore e sono interessate da fenomeni franosi di scorrimento o di scorrimento evolventi a colamento, ma anche lo stesso substrato è coinvolto da fenomeni gravitativi di varia tipologia (crollo, aree a franosità diffusa, frane complesse).

A seguito dell'aggiornamento del P.A.I. del 2019, sono state censite nuove aree interessate da dissesti di natura geomorfologica ed introdotte modifiche al precedente decreto. Nella relazione si riporta che *“In particolare sono stati aggiunti n. 4 siti d'attenzione e n. 57 nuovi dissesti, mentre risultano modificati n° 12 dissesti già censiti nel PAI decretato con D.P.R.S. n° 288/2007. Inoltre sono stati rivisti i livelli di rischio in precedenza decretati e sono state apportate delle correzioni... (cfr. Relazione P.A.I. - Geomorfologia, Comune di Sant'Angelo di Brolo, 2018).*

La zona di interesse progettuale risulta attigua a diversi dissesti di natura geomorfologica censiti nel P.A.I. e classificati come *“attivi”*.

I dissesti, di diversa natura, sono caratterizzati da differenti livelli di pericolosità e rischio e sono individuati dai codici 015-5SB-147 (crollo, P3-R4) 013-5SB-148 (crollo, P3/R4), 013-5SB-145 (scorrimento, P2/R3), 013-5SB-146 (area a franosità diffusa, P1) e 013-5SB-104 (frana complessa, P2/R3).

La zona in esame risulta perimetrata nel P.A.I., ricadendo quasi integralmente all'interno della zona classificata con livello di pericolosità P3 (elevato) e rischio R4 (molto elevato) individuata dal cod. 013-5SB-148 e per una piccola parte all'interno del dissesto cod. 013-5SB-104 (frana complessa, P2/R3).

Nelle tavv. 7 e 8 si riportano, rispettivamente, gli stralci della "Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico" e della "Carta dei dissesti", entrambe allegate al P.A.I., in cui vengono perimetrare le zone interessate dai dissesti, determinato il livello di pericolosità e rischio ed indicata la tipologia e lo stato di attività dei fenomeni franosi.

Per le tipologie di dissesto sopra individuate, le misure strutturali riportate nella Relazione Generale del P.A.I. (2004) prevedono:

- per la frana da crollo/ribaltamento: *"nella fase di emergenza, occorre adottare soluzioni che abbiano lo scopo di eliminare il rischio imminente (azioni di disgaggio dei massi pericolanti). Successivamente, gli interventi adottabili per la mitigazione del rischio sono:*
 - *interventi puntuali di grado diverso (disgaggio periodico e, talora, decespugliamento delle pareti rocciose; rivestimento delle pareti con reti metalliche rinforzate con funi; chiodature);*
 - *combinazione di limitazioni d'uso del territorio e di interventi di protezione con opere di tipo passivo (reti deformabili ad elevato assorbimento d'energia; barriere elastiche e rigide; valli e rilevati; rilevati in terra rinforzata) per tutte quelle situazioni in cui la parete instabile si trova a notevole distanza (altimetrica e planimetrica) dall'area da proteggere";*

- per lo scorrimento: *“Gli interventi vanno in genere rivolti al controllo, a monte, delle acque di scorrimento superficiale e ai sistemi drenanti profondi; nel caso di movimenti superficiali possono essere sufficienti opere di sistemazione a carattere estensivo. La presenza di centri abitati o infrastrutture importanti a monte della nicchia di distacco può richiedere opere di stabilizzazione di tipo attivo; è consigliabile intervenire anche con opere di contenimento, come muri di sostegno o gabbionate, atte a contrastare la spinta delle masse di terreno”*;
- per le aree a franosità diffusa: *“In genere, in queste aree, è opportuno favorire un uso del suolo che non inneschi l'azione erosiva delle acque superficiali e che non lasci lo stesso esposto all'erosione durante i periodi più piovosi. Gli interventi devono essere mirati a migliorare le condizioni di stabilità, agendo soprattutto sulla regolarizzazione e il drenaggio delle acque superficiali ed il rinverdimento delle scarpate e delle aree denudate”*;
- per le frane complesse: *“In questi casi gli interventi vanno rivolti al controllo delle acque di scorrimento superficiale ed ai sistemi drenanti profondi; la presenza di centri abitati o infrastrutture importanti a monte della nicchia di distacco può richiedere opere di stabilizzazione di tipo attivo”*.

La zona di insediamento delle opere in progetto non rientra nei casi di cui al D.P. 15/04/2015, recante *“Istituzione di una fascia di rispetto per probabile evoluzione del dissesto intorno a tutti i fenomeni gravitativi”*, pubblicato sulla G.U.R.S. n. 20 del 15/05/2015.

2.5 - QUADRO SISMO-TETTONICO E RISCHIO SISMICO

2.5.1 - Cenni sulla sismicità e classificazione sismica del territorio

L'area nebroideo-peloritana risulta sismicamente attiva in accordo con le sue caratteristiche geologico-strutturali e risente della sismicità del basso Tirreno.

Gli studi sismo-tettonici (BARBANO et al., 1978; 1981; 1984)³ hanno dimostrato che la zona a cavallo tra i Monti Nebrodi e i Peloritani, in accordo con le sue caratteristiche geologico-strutturali, è caratterizzata da una attività sismica relativamente bassa, con valori massimi in termini di magnitudo $M \leq 6$, in corrispondenza di Mistretta e del Golfo di Patti (**tav. 9**).

La massima intensità risentita nell'area in esame negli ultimi 2.000 anni risulta dell'ordine del VIII grado della scala MCS (BOSCHI et al., 1995)⁴, mentre il terremoto recente più intenso e con epicentro più vicino a Sant'Angelo di Brolo è quello registratosi il 15/04/1978 nel Golfo di Patti, con una intensità stimata all'epicentro $I_{MCS} = 8,5$ e che è stato avvertito entro un raggio di circa 150 km.

Data	Ora	Zona epicentrale	I_{MCS} epicentro
15/04/1978	23 ^h 33'	Tindari- Vulcano	8 - 8,5

Nella **tav. 10** si riporta uno stralcio della carta della massima intensità macrosismica risentita in Italia (da INGV - DPC, 1995).

L'area in esame, come risulta dalla più recente zonazione sismogenetica ZS9, aggiornamento della precedente ZS4 (SCANDONE & STUCCHI, 2000; MELETTI & VALENSISE, 2004), si colloca al confine tra la ZS932 (Eolie - Patti) e la ZS933 (Sicilia settentrionale), entrambe caratterizzate da magnitudo massima osservata prossima o di poco superiore a 6, ma con meccanismi di faglie prevalenti diverse, rispettivamente trascorrenti (faglia Giardini - Tindari - Vulcano) e inverse (faglia Alia - Malvagna).

³ BARBANO et al. (1978). *Elementi per una carta sismotettonica della Sicilia e della Calabria meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 19,681-688.

BARBANO et al. (1978). *Studio macrosismico del terremoto di Mistretta del 5 Giugno 1977 e considerazioni sulla sismicità della catena dei Monti Peloritani-Nebrodi-Madonie*. Boll. Soc. Geol. It., 97,565-578.

BARBANO et al. (1984). *Seismic zoning of Calabria and Sicily (South Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., 101-102, 39-58.

⁴ BOSCHI et al. (1995). *Massima intensità macrosismica risentita in Italia*. ING-Dip. Prot. Civile Stab. L. Salomone, Roma

Nella **tav. 11** si riporta il meccanismo di fagliazione prevalente per le diverse zone sismogenetiche di ZS9.

Per il Comune di Sant'Angelo di Brolo, il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) riporta il seguente elenco di eventi sismici (pubblicato su <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>):

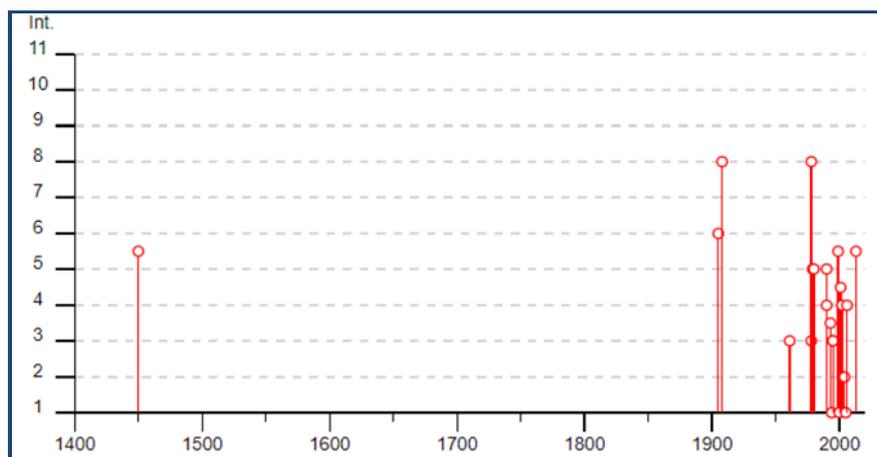


Fig. 3 - Eventi sismici (periodo 1450 - 2020)

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	1450						Sicilia settentrionale	2	5-6	4.40
6	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
8	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
3	1961	03	24	10	36		Calabria meridionale	59	5-6	4.62
3	1978	03	11	19	20	4	Aspromonte	126	8	5.22
8	1978	04	15	23	33	4	Golfo di Patti	330	8	6.03
5	1979	01	16	19	27	1	Golfo di Patti	11	5	4.35
5	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
5	1990	03	28	05	47	3	Golfo di Patti	38	5	4.39
4	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
3-4	1993	03	01	12	43	1	Tirreno meridionale	27		4.09
NF	1994	01	05	13	24	1	Tirreno meridionale	148		5.82
3	1995	07	23	18	44	2	Isole Eolie	58	6	4.63
3	1995	08	27	19	42	1	Golfo di Patti	55	4-5	4.11
5-6	1999	02	14	11	45	5	Golfo di Patti	101	6	4.66
NF	2000	05	29	14	25	3	Golfo di Patti	34	4-5	3.66
4-5	2001	05	08	03	52	5	Monti Nebrodi	21	4-5	3.60
4	2002	04	05	04	52	2	Isole Eolie	21	5-6	4.49
2	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56
4	2006	02	27	04	34	0	Monti Peloritani	55	5	4.38
5-6	2013	08	15	23	06	5	Monti Peloritani	49	5-6	4.38

La classificazione sismica del territorio adottata a partire dagli anni '80 si basa sulla sismicità registrata dall'anno 1000 sino ad oggi, considerando maggiormente pericolose quelle aree in cui gli eventi sismici si presentano con più frequenza.

Diversi sono i provvedimenti relativi all'utilizzo del territorio secondo il grado di sismicità e tra questi il D.M. 23/09/1981 ed il D.M. 27/07/1982.

Sulla scorta delle nuove conoscenze acquisite sulla pericolosità sismica, le varie zone sismiche sono state individuate sulla base del documento: *"Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale"* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23/04/1997.

Per la Sicilia è stata effettuata una classificazione correlata ai limiti comunali, suddividendo il territorio in tre categorie sismiche in base al grado di sismicità:

- 1^a categoria S = 12 (18 comuni);
- 2^a categoria S = 9 (336 comuni);
- 3^a categoria S = 6 o N.C. (36 comuni).

In base a questa classificazione il territorio comunale di Sant'Angelo di Brolo risultava inserito tra i comuni con S = 9.

Recentemente, mediante l'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003, è stata effettuata la nuova classificazione sismica del territorio nazionale, che viene suddiviso in quattro zone, definite in funzione di quattro corrispondenti valori di accelerazione orizzontale d'ancoraggio dello spettro elastico di risposta (a_g/g).

Per quel che riguarda i 390 comuni siciliani la nuova classificazione prevede:

- Zona 1 (0,35 g) - 33 comuni;
- Zona 2 (0,25 g) - 321 comuni;
- Zona 3 (0,15 g) - 7 comuni;
- Zona 4 (0,05 g) - 29 comuni;

A seguito dell'O.P.C.M. n. 3274/2003, la Regione Siciliana con delibera della Giunta Regionale n. 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dipartimento Regionale della Protezione Civile (D.D.G. n. 003 del 15/01/2004), ha provveduto a rendere esecutiva la nuova classificazione sismica dei comuni della regione, introducendo l'obbligo della progettazione antisismica anche per i comuni classificati sismicamente in zona 4.

Con ulteriore Delibera della Giunta regionale n. 81 del 24/02/2022, pubblicata sulla G.U.R.S. n. 13 del 25/03/2022, la Regione Siciliana ha provveduto all'“*Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia. Applicazione dei criteri dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519*”.

Per i 391 comuni siciliani, l'aggiornamento della classificazione prevede:

- Zona 1 (0,35 g) - 53 comuni;
- Zona 2 (0,25 g) - 306 comuni;
- Zona 3 (0,15 g) - 31 comuni;
- Zona 4 (0,05 g) - 1 comune.

Nella successiva **tav. 12** viene riportata la cartografia relativa alla classificazione sismica della Regione Siciliana, con il territorio comunale di Sant'Angelo di Brolo che risulta classificato in “zona sismica 2”.

2.5.2 - Pericolosità e rischio sismico

Studi di pericolosità sismica (ALBARELLO et al., 2000⁵; LUCANTONI et al., 2001⁶) definiscono per Sant'Angelo le seguenti intensità massime attese in funzione del tempo di ritorno, riportate per confronto con i dati relativi a Patti e Mistretta, aree a più elevata pericolosità sismica:

Comune	$I_{max(MCS)}$ osservata	Grado di sismicità (S) e data di classificazione	$I_{max(MCS)}$ attesa per tempo di ritorno (anni)			
			(95)	(475)	(975)	(2475)
Sant'Angelo	IX	(9) 06-09-1912	6.7	7.7	8.0	8.3
Patti	IX	(9) 06-09-1912	6.8	7.8	8.1	8.3

⁵ ALBARELLO et al. (2000). *Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale*. SSN-GNDT, Roma.

⁶ LUCANTONI et al. (2001). *Il rischio sismico in Italia*. Ing. Sismica, 1,5-35.

<i>Mistretta</i>	<i>VIII</i>	<i>(12) 26-09-1968</i>	<i>6.2</i>	<i>7.4</i>	<i>7.8</i>	<i>8.0</i>
------------------	-------------	------------------------	------------	------------	------------	------------

L'indice di rischio sismico (Ordinanza n. 2788 del 12/06/1998 del Ministero dell'Interno), calcolato come media pesata di p_d (% di patrimonio danneggiato) e di p_c (% di popolazione coinvolta in crolli), ciascuno rapportato al suo massimo:

$$I_R = (p_c/p_{cmax} \times 2/3) + (p_d/p_{dmax} \times 1/3)$$

consente di classificare ad elevato rischio sismico i Comuni con I_R superiore al valore medio nazionale ($I_R = 0,0455$):

<i>Comune</i>	<i>Indice di rischio (I_R)</i>
<i>Sant'Angelo di Brolo</i>	<i>0.0884</i>
<i>Patti</i>	<i>0.0568</i>
<i>Mistretta</i>	<i>0.0838</i>

da cui risulta, secondo questo criterio, che a Sant'Angelo di Brolo, così come a Patti e Mistretta, si definiscono condizioni di elevato rischio sismico, tenendo conto del valore dell'indice di rischio pari quasi al doppio della media nazionale.

Per quanto riguarda, la pericolosità sismica indotta viene valutato in termini quali-quantitativi:

- a) il rischio di liquefazione dei terreni di fondazione in presenza di sollecitazioni sismiche, tenendo conto della sismicità attesa;
- b) il rischio di amplificazione dell'intensità sismica, in base alla situazione lito-stratigrafica locale.

I fenomeni di liquefazione associati ai terremoti storici italiani, secondo le ricerche più recenti (BERARDI et al., 1988), risultano di limitata entità e localizzati prevalentemente nelle aree epicentrali con $I_{MCS} \geq 9$.

Nella zona in esame, l'intensità massima attesa con tempo di ritorno cautelativo ($T_r = 475$ anni) risulta $I_{MCS} = 7,7$ e perciò il rischio di liquefazione dei terreni, relativamente a tale fattore, può essere considerato trascurabile.

estranea. La faglia più vicina all'area in esame è quella denominata “*Tindari - Novara di Sicilia*” che presenta una lunghezza di circa 14,5 km.

3 - QUADRO CLIMATICO ED IDROGEOLOGICO

3.1 - CARATTERISTICHE CLIMATICHE

Il quadro termo-pluviometrico generale di lungo periodo per la Sicilia consente di definire per il settore ionico-peloritano (tav. 13):

- piovosità media annua dell'ordine di 700-900 mm lungo la fascia costiera e di 900-1100 mm nella zona collinare e sui rilievi di spartiacque;
- temperatura di 16-20 °C per la zona costiera, di 16-12 °C per le zone collinari e sub-montane e valori minori di 10 °C nelle parti più elevate dei rilievi.

Per la definizione del quadro termo-pluviometrico locale si è tenuto conto dei dati termo-pluviometrici medi di lungo periodo (1965-1994), registrati della stazione del S.I. "Tindari" (280 m s.l.m.) e riportati nella seguente tabella:

MESE	P (mm)	T (°C)	Stagione	P mm (%)	T (°C)
Dic	111.2	12.0	Inverno	281.4 (37.8)	11.1
Gen	85.2	10.6			
Feb	85.0	10.8			
Mar	66.0	11.9	Primavera	152.7 (20.5)	14.5
Apr	57.8	13.9			
Mag	28.9	17.7			
Giu	23.3	21.4	Estate	62.2 (8.4)	23.3
Lug	9.3	24.0			
Ago	29.6	24.5			
Set	64.0	22.1	Autunno	248.2 (33.3)	18.5
Ott	99.4	18.5			
Nov	84.8	14.8			
ANNO	744.5	16.9	ANNO	744.5	16.9

La maggior parte delle precipitazioni si concentrano nel semestre autunnale-invernale, durante il quale cade oltre il 58% circa delle piogge annue, mentre la temperatura media annua è pari a 16,9°C, con gennaio mese più freddo (10,6°C).

In base ai dati sopra riportati, tra le possibili e numerose classificazioni climatiche che utilizzano gli indici sintetici, la regione climatica di riferimento viene definita tramite:

- il Pluviofattore (*Regenfaktor*) di LANG (1915):

$$R = P/T = 44,0$$

che consente di definire il clima, per valori di $R = 40-60$, come “*semiarido*”;

- l'indice di aridità (*Ia*) di DE MARTONNE (1926)⁹:

$$Ia = P / (10 + T) = 27,7$$

che consente di definire le condizioni climatiche come “*sub-umide*” ($Ia = 20-30$), caratteristiche della zona collinare.

Per quanto riguarda le precipitazioni di massima intensità, durante l'evento meteorico dell'ottobre 1996, eccezionale per entità di pioggia e superficie territoriale colpita (Sicilia nord-orientale), si concentrano nell'arco di sette giorni il 25% circa delle precipitazioni annuali, mentre le precipitazioni di massima intensità, nelle 24 ore, presentano il valore massimo relativo al periodo 1970/1995, a cui si collega un tempo di ritorno dell'ordine di 42 anni.

3.2 - CENNI IDROGEOLOGICI

Nell'area in esame si riscontra la presenza di terreni che presentano valori molto diversi della permeabilità, variabile in funzione delle caratteristiche granulometriche, tessiturali, di addensamento, del tipo e grado di fratturazione e della sua distribuzione spaziale, con le idrostrutture che, in ogni caso, risentono del regime stagionale delle precipitazioni.

I terreni fliscioidi, largamente presenti nell'area, sono caratterizzati da permeabilità medio-bassa. Infatti, i livelli arenacei che presentano valori medi della permeabilità risultano associati e variamente alternati a livelli pelitici ed argillosi che risultano poco permeabili o impermeabili. Tale variabilità determina la formazione di limitati e localizzati accumuli idrici, tamponati dai livelli più fini. Inoltre, questi terreni possono presentare anche una permeabilità di tipo secondario, soprattutto nelle porzioni più

superficiali, determinata dall'alterazione e dalla fratturazione degli ammassi rocciosi. L'infiltrazione, peraltro, non risulta favorita dalle condizioni morfologiche in quanto, l'acclività dei versanti produce un notevole deflusso superficiale.

Gli affioramenti di natura metamorfica presentano una permeabilità generalmente medio-bassa di tipo secondario, legata alla presenza di un sistema di discontinuità variamente orientato e di intensità molto variabile.

Le coperture detritiche presentano, generalmente, una permeabilità bassa e sono caratterizzate da impregnazioni idriche in corrispondenza dei livelli litologici più superficiali ed alterati. Laddove le porzioni superficiali detritiche assumono uno spessore ed una permeabilità media per porosità, si instaurano delle falde acquifere di modesta entità, che talora danno luogo ad emergenze sorgentizie effimere e con regime strettamente correlabile al regime pluviometrico locale.

I terreni impermeabili sono rappresentati principalmente dai termini argillosi e sono caratterizzati da una permeabilità nulla oppure molto bassa e limitata alle porzioni più superficiali, dove sono localizzate emergenze sorgentizie effimere e di limitata portata.

Di seguito si riporta una tabella indicante il coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.) rispetto al complesso idrogeologico.

COMPLESSO IDROGEOLOGICO	COEFF. INFILTRAZIONE POTENZIALE (% di PE)
<i>Argilloso</i>	<i>0 - 10</i>
<i>Metamorfico</i>	<i>5 - 20</i>
<i>Fliscioide</i>	<i>20 - 45</i>
<i>Calcareo</i>	<i>50 - 90</i>
<i>Alluvionale</i>	<i>80 - 100</i>

Complessi idrogeologici e relativi coefficienti di infiltrazione potenziale, definiti come percentuale delle precipitazioni efficaci ($Pe = P - Er$), ripresi da CIVITA (1994) e CELICO (1988)

Le condizioni idrogeologiche locali determinano il caricamento piezometrico degli orizzonti detritico-eluviali, che possono giungere a saturazione nei

⁹ DE MARTONNE, E. (1926). *Aerisme, et indices d'aridite*. Comptesrendus de L'Academie des Sciences, 182, 1395- 1398

periodi più piovosi con conseguente incremento della predisposizione al dissesto.

4 - AZIONE SISMICA SECONDO LE NTC-18

4.1 - QUADRO NORMATIVO

Di seguito vengono fornite indicazioni sulle azioni sismiche di progetto, con specifico riferimento alla normativa antisismica introdotta dall'O.P.C.M. 20/03/2003 n. 3274 recante *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”* e ss.mm.ii.

L'Ordinanza, nonostante talune incertezze interpretative e difficoltà di avere riferimenti certi, a causa delle continue proroghe e modifiche, presenta un carattere fortemente innovativo rispetto alla legislazione previgente, riprendendo nella sostanza gli *“Structural Eurocodes”*, già diffusi nella comunità internazionale da molti anni.

Nell'intento di recepire le disposizioni dell'Eurocodice 8 in materia di costruzioni in zona sismica, l'O.P.C.M. si caratterizza, in via teorica, per l'abbandono dell'approccio convenzionale e prescrittivo in favore di quello specificatamente prestazionale. Invero, viene sostituito il metodo di verifica della sicurezza, cosiddetto delle *tensioni ammissibili*, con quello degli *stati limite*.

Nelle more dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 è stato adottato il DMIT 14/09/2005, recante *“Norme Tecniche per le costruzioni”*, con l'intento di raccogliere in un corpo organico la normativa tecnica per la progettazione e realizzazione dei manufatti edilizi e di unificare ed aggiornare le singole disposizioni di settore precedenti, contenute in diversi provvedimenti normativi.

Dall'1/07/2009, dopo una serie di proroghe, è entrato in vigore il D.M. 14/01/2008 (Nuove norme tecniche per le costruzioni), reso completamente operativo dalla pubblicazione della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 02/02/2009, recante le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC che raccolgono in forma unitaria le

norme che disciplinano la realizzazione delle costruzioni, dalla fase della progettazione fino al collaudo definitivo.

Più recentemente sono entrate in vigore le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-18, giusto D.M. 17/01/2018, pubblicato sul S.O. n. 8 alla G.U.R.I. n. 42 del 20/02/2018) e la Circolare del C.S.LL.PP. n. 7 del 21/01/2019, recante: *“Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”*.

4.2 - NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Come anzidetto, mediante l'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003, è stata effettuata la nuova classificazione sismica del territorio nazionale, che viene così suddiviso in quattro zone, definite in funzione del valore del parametro a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, che corrisponde all'accelerazione attesa per un periodo di ritorno di 475 anni, ovvero con probabilità di superamento annuo pari a circa il 2 per mille.

I valori di a_g sono espressi in funzione dell'accelerazione di gravità e per le varie zone risultano (punto 3.2.2.1 del DMIT 14/09/2005):

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

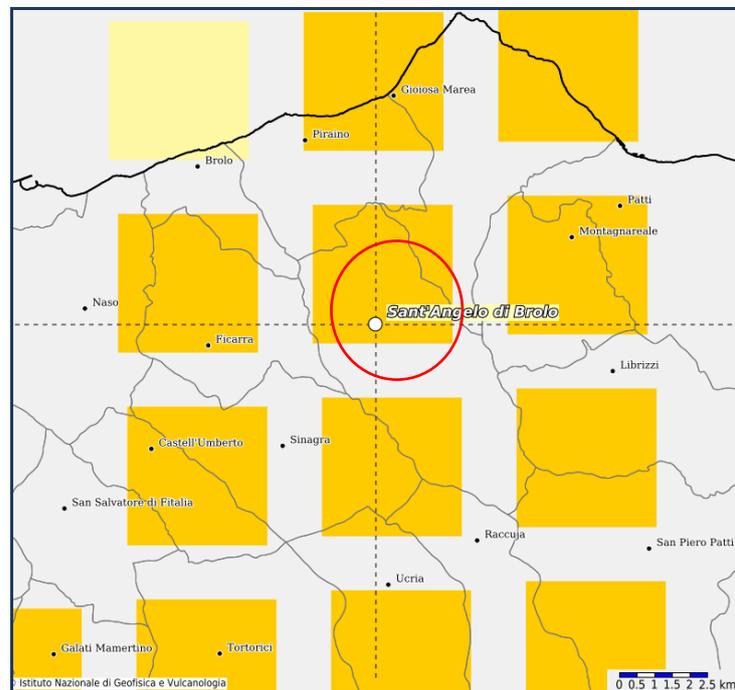
La citata Ordinanza n. 3274/2003 ha portato alla redazione (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) della più recente mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta in termini di accelerazione massima orizzontale su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Tale mappa, riportata nella **tav. 14**, è stata approvata con O.P.C.M. 20/04/2006 n. 3519 recante *“Criteri generali per l'individuazione delle zone*

sismiche e per la formazione l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

Occorre puntualizzare che quanto previsto nell'O.P.C.M. n. 3519/2006 non modifica la classificazione sismica del territorio nazionale, che rimane quella definita dall'allegato 1 dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 e ss.mm.ii., modificata in qualche caso delle Regioni, ma costituisce essenzialmente un documento di fondamentale importanza nello sviluppo di azioni mirate alla riduzione del rischio sismico, una stima coerente della pericolosità per l'eventuale aggiornamento della classificazione sismica del territorio su basi scientifiche, indicando i valori attesi dell'accelerazione massima al suolo su una griglia di circa 11.000 punti.

La mappa di pericolosità sismica più recente, predisposta nell'ambito del Progetto DPC-INGV-S1¹⁰, consente di definire in corrispondenza del sito in esame valori di PGA (*Peak Ground Acceleration*) su suolo rigido dell'ordine di 0,175 - 0,200 g (Fig. 5).



¹⁰ DPC-INGV (2007). *Progetto S1. Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274/2003 e progettazione di ulteriori sviluppi. Rapporto finale.* <http://esse1.mi.ingv.it>.

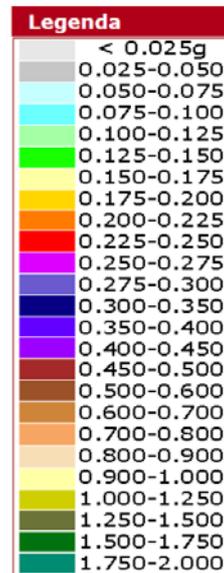


Fig. 5 - Accelerazione sismica al bedrock (50mo percentile) con $T_r = 475$ anni

4.3 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Nelle nuove NTC l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, in condizioni ideali (sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale, campo libero). La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un determinato intervallo di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

L'intervallo di tempo nelle NTC, è espresso in anni e denominato “*periodo di riferimento*” (VR), mentre la probabilità è denominata “*probabilità di eccedenza o superamento nel periodo di riferimento*” (PVR).

Il periodo di riferimento è definito al paragrafo 2.4.3 delle citate norme tecniche e si ricava, per ciascun tipo di costruzione, mediante la relazione

$$V_R = V_N C_U$$

dove V_N rappresenta la vita nominale dell'opera e C_U il coefficiente d'uso.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle grandezze:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al *bedrock*;

- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

sulla base delle quali sono definite le forme spettrali per la generica PVR.

Per i valori di a_g , F_0 e TC^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14/01/2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 04/02/2008, n. 29, ed eventuali successivi aggiornamenti (punto 3.2 delle NTC-18).

Di essi viene fornita la rappresentazione in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno T_R , per l'intero territorio nazionale sulla base del cosiddetto "reticolo di riferimento".

I valori di a_g , F_0 e T_c^* sono forniti dalla normativa per 9 valori del periodo di ritorno T_R : 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni.

Per tutti i punti del territorio non coincidenti con i nodi del reticolo, i valori dei parametri a_g , F_0 e TC^* sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

Le NTC introducono diversi stati limite ad ognuno dei quali si associa una certa probabilità di superamento, come riassunto nella seguente tabella:

STATO LIMITE		PROBABILITA'
SLE (Stati limite di esercizio)	SLO (Stato limite di operatività)	0,81
	SLD (Stato limite di danno)	0,63
SLU (Stati limite ultimi)	SLV (Stato limite di salvaguardia della vita)	0,10
	SLC (Stato limite di prevenzione del collasso)	0,05

Tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_R , proprio della costruzione da realizzare, consentono di individuare l'azione sismica di progetto corrispondente per ciascuno stato limite.

Il sito oggetto dell'intervento risulta localizzato, come detto, nel territorio comunale di Sant'Angelo di Brolo (Me).

Utilizzando il programma Spettri-NTC (ver. 1.0.3) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si procede alla definizione della pericolosità sismica di base, alla scala del Comune di Sant'Angelo di Brolo (Lat.: 38.1145, Long.: 14,8843):

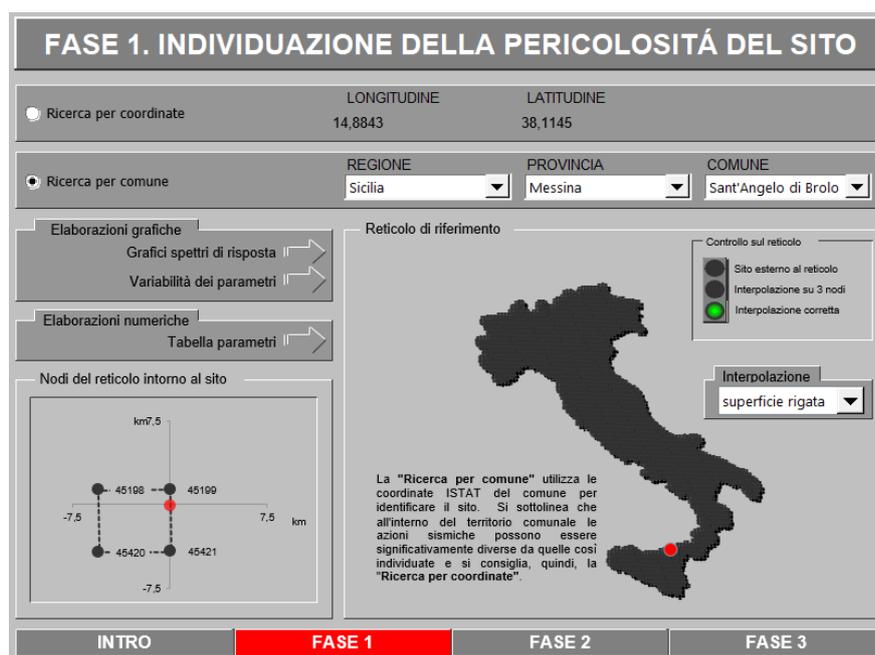


Fig. 6 - Individuazione della pericolosità di sito (da C.S.L.P.)

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* , per i periodi di ritorno T_R di riferimento sono riassunti nella seguente tabella:

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,060	2,406	0,267
50	0,077	2,392	0,280
72	0,092	2,383	0,288
101	0,107	2,368	0,294
140	0,122	2,368	0,299
201	0,141	2,380	0,310
475	0,190	2,432	0,327
975	0,239	2,521	0,339
2475	0,315	2,603	0,352

Nella **tav. 15** si riporta il grafico con gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento, elaborato con il programma Spettri-NTC (ver. 1.0.3) del C.S.L.P.

Nel caso in esame, i valori dei parametri a_g , F_o e T^*c , per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite, risultano:

<i>Stato Limite</i>	T_R	a_g (g)	F_o	T^*c (s)
<i>SLO</i>	30	0,060	2,406	0,267
<i>SLD</i>	50	0,077	2,392	0,280
<i>SLV</i>	475	0,190	2,432	0,327
<i>SLC</i>	975	0,239	2,521	0,339

4.4 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE ED AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La “pericolosità sismica locale” rappresenta la componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche, che permette di stimare le amplificazioni locali e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno (GdL MS, 2008).

In occasione di terremoti possono, infatti, generarsi “effetti di sito” dovuti all’amplificazione litologica e topografica ed “effetti locali”, quali, ad esempio, frane, liquefazione, addensamenti, rotture di faglia).

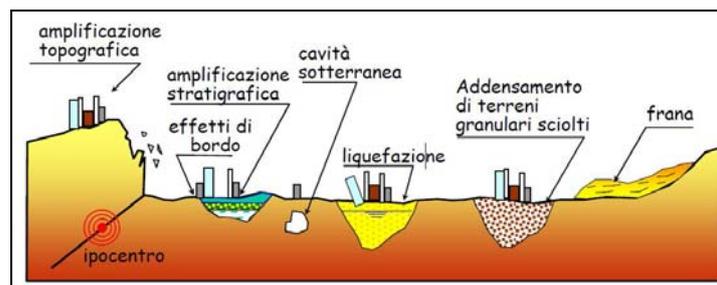


Fig. 7 - Effetti di sito ed effetti locali

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, 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, V_s , ed occorre, altresì, valutare l’effetto della risposta sismica locale, tenendo conto delle condizioni stratigrafiche del terreno interessato dalla costruzione e delle condizioni topografiche, poiché questi fattori concorrono

ad incrementare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su sito rigido orizzontale.

Ai fini degli *effetti stratigrafici*, il paragrafo 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 definisce le seguenti categorie di sottosuolo (tab. 3.2II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato):

<i>Categoria Sottosuolo</i>	<i>Descrizione</i>
<i>A</i>	<i>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.</i>
<i>B</i>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<i>C</i>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<i>D</i>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
<i>E</i>	<i>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.</i>

Il parametro V_{seq} rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ed è definito dalla seguente espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} h_i / v_{s,i}} \quad (\text{m/s})$$

con:

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

Per 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 nella precedente espressione $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per quel che riguarda, invece, i cosiddetti *effetti topografici*, si adotta, per configurazioni superficiali semplici, la classificazione di cui alla tabella 3.2.III delle NTC-18, cioè:

<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
<i>T1</i>	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
<i>T2</i>	<i>Pendi con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
<i>T3</i>	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$</i>
<i>T4</i>	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

Per tenere conto degli effetti dell'amplificazione stratigrafica si utilizzano i coefficienti S_s e C_c , da calcolare mediante le espressioni riportate nella tabella 3.2.IV delle NTC-18.

Relativamente all'amplificazione topografica si utilizzano, invece, i valori del coefficiente S_T , riportati nella tabella 3.2.V delle NTC-18 e definiti in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione delle opere.

La zona interessata dalla realizzazione delle opere risulta localizzata su un versante caratterizzato da pendenze significative, con valori medi dell'inclinazione del pendio superiori a 15° e, pertanto, può essere classificato nella categoria topografica "T2".

Relativamente alla categoria di sottosuolo, si rappresenta che le indagini geofisiche realizzate in situ (MASW) hanno restituito valori di V_{seq} compresi tra 383 e 407 m/s, mentre le indagini HVSR hanno restituito valori compresi tra 386 e 437 m/s.

Pertanto, il terreno di fondazione può essere classificato, secondo quanto previsto dalle vigenti NTC-18, definendo la categoria di suolo del sito in esame come "tipo B" ($360 \text{ m/s} < V_{seq} < 800 \text{ m/s}$).

Il sito in progetto, dunque, rispetto agli “effetti di sito”, rientra certamente in una zona suscettibile di amplificazioni locali sia per effetto litologico, per la presenza nel sottosuolo di terreni con uno spessore di diverse decine di metri e con velocità sismiche $V_s < 800$ m/s, che per effetti morfologici.

L'area in esame, tenuto conto della pericolosità sismica di base (definita su base comunale) e dell'amplificazione derivante dalle condizioni stratigrafiche e topografiche locali presenta, per i diversi stati limite, una risposta sismica locale definita dai parametri riassunti nella seguente tabella (per $V_N = 50$ anni e Classe d'uso II):

<i>Stato Limite</i>	<i>Ss</i>	<i>Cc</i>	<i>St</i>
<i>SLO</i>	<i>1,200</i>	<i>1,432</i>	<i>1,20</i>
<i>SLD</i>	<i>1,200</i>	<i>1,419</i>	<i>1,20</i>
<i>SLV</i>	<i>1,200</i>	<i>1,375</i>	<i>1,20</i>
<i>SLC</i>	<i>1,159</i>	<i>1,366</i>	<i>1,20</i>

L'accelerazione massima al suolo, con T_R pari a 475 anni (SLV), risulta:

$$a_{max,s} = a_{max,b} \times S = 0,274g$$

Per gli SLE lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità P_{VR} di superamento nel periodo di riferimento.

Nelle **tavv. 16 e 17** si riportano rispettivamente gli spettri di risposta per gli stati limite SLO e SLD, elaborati mediante il programma Spettri-NTC (ver. 1.0.3) del C.S.L.P.

Per gli SLU, ai fini della definizione degli spettri di progetto, occorre valutare le capacità dissipative delle strutture, che possono essere considerate attraverso il cosiddetto “*fattore di comportamento*” (q), che dipende dal tipo di materiale, dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità, dalla duttilità attesa e dalla regolarità in pianta ed in altezza della struttura (par. 7.3.1 delle NTC-18).

La definizione dei suddetti parametri esula, ovviamente, dagli scopi della presente relazione, essendo rimandata al progettista.

5 - SMALTIMENTO DELLE ACQUE REFLUE

5.1 - VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI ASSORBIMENTO E DEPURAZIONE DEL TERRENO

5.1.1 - Criteri generali

La zona di insediamento delle strutture in progetto non è servita da pubblica fognatura. Per tale ragione, lo smaltimento delle acque chiare e nere si prevede mediante una fossa settica tipo "Imhoff" e di condotte disperdenti dei liquami chiarificati.

In assenza di pubblica fognatura, il sistema di dispersione dei liquami deve essere dimensionato in funzione del numero degli abitanti equivalenti (A.E.), delle caratteristiche di assorbimento e autodepurazione del terreno e di ogni altra condizione che consenta di escludere il pericolo di inquinamento delle acque sia superficiali che sotterranee.

Nella seguente fig. 8 si riporta uno schema della fossa settica da realizzare.

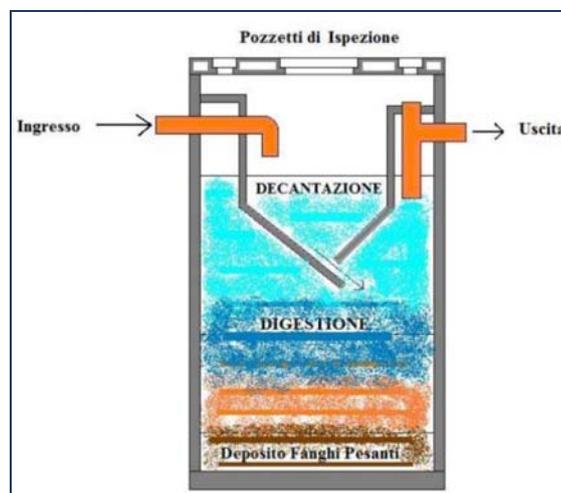


Fig. 8 - Schema fossa Imhoff

Per quanto concerne le valutazioni di tipo idrogeologico, si adotta una procedura proposta dal Servizio di Conservazione del Suolo degli USA (U.S.C.S.) che è basata sulle caratteristiche granulometriche dei terreni. In pratica, su un diagramma triangolare sabbia-limo-argilla (fig. 9) si

definiscono quattro zone, da cui è possibile ricavare una precisa indicazione sulle capacità di assorbimento e autodepurazione del terreno.

TABELLA DELLA CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DEI TERRENI	
Zone e classi di permeabilità del terreno	COMMENTI
ZONA 1 (Trappo grossa) Assorbimento da molto rapido a rapido	I terreni di questa zona hanno un contenuto di sabbia molto alto. Assorbono velocemente i liquidi, ma a causa della bassa percentuale di fimo, hanno un potere depurante minimo. È necessaria una adeguata distanza tra il punto di immissione e gli eventuali pozzi esistenti.
ZONA 2 (Accettabile) Assorbimento da moderatamente rapido a moderato	I terreni di questa zona provvedono sia ad una adeguata percolazione che ad un efficace trattamento. Sono da considerare idonei per i normali sistemi di assorbimento senza particolari prove.
ZONA 3 (Marginale) Assorbimento moderatamente lento	I terreni di questa zona provvedono ad un buon trattamento dei liquidi, ma è da accertare la loro capacità di assorbimento. In certi casi è opportuno ricorrere ai «test di percolazione».
ZONA 4 (Non accettabile) Assorbimento lento o molto lento	I terreni di questa zona sono da considerare non adatti all'assorbimento a causa della loro impermeabilità. Richiedono l'esecuzione di un «test di percolazione» ed, eventualmente, sistemi di assorbimento alternativi.

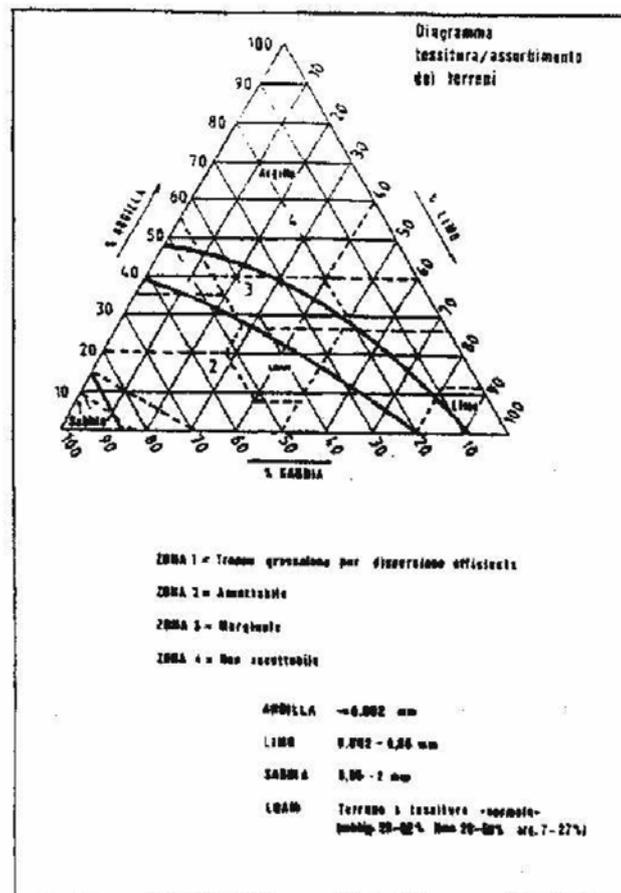


Fig. 9

E' bene precisare che il metodo proposto prevede delle correzioni alle percentuali granulometriche originarie del terreno, in base alla percentuale della frazione ghiaiosa presente ($\phi > 2$ mm) e al peso di volume.

Il potere autodepurante del terreno è stato valutato tramite il metodo proposto da RHESE W. (1977), come riportato in BERETTA G.P. (1992), che mette in relazione i differenti poteri autodepuranti del mezzo non saturo con la litologia e lo spessore minimo necessario per assicurare la depurazione, tenendo conto di un tragitto degli inquinanti secondo una traiettoria prevalentemente verticale (fig. 10).

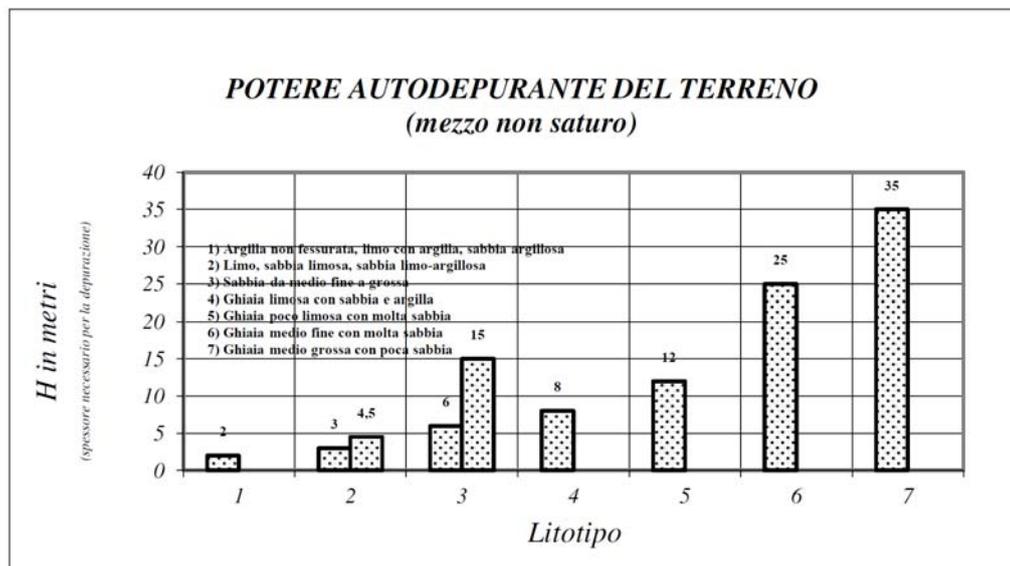


Fig. 10

I liquami chiarificati tramite vasche settiche tipo "Imhoff" secondo la normativa tecnica vigente¹¹, cui si rimanda per caratteristiche costruttive e dimensionali dell'impianto, possono essere dispersi nel terreno mediante "sub-irrigazione" o "pozzi assorbenti" e, nel caso di terreni impermeabili, mediante "sub-irrigazione con drenaggio".

¹¹ Disposizioni del Ministero dei LL.PP. 04/02/1977 - Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento. Norme tecniche generali sulla natura e consistenza degli impianti di smaltimento sul suolo o in sottosuolo di insediamenti civili di consistenza inferiore a 50 vani o 5.000 m³.

- D. Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii.

Le condotte disperdenti o le pareti perimetrali dei pozzi devono essere dimensionate in funzione della natura del terreno, tenendo conto dei seguenti parametri di riferimento:

CONDOTTA DISPERDENTE		PARETE DEL POZZO DISPERDENTE	
<i>Tipo di terreno</i>	<i>Sviluppo (m x ab.)</i>	<i>Tipo di terreno</i>	<i>Sviluppo (m² x ab.)</i>
<i>Sabbia sottile o materiale leggero di riporto</i>	2	<i>Sabbia grossa o pietrisco</i>	1
<i>Sabbia grossa e pietrisco</i>	3	<i>Sabbia fine</i>	1,5
<i>Sabbia sottile con argilla</i>	5	<i>Argilla sabbiosa o riporto</i>	2,5
<i>Argilla con un po' di sabbia</i>	10	<i>Argilla con molta sabbia o pietrisco</i>	4
<i>Argilla compatta</i>	NON ADATTA	<i>Argilla con poca sabbia o pietrisco</i>	8
		<i>Argilla compatta impermeabile</i>	NON ADATTA

Il progetto prevede la dispersione dei liquami nel terreno mediante sub-irrigazione. Nel caso di specie, comunque, a valle della fossa settica è opportuno prevedere la realizzazione di un impianto di fitodepurazione che consenta la rimozione del carico organico, dei solidi sospesi e del carico microbico dei reflui prima della dispersione nel terreno mediante sub-irrigazione.

5.1.2 - Caratteristiche idrogeologiche

L'impianto "Imhoff" verrà realizzato nella zona di intervento progettuale, sul versante oggetto di riqualficazione.

La zona è caratterizzata dall'affioramento di una coltre di terreno di riporto che sormonta una fascia alterata e fratturata del basamento metamorfico, come meglio riportato nel successivo cap. 7.

Si tratta, con riferimento alla porzione più superficiale, di depositi di alterazione e degradazione, in assetto caotico, con inclusi elementi lapidei eterometrici, frazione limo-argillosa variabile e colore marrone prevalente.

Le condizioni idrogeologiche e geomorfologiche del sito determinano:

- l'assenza di concentrazione delle acque superficiali provenienti da monte;
- l'assenza di saturazione idraulica dell'immediato sottosuolo.

Le caratteristiche granulometriche di detti depositi presentano le seguenti percentuali rappresentative:

GRANULOMETRIA	DIAMETRO (mm)	PERCENTUALE (%)
<i>Ghiaia</i>	> 2	40
<i>Sabbia</i>	2 - 0.06	30
<i>Limo</i>	0.06 - 0.002	20
<i>Argilla</i>	< 0.002	10

5.1.3 - Stima della capacità di assorbimento e depurazione

L'utilizzo del diagramma triangolare tessitura/assorbimento dei terreni necessita di una correzione preliminare, con l'assimilazione della percentuale ghiaiosa alla frazione sabbiosa, da cui risulta:

GRANULOMETRIA	DIAMETRO (mm)	PERCENTUALE (%)
<i>Sabbia (+ ghiaia)</i>	> 0.06	70
<i>Limo</i>	0.06 - 0.002	20
<i>Argilla</i>	< 0.002	10

Il punto relativo a questa associazione granulometrica ricade sul diagramma triangolare nella "Zona 2 - Accettabile", caratterizzata da terreni con buone capacità di assorbimento e sufficiente potere autodepurativo.

Il discreto potere autodepurante del terreno consente di poter valutare, come trascurabile il rischio di inquinamento delle acque sotterranee indotto dalla vasca "Imhoff", tenendo conto:

- dello spessore di terreno necessario per la depurazione, e valutato in 8 metri per un terreno genericamente costituito da "*Ghiaia limosa con sabbia e argilla*" (cfr. fig. 10);
- della presenza di falde idriche superficiali (a profondità minori di 15 metri dal piano di campagna).

A fini di tutela della salute, comunque, appare opportuno che le acque sotterranee prossime all'impianto di trattamento dei reflui non vengano utilizzate per gli usi potabili o domestici o per irrigazione di prodotti mangiati crudi, né vi debbono essere condotte o serbatoi o altre opere

destinate al servizio di acqua potabile, così come previsto dalla delibera del Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento del 04/02/1977.

Infine, ove occorra, il terreno di riferimento per il dimensionamento della condotta disperdente dei liquami chiarificati può essere individuato cautelativamente nella generica tipologia "sabbia grossa e pietrisco", cui corrisponde uno sviluppo di 3,0 metri per abitante (fig. 11).

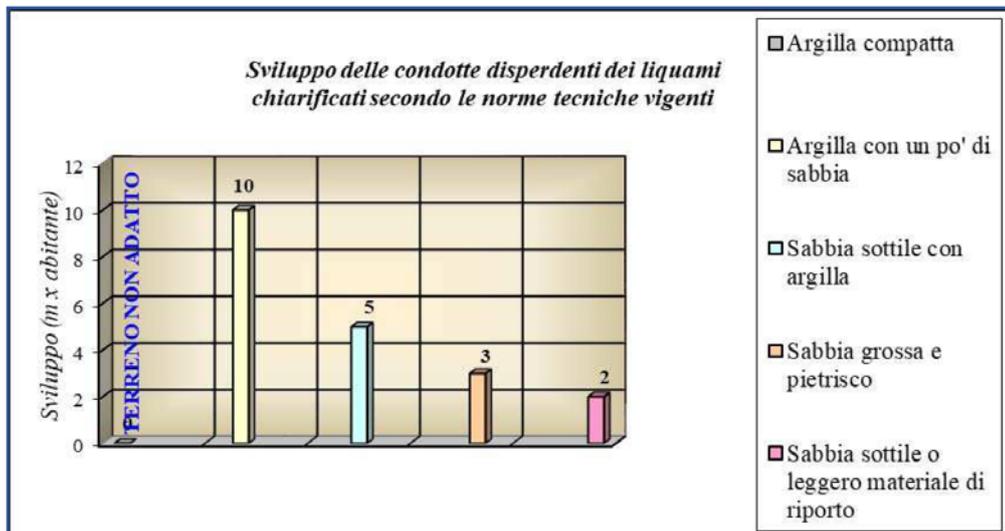


Fig. 11

6 - INDAGINI E PROVE IN SITU

6.1 - SINTESI DELLE INDAGINI E DELLE PROVE IN SITU

Nell'ambito della progettazione dell'intervento sono state eseguite indagini sismiche e prove penetrometriche al fine di ricostruire la situazione lito-stratigrafica locale, valutare i principali parametri geotecnici del terreno e caratterizzare il suolo ai sensi delle NTC-18.

In particolare, sono state realizzate le seguenti indagini e prove in situ:

- n. 3 prospezioni sismiche in situ (sismica a rifrazione);
- n. 2 prospezioni sismiche in situ (M.A.S.W.);
- n. 2 prospezione sismica passiva in situ (HVSRI);
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche e continue.

Nella figura successiva si riporta la planimetria (fuori scala) con l'ubicazione delle indagini realizzate.

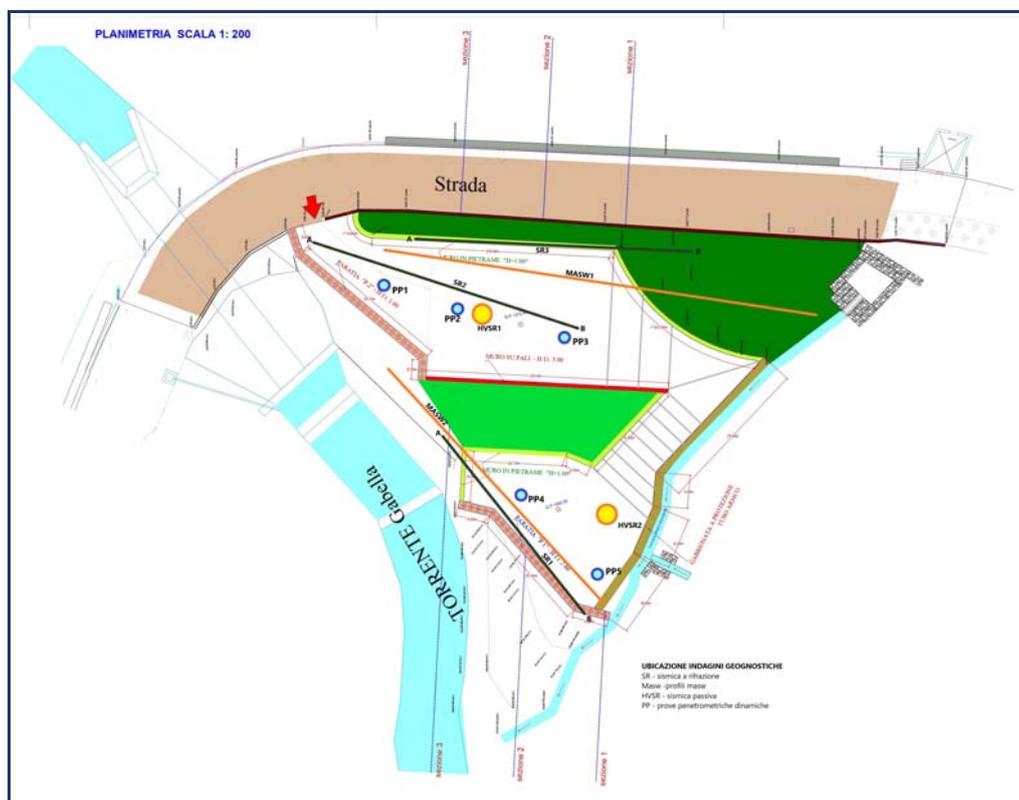


Fig. 12 - Planimetria indagini

In allegato fuori testo è riportata la relazione completa sulle indagini.

5.2 - INDAGINI PENETROMETRICHE

Nell'area in esame sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche dinamiche e continue, mediante penetrometro dinamico Sunda DL030.

Le risultanze di dette prove sono di seguito riportate:

N° 1	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	3.00	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa, da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 2	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	4.80	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 3	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	1.50	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	3.10	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 4	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	2.40	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	3.00	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 5	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	2.80	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	2.90	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

5.3 - INDAGINI SISMICHE

MASW

Sono state eseguite n. 2 prove M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) mediante attrezzatura con 24 geofoni, disposti ad una distanza di 2,0 metri.

Dalla MASW n. 1 è risultato il seguente profilo Vs/prof:

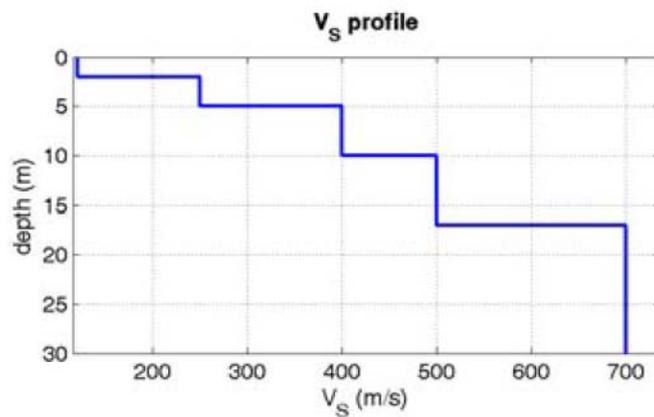


Fig. 13 - Profilo Vs-Prof. (MW1)

Il valore di Vseq rilevato nell'indagine MASW n. 1 è risultato pari a 407 m/s.
Dalla MASW n. 2 è risultato il seguente profilo Vs/prof:

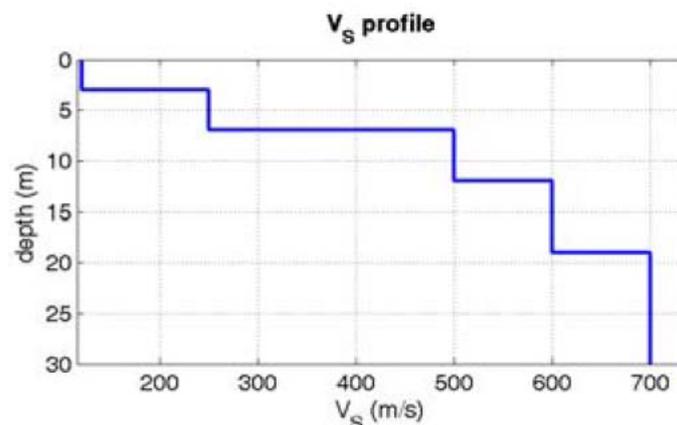


Fig. 14 - Profilo Vs-Prof. (MW2)

Il valore di Vseq rilevato nell'indagine MASW n. 2 è risultato pari a 383 m/s.

Sismica a rifrazione

Nell'area di progetto sono stati realizzati, inoltre, tre sondaggi sismici a rifrazione, denominati SR1, SR2 ed SR3 le cui risultanze complete sono riportate in allegato fuori testo.

La profondità di investigazione massima raggiunta è di poco inferiore a 9,0 m.

Secondo quanto riportato nella relazione sulle indagini, "Lungo tutti gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità Vp e Vs crescente con la profondità, e possono essere rilevati i seguenti sismostrati:

- *Sismostrato (CD1): rappresentativo della coltre più superficiale per spessori medi di circa 1.50 m, e velocità Vp medie di 300 m/s e Vs tra 120 e 150 m/s.*
- *Sismostrato (CD2): rappresentativo della coltre più addensata con profondità del rifrattore compreso tra 3.70-7.50 caratterizzata da velocità Vp medie di 490 m/s e Vs tra 200-250 m/s*
- *Sismostrato (SMA): rappresentativo del substrato litoide in posto costituito dalle metamorfiti alterate e fratturate caratterizzato da Vp medie di 1000 m/s e Vs < 700 m/s; nella prospezione sismica n. 3 si riscontra un rifrattore con una Vp di 1444 m/s riferibile alla formazione metamorfica più integra”.*

Nelle seguenti figg. 15, 16 e 17 sono riportate le sezioni verticali dei sondaggi sismici.

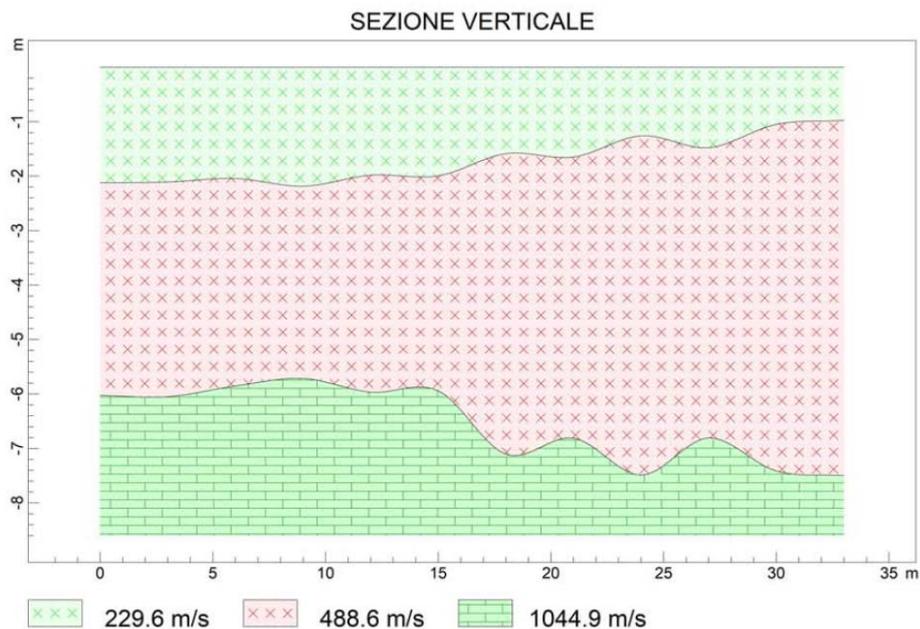
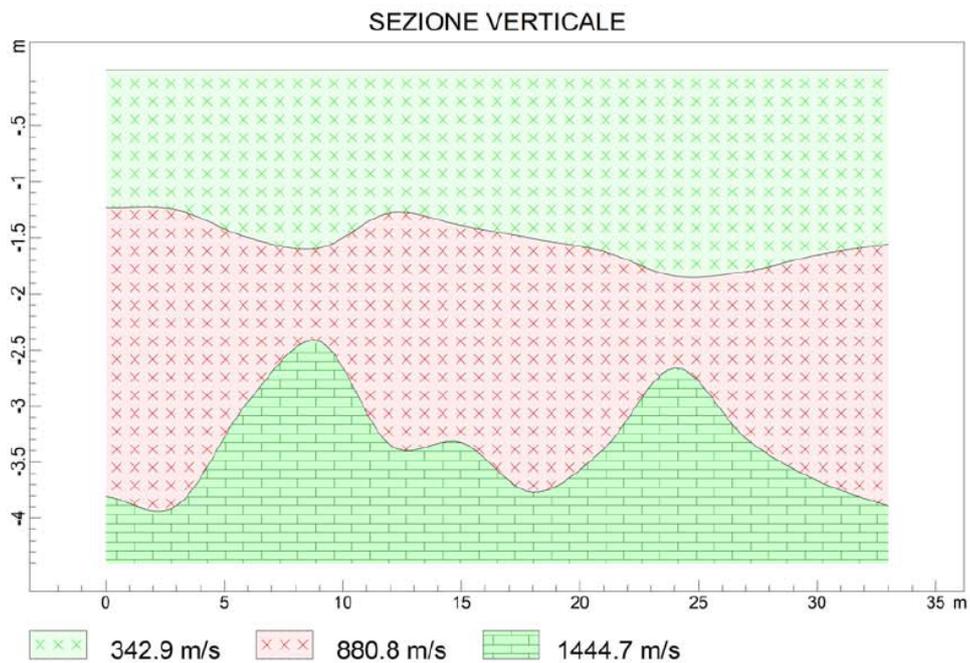
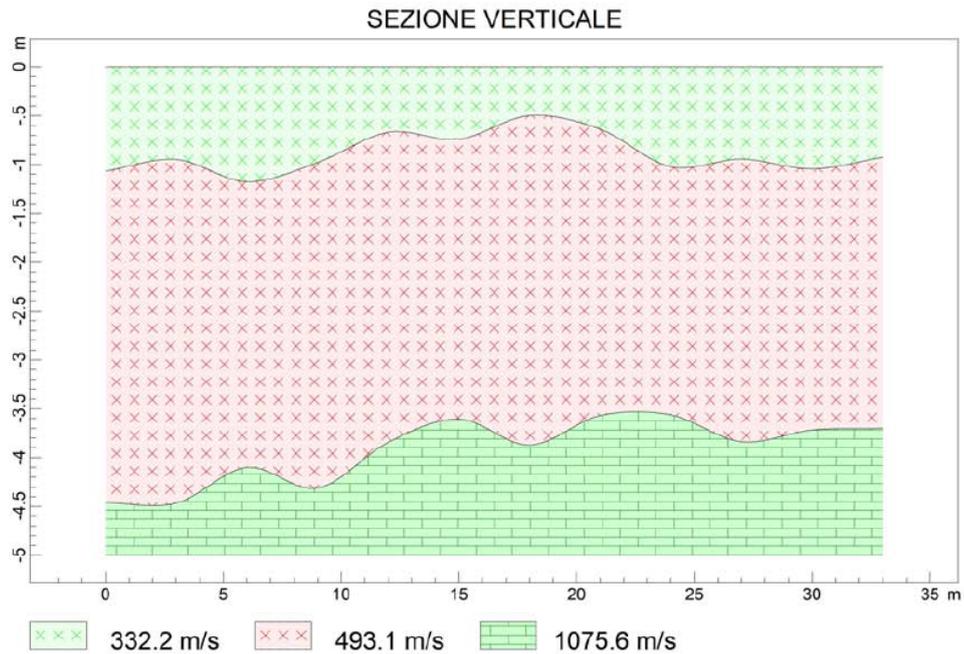
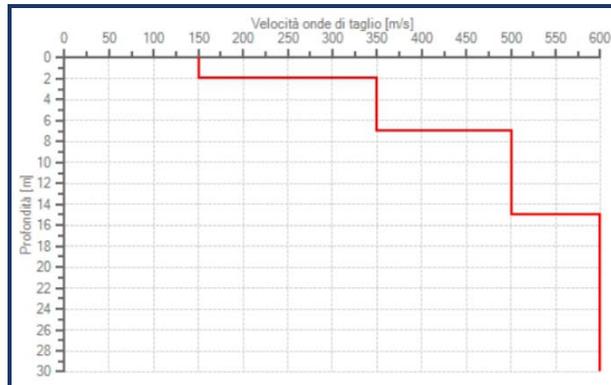


Fig. 15

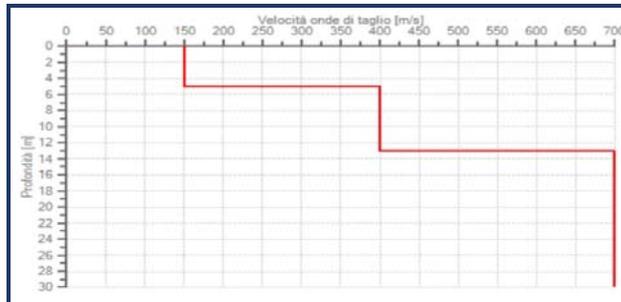


HVSR

Dall'indagine HVSR1 è risultato un valore di V_{seq} pari a 437 m/s, con il seguente profilo V_s /prof:



Dall'indagine HVSR2 è risultato un valore di V_{seq} pari a 386 m/s, con il seguente profilo V_s /prof:



7 - QUADRO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO LOCALE

7.1 - CONDIZIONE GEOMORFOLOGICHE LOCALI

L'area interessata dalla realizzazione del progetto risulta localizzata a NE del centro urbano di Sant'Angelo di Brolo, nell'intervallo altimetrico 360-380 m circa s.l.m., su un versante che da "Serra Frittulara" degrada verso ovest con una pendenza media

$$p = 28-29 \% \text{ circa}$$

cui corrisponde un angolo di inclinazione:

$$\beta = 16-17^\circ$$

La rete idrografica è localmente rappresentata dal Vallone "Gabella" e da un piccolo impluvio affluente dello stesso in sinistra idrografica.

La zona d'interesse progettuale è caratterizzata dalla presenza di diversi fenomeni di dissesto censiti nel PAI (*cf. par. 2.4*) aventi caratteristiche e livelli di rischio/pericolosità differenti (frane, di crollo, scorrimento, frane complesse, aree a franosità diffusa).

Nell'area in esame sono stati recentemente realizzati significativi interventi di consolidamento sulla strada di circonvallazione e sul soprastante costone roccioso, interessati a più riprese da fenomeni di dissesto.

In particolare, risulta realizzato e completato il progetto dei "*Lavori di realizzazione via di fuga dal centro urbano - Strada esterna Pantano Alto - San Carlo nel Comune di Sant'Angelo di Brolo*", finanziato dal Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana ex legibus n. 116/2014 e n. 164/2014 per un importo complessivo di € 1.635.000,00 e successiva PVS per un importo di € 1.381.102,51.

Detti lavori sono stati completati nel mese di luglio 2021 e collaudati con atto del 25/05/2022 e sono consistiti, in sintesi, nella realizzazione di paratie di pali e berlinesi a salvaguardia della strada nonché in barriere paramassi, reti ed ancoraggi e regimentazione delle acque meteoriche, come risulta anche dall'atto di collaudo di seguito riportato per stralcio.

I lavori realizzati sono consistiti nella realizzazione di paratie per la
salvaguardia della carreggiata, costituite da una o due file di pali trivellati e
gettati in opera in c.a. e di berlinesi HEB, con sovrastanti cordoli in c.a.
Il consolidamento delle scarpate è stato eseguito con ancoraggi a fune
singole e trefoli di acciaio, rete a doppia torsione, barriere paramassi con
montanti in acciaio, funi e rete metallica. La regimentazione delle acque
meteoriche è stato previsto con tubazioni ARMCO e tubi microfessurati. Il
ripristino della sede stradale è stato realizzato con misto stabilizzato,
pavimentazione con conglomerato bituminoso e barriere di sicurezza in
metallo e legno.

Fig. 18 - Stralcio del collaudo delle opere realizzate

Nella **tav. 18** si riporta una Carta geomorfologica di dettaglio, in cui vengono indicate, tra l'altro, le aree in dissesto individuate nel P.A.I. nonché gli interventi realizzati a fini di mitigazione del dissesto idrogeologico.

Nella **tav. 19** si riporta documentazione fotografica degli interventi eseguiti, anche se, allo stato, non è ancora stata definita la procedura di deperimetrazione o declassamento delle aree oggetto degli interventi di consolidamento.

Nell'intorno dell'area di interesse progettuale affiorano i depositi del Flysch di Capo d'Orlando (Oligocene sup. - Burdigaliano inf.) e i depositi metamorfici dell'Unità dell'Aspromonte, rappresentati da gneiss occhiadini grigi a grana medio-grossa, localmente con metagranitoidi, e paragneiss passanti a micascisti con grana da medio-grossa a minuta, e filladi passanti a metareniti grigio scure grafitose, grigio-verdi a clorite o grigio argentee a tessitura scistosa, oltre a modesti spessori di coltri detritiche (di falda o di versante, detrito di frana) e di terreno di riporto.

Il complesso dei rilievi e delle indagini realizzate a corredo dello studio geologico hanno consentito di ricostruire la situazione lito-stratigrafica locale, di avere informazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni e sulla risposta sismica locale.

Nella **tav. 20** è riportata una Carta geologica di maggior dettaglio, in scala 1:5.000, mentre nella **tav. 21** una sezione geologica schematica.

7.2 - CONSIDERAZIONI STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE

Come anzidetto, l'area oggetto di intervento ricade nell'ambito delle metamorfite erciniche dell'Unità dell'Aspromonte, oltre a modesti spessori di coltri detritiche (di falda o di versante, detrito di frana) e di terreno di riporto.

Nella zona sono state realizzate, come detto, indagini penetrometriche da cui discende la caratterizzazione della coltre detritica superficiale.

La caratterizzazione geotecnica preliminare e speditiva dei terreni metamorfici viene effettuata sulla base di dati ripresi dalla letteratura geotecnica specializzata e tenendo conto delle caratteristiche di resistenza della roccia intatta e del grado di fratturazione e alterazione subìto.

In particolare, per i terreni lapidei si è tenuto conto della classificazione degli ammassi rocciosi proposta da BIENIAWSKI (1979), basata sulla spaziatura dei giunti e sulla resistenza della roccia intatta (**tav. 22**).

I terreni in esame presentano una permeabilità molto bassa o praticamente nulla, anche se la presenza di uno strato superficiale alterato e fratturato permette una certa circolazione idrica, sono caratterizzati da elevata scistosità e grado di alterazione e fratturazione spinto, nelle porzioni più superficiali, fino alla parziale argillificazione dell'ammasso originario.

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza, con riferimento alla precedente **tav. 22**, tenuto conto del grado di fratturazione ed alterazione, l'ammasso roccioso può essere collocato tra quelli "mediamente resistenti", i cui valori medi (*range*) possono riassumersi come di seguito:

$$c' = 1 - 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 30 - 40^\circ$$

mentre i valori della resistenza a compressione (R_c) possono stimarsi nell'ordine di circa:

$$R_c = 400 - 500 \text{ kg/cm}^2$$

In effetti, per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali dei depositi metamorfici che sono presenti nella zona, gli stessi si presentano alterati e molto fratturati, con conseguente scadimento delle caratteristiche geomeccaniche, e possono essere classificati come “deboli”, i cui valori medi e rappresentativi, pertanto, possono assumersi:

$$c' = 0,50 - 0,80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 30 - 32^\circ$$

mentre i valori della resistenza a compressione (R_c) possono stimarsi nell'ordine di circa:

$$R_c = 250 - 300 \text{ kg/cm}^2$$

Relativamente alla coltre detritica superficiale, le correlazioni derivanti dai risultati delle prove penetrometriche hanno restituito i seguenti valori medi dell'angolo di resistenza al taglio $\phi = 27,5^\circ$.

7.3 - VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Le NTC-2008, ma anche la precedente normativa tecnica europea (EC7), introducono il concetto di “valore caratteristico”¹² dei parametri geotecnici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico si intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento.

A questo proposito, le “Istruzioni” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulle NTC-2008 riportano: “...per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità...”, mentre l'Eurocodice 7 fissa una probabilità di non superamento del 5%.

Sul punto le NTC-18 (§ 6.2.2) stabiliscono che nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti i valori caratteristici dei parametri

geotecnici precisando che *“Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall’interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito”*.

In merito, la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., § C6.2.2.4, chiarisce che: *“Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità”*.

L’equazione per il calcolo del valore caratteristico (numero dati ≥ 30) assume la seguente forma:

$$X_k = X_m (1 - k \cdot COV)$$

dove:

X_k = valore caratteristico;

X_m = valore medio

$k = - 1,645$ per una probabilità di non superamento del 5% e per una distribuzione di tipo gaussiano;

¹² “Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore che influenza l’insorgere dello stato limite” (Eurocode 7: Geotechnical design - Part I:

COV= coefficiente di variazione (σ/μ).

Quando i dati sono meno di 30 si può fare riferimento, invece, alla distribuzione t di Student e, in questo caso, l'equazione per il calcolo del valore caratteristico assume la seguente forma:

$$X_k = X_m - t \cdot \sigma / \sqrt{N}$$

dove:

X_k = valore caratteristico;

X_m = valore medio

t = valore critico della distribuzione;

σ = deviazione standard;

N = numero di dati.

Secondo SCHNEIDER (1997)¹³, i valori raccomandati di variabilità statistica di alcuni parametri sono:

Parametro	Coeff. di variazione
Densità	0
Angolo di attrito	0,10
Coesione	0,40
Modulo di compressibilità	0,40

Pertanto, sostituendo nell'equazione sopra riportata i valori dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini e dalle correlazioni utilizzate, si calcolano quali valori caratteristici, con probabilità di non superamento del 5%:

Parametro	Valore Medio	Val. Caratteristico (prob. non sup. 5%)
ϕ	27,5° (su 2 dati)	24,3°

Il valore della coesione c' può essere considerato quasi trascurabile (0-5 kPa), mentre relativamente al peso di volume naturale (γ_n) si possono tenere in considerazione, come valori medi e rappresentativi,

General rules).

¹³ SCHNEIDER (1997). *Definition and determination of characteristic soil properties*. Proc. Of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Hamburg. Balkema, Rotterdam.

$$\gamma_n = 1,75 - 1,80 \text{ t/m}^3 = 17,16 - 17,65 \text{ kN/m}^3$$

tenuto conto anche che, in relazione a questo parametro, i valori di variabilità riportati in letteratura sono piuttosto bassi e, pertanto, può essere utilizzato il valore medio senza ulteriori elaborazioni.

Relativamente al substrato metamorfico alterato possono essere considerati quali valori caratteristici i valori minimi sopra evidenziati, mentre per il peso di volume naturale (γ_n) si possono tenere in considerazione, come valori medi e rappresentativi,

$$\gamma_n = 2,00 - 2,10 \text{ t/m}^3 = 19,61 - 20,59 \text{ kN/m}^3$$

Relativamente al substrato metamorfico integro possono essere considerati quali valori caratteristici i valori medi sopra evidenziati, mentre per il peso di volume naturale (γ_n) si possono tenere in considerazione, come valori medi e rappresentativi,

$$\gamma_n = 2,50 - 2,60 \text{ t/m}^3 = 24,51 - 25,49 \text{ kN/m}^3$$

Pertanto, i valori caratteristici che in questa sede si consiglia di adottare nei calcoli di verifica risultano:

<i>Parametro</i>	<i>Coltre detritica</i>	<i>Substrato metamorfico alterato</i>	<i>Substrato metamorfico integro</i>
ϕ_k	24°	30°	35°
c'_k	0-5 kPa	50 kPa	147 kPa

Nella **tav. 23** è riportata una sezione stratigrafica-tipo, in scala 1:100.

8 - CONCLUSIONI

L'area in esame si localizza in territorio comunale di Sant'Angelo di Brolo (Me), nell'intervallo altimetrico 360-380 m circa s.l.m. (cfr. tav. 1), in una zona interessata da diversi fenomeni di dissesto di natura geomorfologica che determinano complessivamente una situazione di generale instabilità e di rischio idrogeologico.

Lo studio condotto e le indagini a corredo hanno consentito di ricostruire le caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, litologiche, stratigrafiche e sismiche locali.

Gli studi effettuati hanno permesso di definire, altresì, sulla base di specifiche indagini, i principali parametri fisico-meccanici dei terreni di fondazione nonché di valutare le azioni sismiche di progetto.

Le caratteristiche geologiche dell'area oggetto di interesse progettuale sono rappresentate dalle metamorfite erciniche dell'Unità dell'Aspromonte (gneiss occhiadini grigi a grana medio-grossa, localmente con metagranitoidi, e paragneiss passanti a micascisti con grana da medio-grossa a minuta, e filladi passanti a metareniti grigio scure grafitose, grigio-verdi a clorite o grigio argentee a tessitura scistosa), sormontate nella zona da terreno di riporto ed una coltre detritica di spessore variabile fino ad un massimo, complessivamente, di 7,50 m.

La campagna di indagini penetrometriche e sismiche, i rilievi e le prove in situ realizzate hanno consentito di ricostruire le caratteristiche lito-tecniche dei terreni presenti.

Come stabilito dalle vigenti NTC-18, sono stati valutati i valori caratteristici dei parametri geotecnici (par. 7.3), come di seguito sinteticamente riportato:

<i>Coltre detritica</i>	
<i>Parametro</i>	<i>Valore caratteristico</i>
ϕ_k	24°
c'_k	0-5 kPa
γ_n	17,16 - 17,65 kN/m ³

<i>Substrato metamorfico alterato</i>	
<i>Parametro</i>	<i>Valore Caratteristico</i>
ϕ_k	30°
c'_k	50 kPa
γ_n	19,61 - 20,59 kN/m ³

<i>Substrato metamorfico integro</i>	
<i>Parametro</i>	<i>Valore Caratteristico</i>
ϕ_k	35°
c'_k	147 kPa
γ_n	24,51 - 25,49 kN/m ³

Si è proceduto, altresì, alla definizione della pericolosità sismica di base e, previa valutazione dei fattori amplificativi, di quella locale, secondo le prescrizioni del D.M. 17/01/2018, utilizzando il cosiddetto “approccio semplificato” di cui al par. 3.2.2 delle NTC-18.

I parametri che definiscono la pericolosità sismica di base, definita alla scala del territorio comunale, sono riportati nella tabella seguente:

<i>Stato Limite</i>	<i>TR</i>	<i>ag (g)</i>	<i>Fo</i>	<i>T*C (s)</i>
<i>SLO</i>	30	0,060	2,406	0,267
<i>SLD</i>	50	0,077	2,392	0,280
<i>SLV</i>	475	0,190	2,432	0,327
<i>SLC</i>	975	0,239	2,521	0,339

Per quel che riguarda i fattori di amplificazione sismica locale, le caratteristiche della superficie topografica rientrano nella categoria “T2” (Tab. 3.2.III, NTC-18), mentre relativamente alla tipologia del terreno di fondazione è stata effettuata una classificazione desunta dalle indagini realizzate (MASW e HVSr) che, in base al valore di V_{seq} misurato, ha consentito di definire la categoria di sottosuolo del sito in esame come “tipo B” (Tab. 3.2.II, NTC-18).

In funzione dell'amplificazione sismica locale, per ogni stato limite si ricava, dunque:

<i>Stato Limite</i>	<i>TR</i>	<i>Ss</i>	<i>Cc</i>	<i>St</i>
<i>SLO</i>	<i>30</i>	<i>1,200</i>	<i>1,432</i>	<i>1,20</i>
<i>SLD</i>	<i>50</i>	<i>1,200</i>	<i>1,419</i>	<i>1,20</i>
<i>SLV</i>	<i>475</i>	<i>1,200</i>	<i>1,375</i>	<i>1,20</i>
<i>SLC</i>	<i>975</i>	<i>1,159</i>	<i>1,366</i>	<i>1,20</i>

da cui risulta che l'accelerazione massima al suolo, con TR pari a 475 anni (SLV), risulta $a_{max,s} = 0,274g$, a fronte di una accelerazione al *bedrock* $a_{max,b} = 0,190g$.

In ordine al rischio idrogeologico, la zona di intervento è caratterizzata, nel suo complesso, da una elevata predisposizione al dissesto con consistenti porzioni del territorio circostante che sono interessate da più dissesti, per lo più attivi.

In particolare, le aree interessate dalle opere risultano perimetrate nel P.A.I. adottato dalla Regione Siciliana, cod. dissesto 013-5SB-148 (crollo, P3/R4), come meglio rappresentato al par. 2.4.

A questo proposito, le NTA del PAI approvate con D.P. n. 09/AdB del 06/05/2021 regolamentano le attività consentite nelle aree perimetrate a pericolosità geomorfologica.

Nel caso di specie, le opere in opere progetto rientrano tra gli interventi "consentiti, previa verifica di compatibilità", in quanto rientrano tra quelli di cui all'art. 21, comma 3, lett. e) delle citate NTA, cioè "opere per la permanenza o la sosta limitata nel tempo di persone, attrezzature leggere amovibili, servizi anche stagionali a supporto della balneazione, percorsi pedonali, aree destinate al tempo libero, alle attività sportive e alla fruizione turistica che non prevedano il pernottamento e non comportino edificazione permanente, purché sia prevista una opportuna mitigazione del rischio atteso".

La zona, comunque, è stata interessata dalla realizzazione di interventi di consolidamento del costone roccioso sovrastante la strada comunale nonché di opere a salvaguardia della strada stessa, come meglio rappresentato al par. 7.1.

Pertanto, tenuto conto:

- della tipologia di opera da realizzare;
- che l'area è stata oggetto di consistenti lavori, allo stato completati e collaudati, volti alla mitigazione del rischio idrogeologico;
- che lo stesso intervento in progetto prevede ulteriori opere di mitigazione del rischio idrogeologico, tra cui paratie di pali, muri su pali, gabbionate, viminate e/o graticciate in paletti di legno, rete di smaltimento acque meteoriche;

può concludersi la fattibilità e la compatibilità geomorfologica delle opere in progetto.

Per la fase esecutiva si raccomanda che:

- tenuto conto delle caratteristiche lito-tecniche dei terreni presenti, i pali dovranno essere ammorsati mediamente ad una profondità non inferiore a 10 metri dal p.c., e, in ogni caso, nell'orizzonte rappresentato dal substrato metamorfico integro;
- i fronti di scavo siano contrastati con idonee opere di sostegno adeguatamente drenate a tergo, al fine di assicurare la stabilità delle pareti verticali;
- eventuali scavi e trincee siano scavate per stadi di avanzamento successivi e colmate nel più breve tempo possibile, utilizzando tecniche che riducano al minimo l'entità delle vibrazioni sul terreno;
- sia previsto un sistema di allerta e monitoraggio dei potenziali distacchi dalle pareti soggette a crolli durante l'esecuzione dei lavori di messa in opera, i quali dovranno essere sospesi durante eventuali eventi atmosferici intensi;
- di valutare la realizzazione di un impianto di fitodepurazione che consenta la rimozione del carico organico, dei solidi sospesi e del

carico microbico dei reflui prima della dispersione degli stessi nel terreno mediante sub-irrigazione.

Sant'Agata Militello (Me), maggio 2024

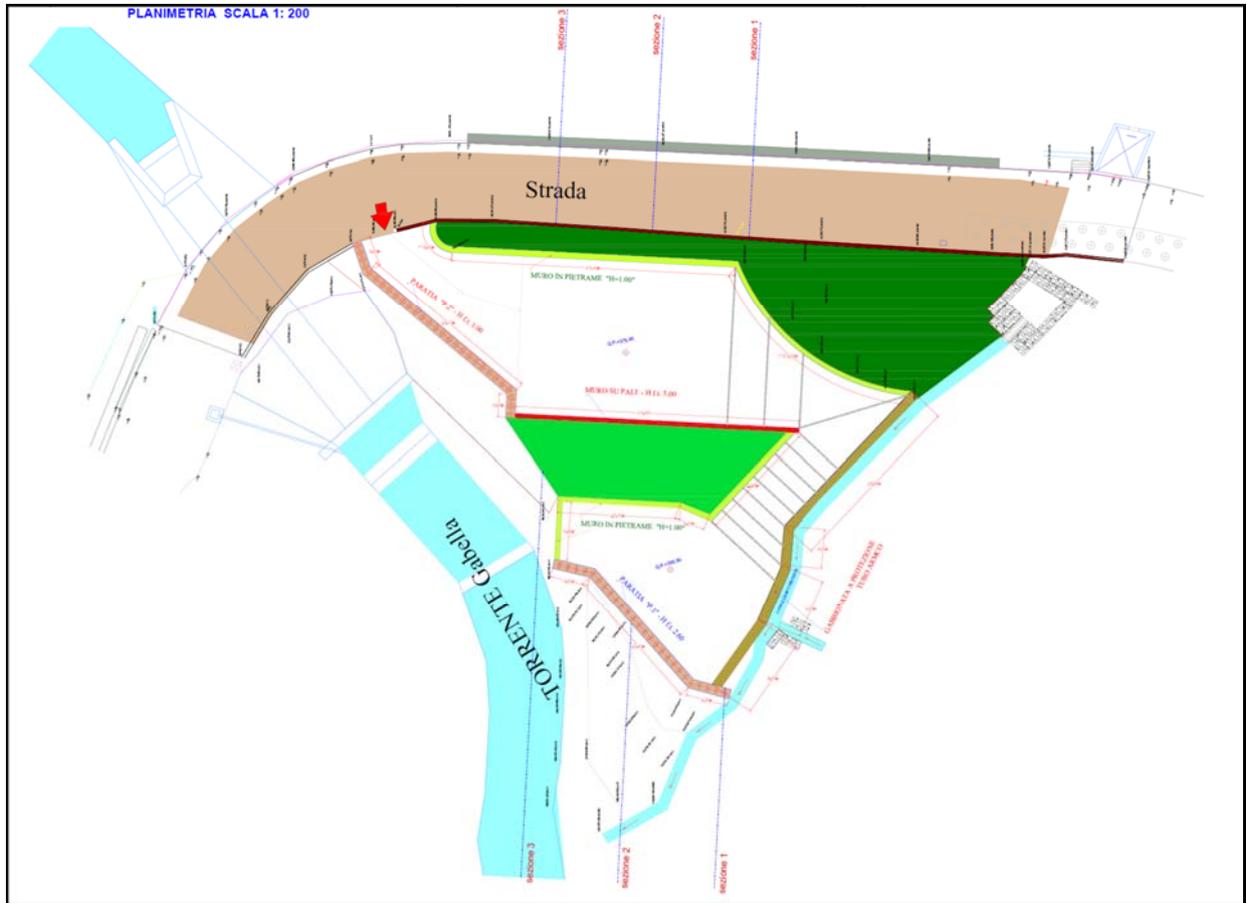
Collaborazione: Dott.ssa Irene Miragliotta

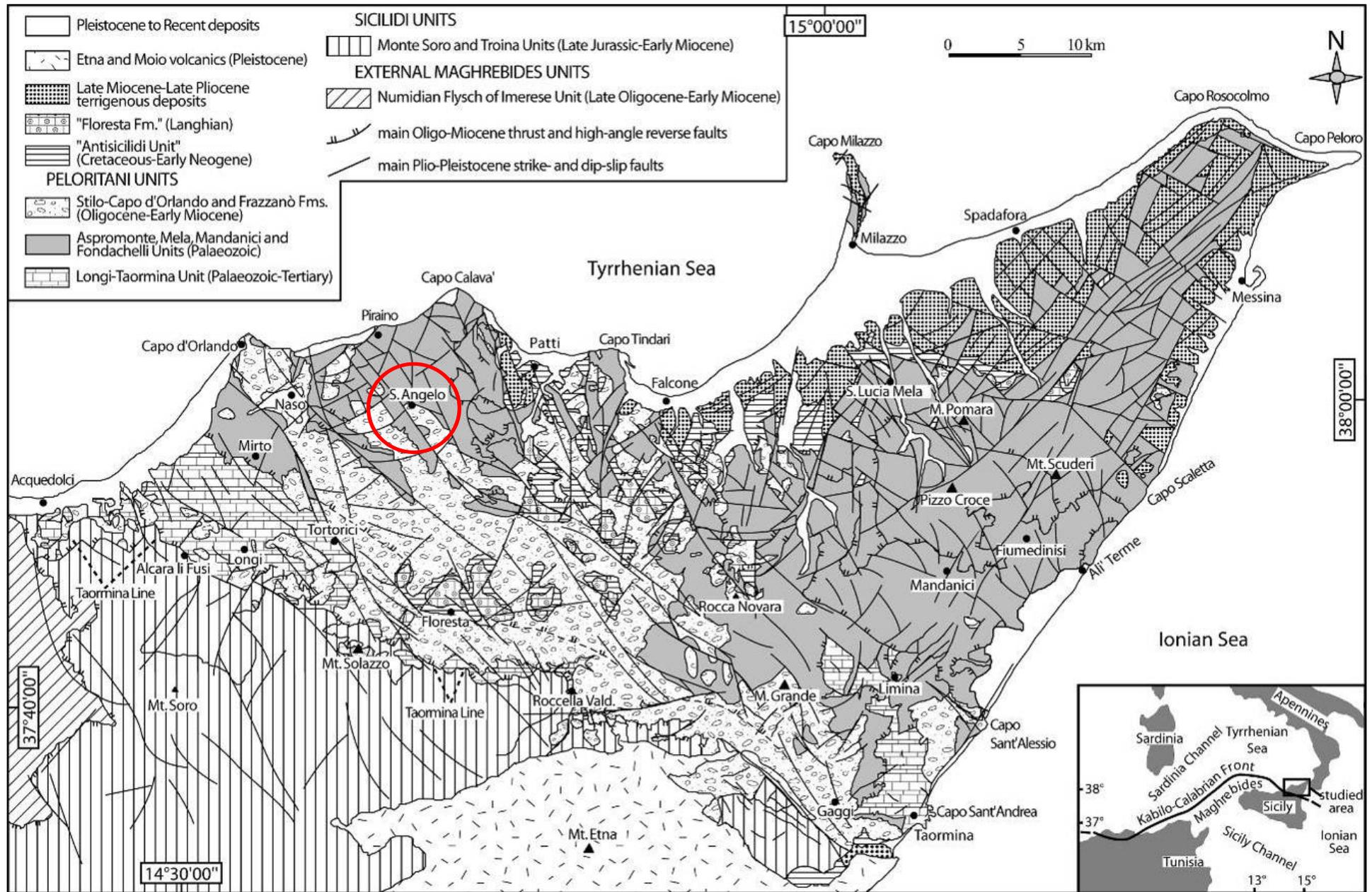
Dott. Geol. Antonio Scurria



ALLEGATI

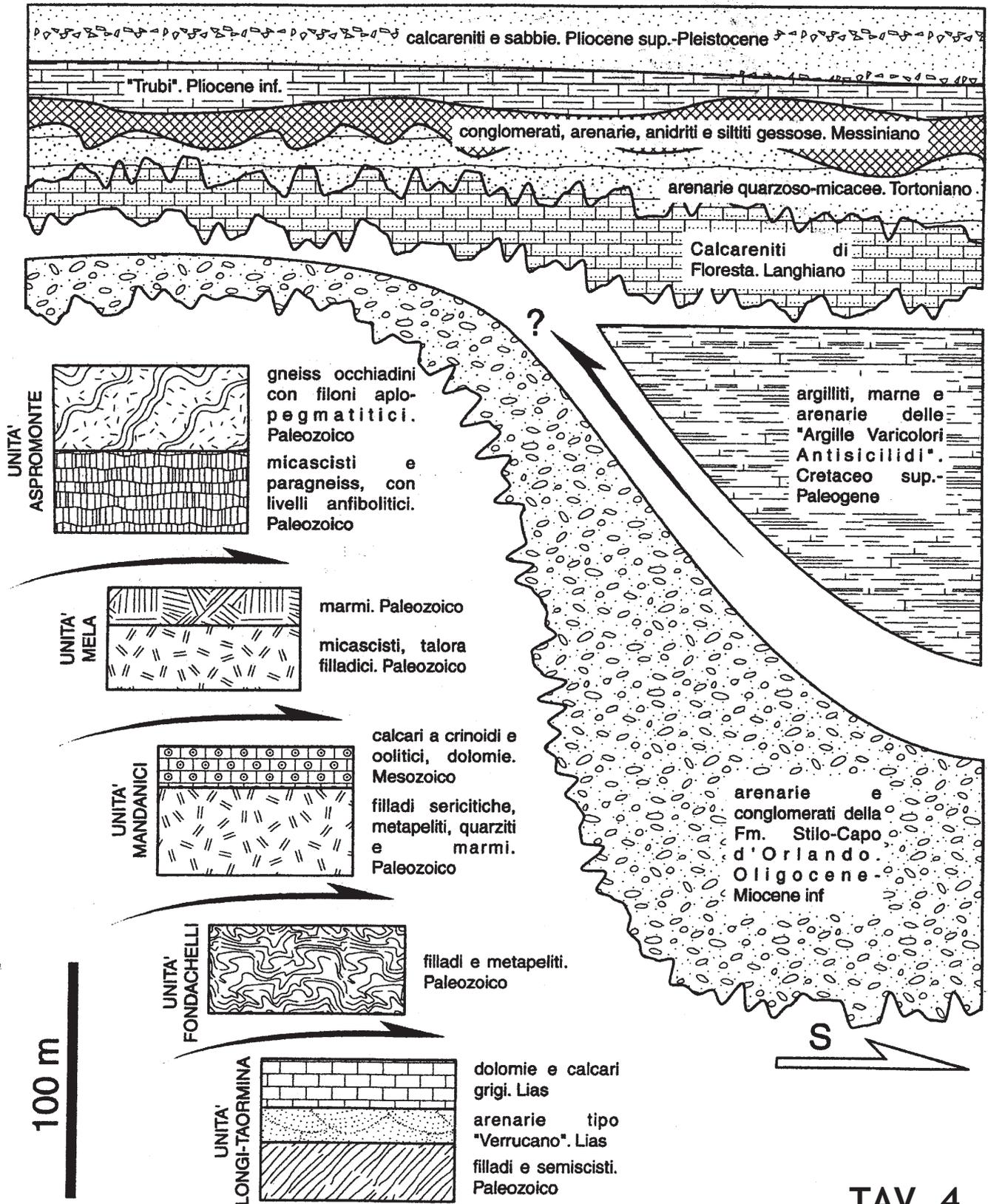
Tav. 2 - Planimetria opere in progetto



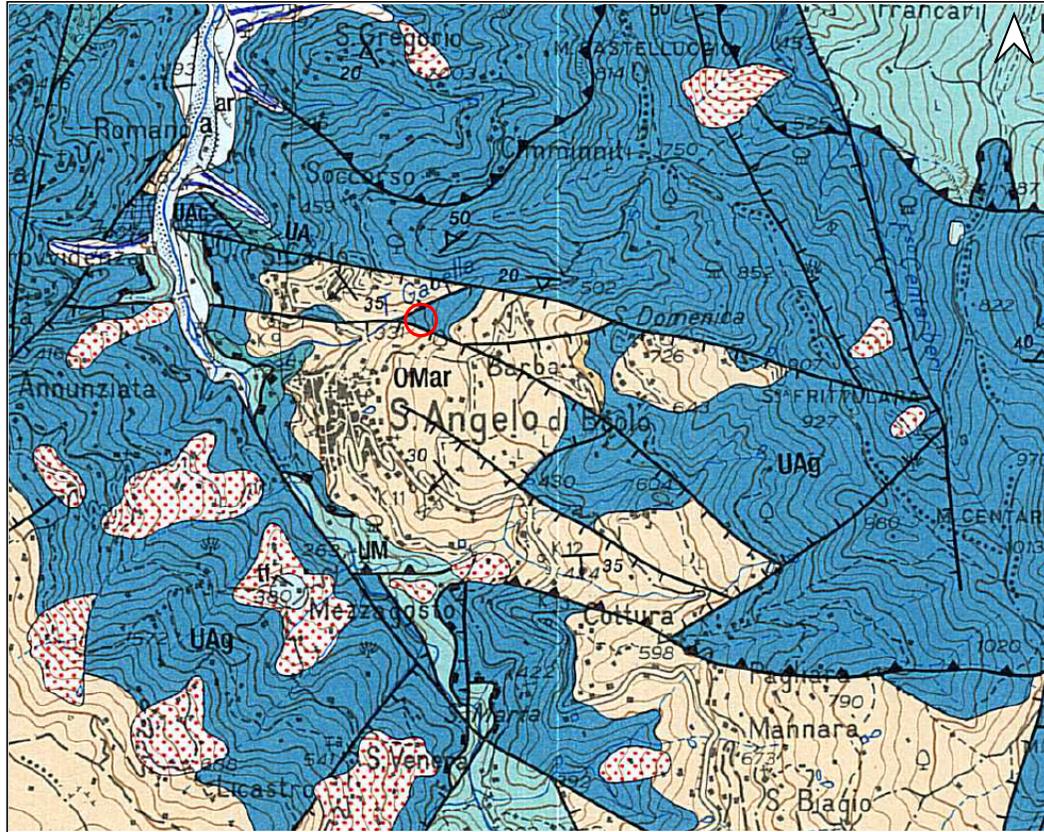


Tav. 3 - Schema strutturale Sicilia NE

SCHEMA STRATIGRAFICO DEI CORPI ROCCIOSI COMPONENTI L'EDIFICIO TETTONICO DEI MONTI PELORITANI



Tav. 5 - CARTA GEOLOGICA

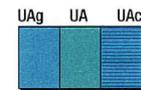


LEGENDA

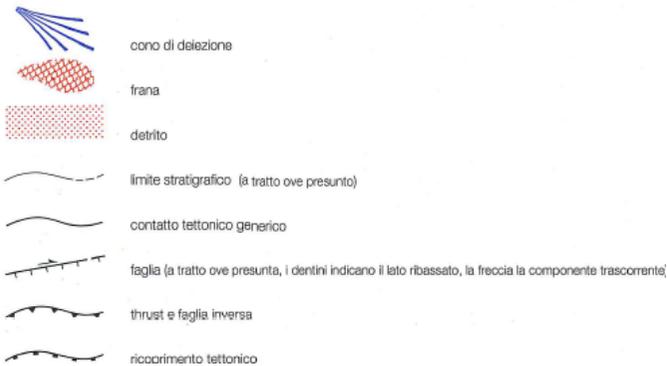
 Area di interesse

 ^{tf}
Terrazzi fluviali costituiti da modesti spessori di ghiaia, sabbie ciottolose e limi di colore bruno o grigiastro, distribuiti lungo le valli in vari ordini (Pleistocene medio-superiore)

 ^{OMar}
OMar: Flysch di Capo d'Orlando. Alternanze argillo-arenacee costituite da arkosi grigio-giallastre in strati da decimetrici a metrici cui si intercalano livelli decimetrici argilloso-marnosi

 ^{UAgr UA UAc}
Unità dell'Aspromonte: metamorfite erciniche

 ^{UM}
Unità di Ali: metamorfite erciniche (filladi, metareniti, metabasiti, quarziti, porfiroidi)

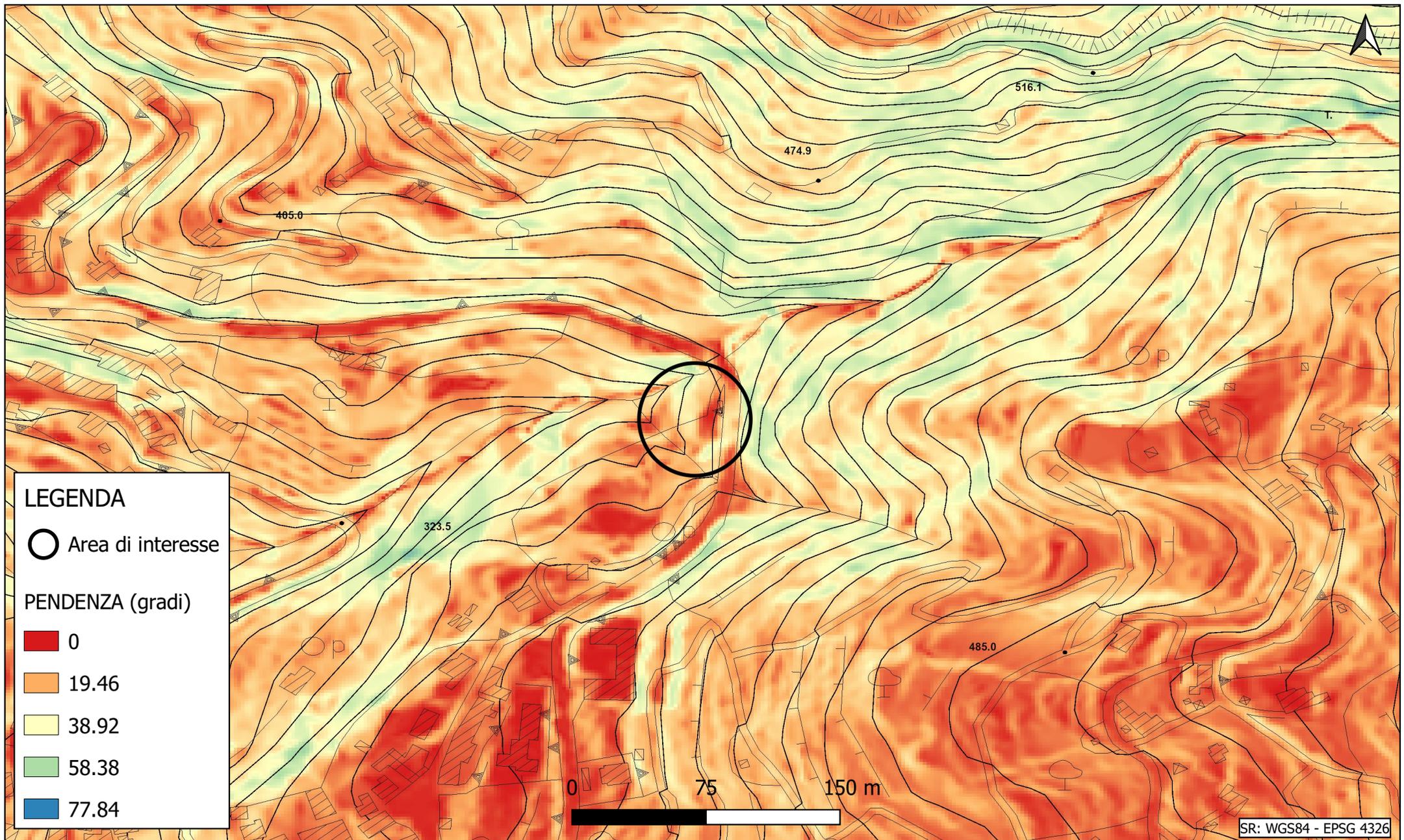


GIACITURA DEGLI STRATI

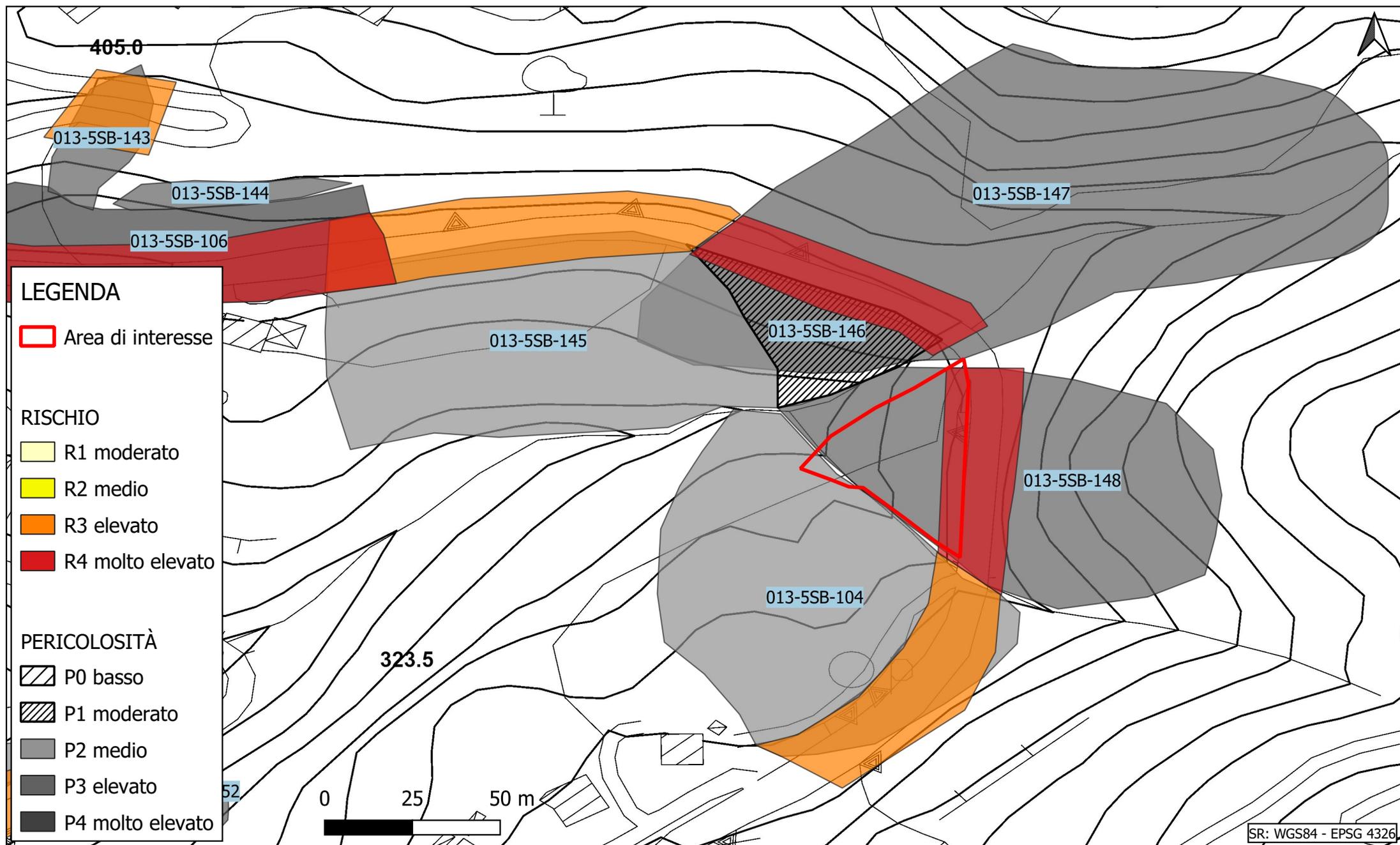
 strati orizzontali
 ⁶⁰ direzione, immersione ed inclinazione degli strati (in gradi da 5° a 80°)
 strati verticali
 ⁶⁰ strati rovesciati (in gradi)
 ⁴⁵ giacitura della scistosità in rocce cristalline

 ¹ ¹ traccia del profilo geologico

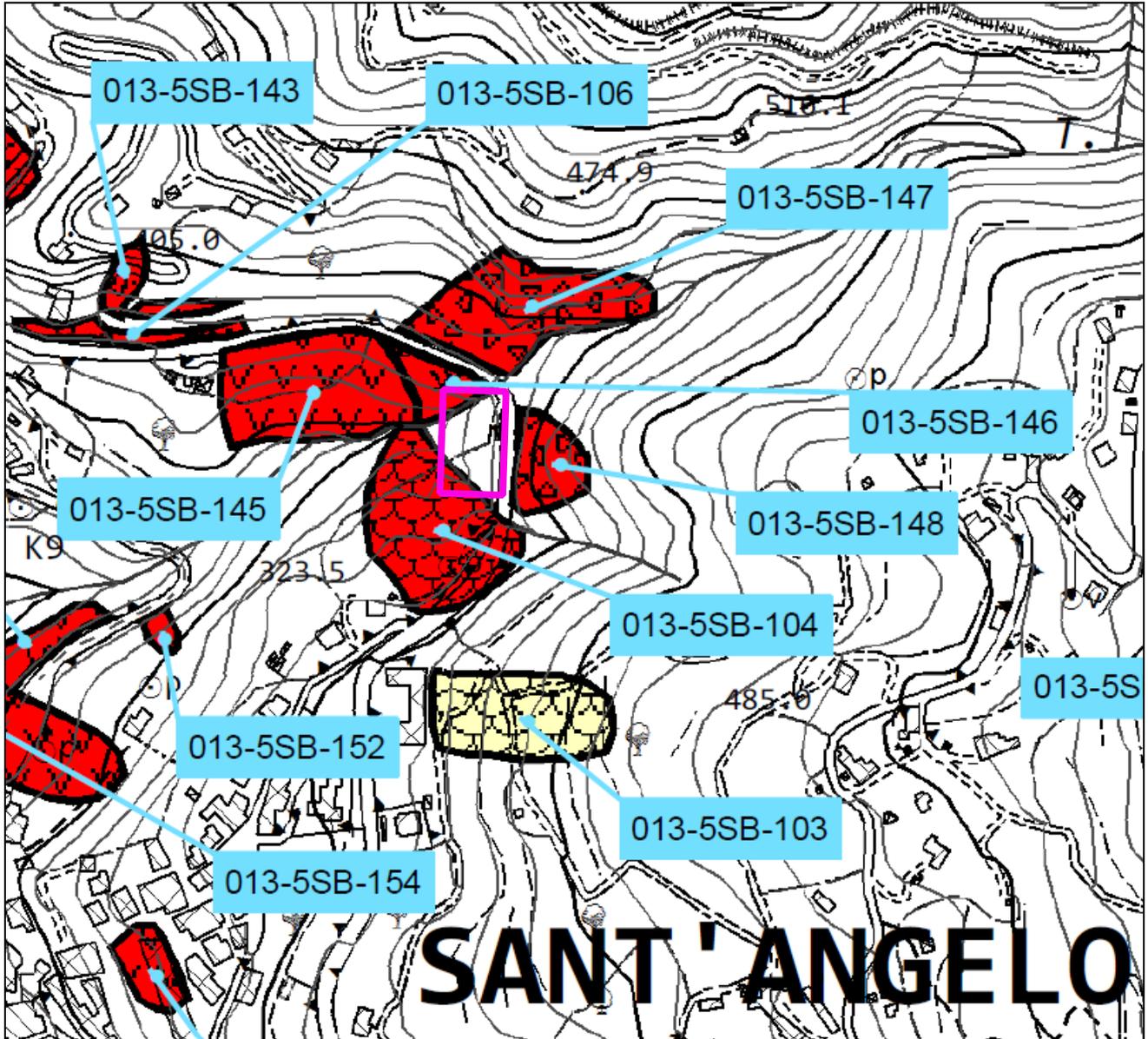
Tav. 6 - Carta delle pendenze



Tav. 7 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO (da P.A.I.)



Tav. 8 - Carta dei dissesti (da PAI)

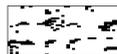
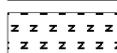
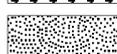


LEGENDA

 Area di interesse

FENOMENI FRANOSI

-  Crollo e/o ribaltamento
-  Colamento rapido
-  Sprofondamento
-  Scorrimento
-  Frana complessa

-  Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
-  Colamento lento
-  Area a franosità diffusa
-  Deformazione superficiale lenta
-  Calanco
-  Dissesti dovuti ad erosione accelerata
-  Sito d'attenzione

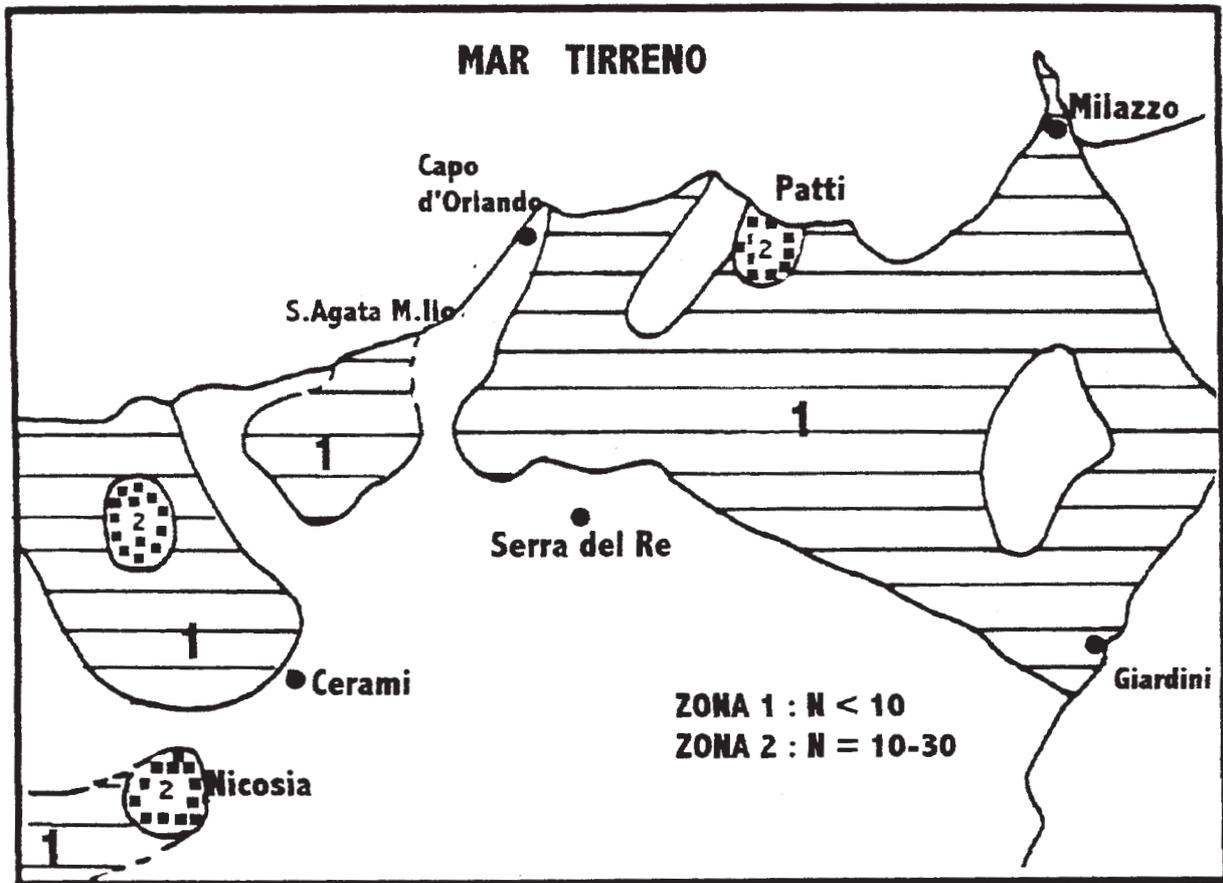
STATO DI ATTIVITA'

-  Attivo
-  Inattivo
-  Quiescente
-  Stabilizzato artificialmente o naturalmente

-  Limite bacino idrografico
-  Limite dell'area intermedia
-  Limite comunale

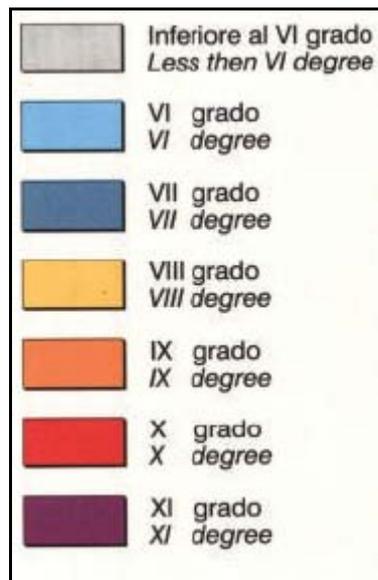
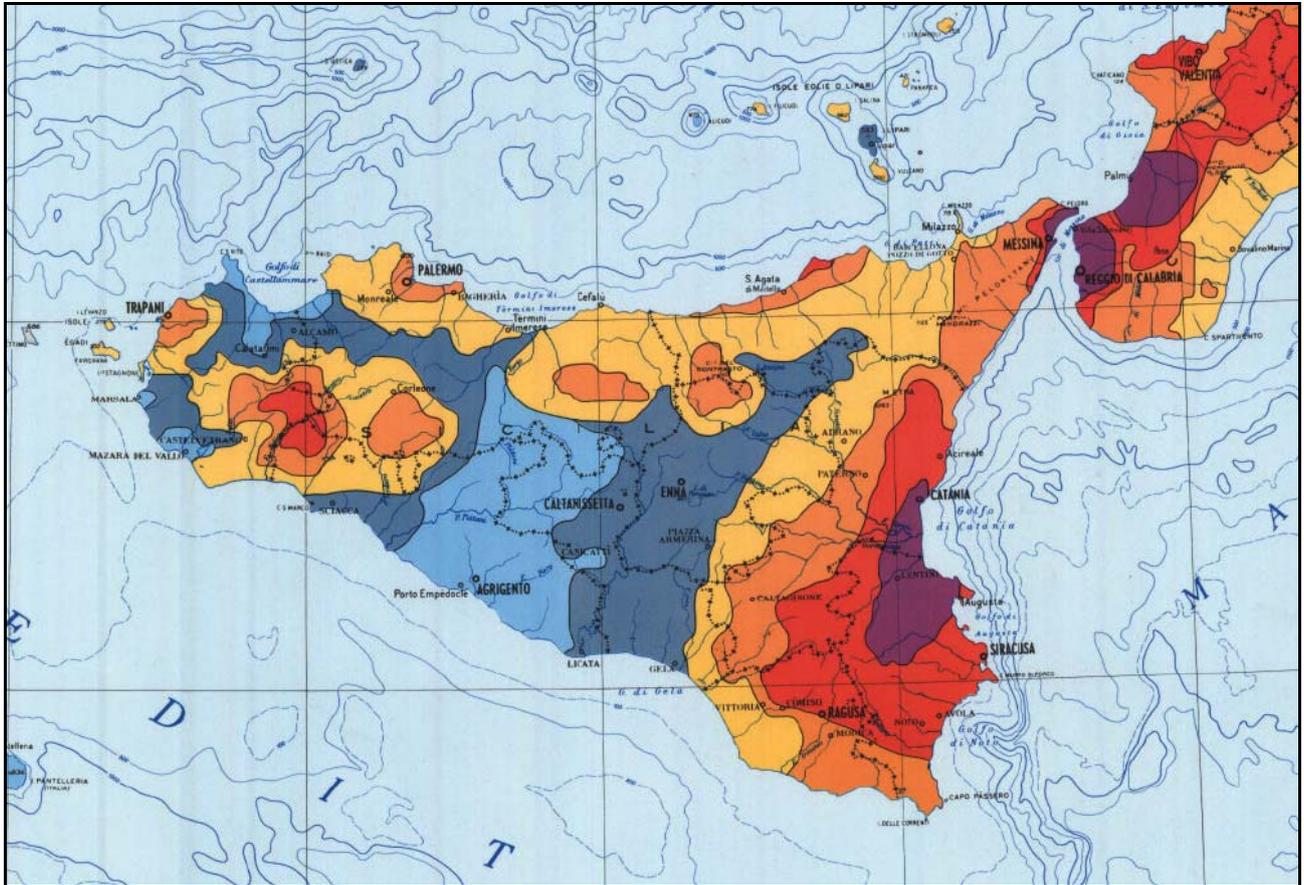
Tav. 9

CARTA DELLE DENSITA' EPICENTRALI (1783-1977)
ripresa da Barbano M.S. et al. (1978)



N = numero di eventi sismici per unità di superficie

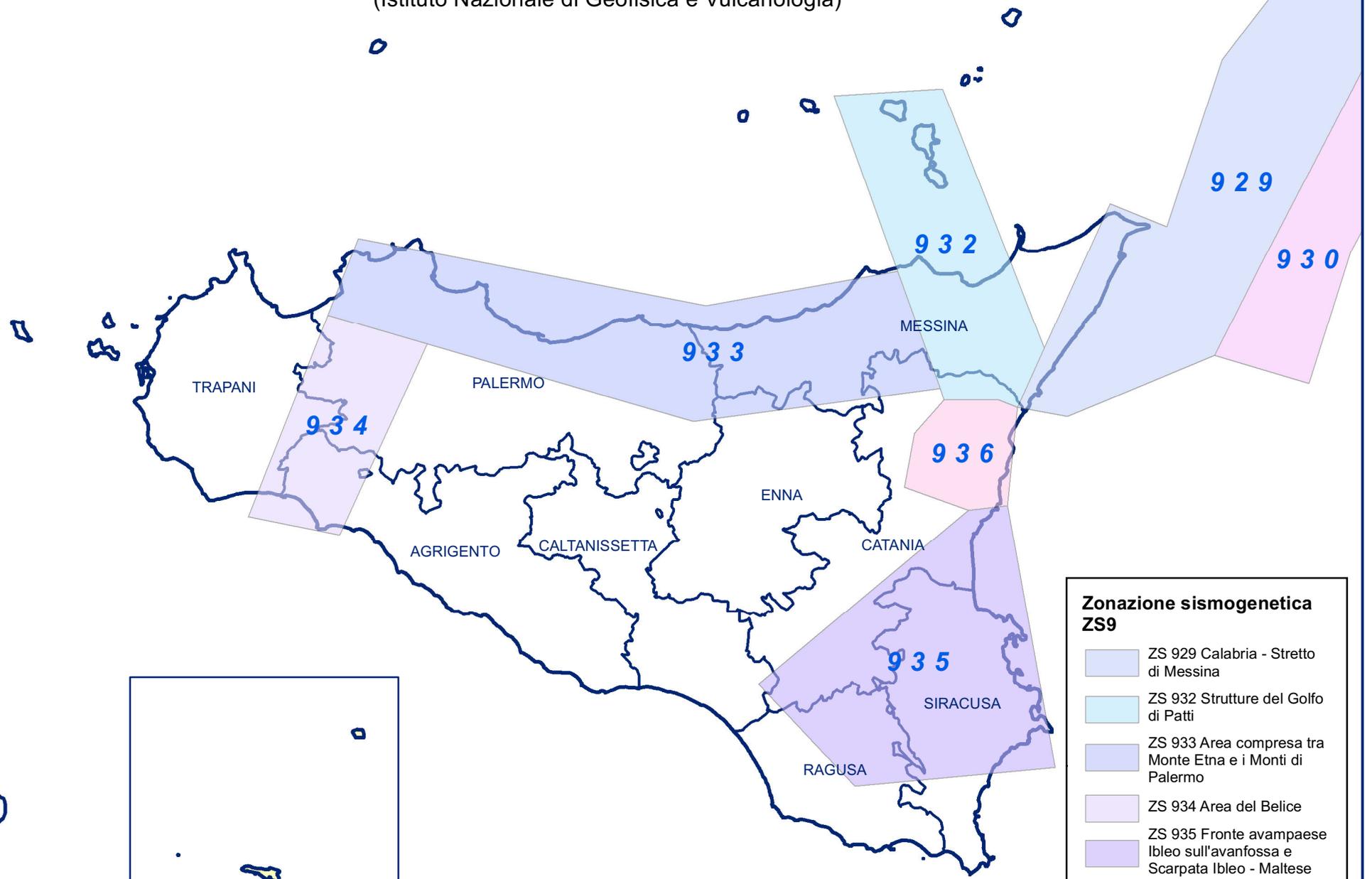
Tav. 10
Stralcio della carta della massima intensità macrosismica risentita in Italia
(da INGV - DPC, 1995)



Tav. 11

Zonazione sismogenetica ZS9

(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)



Zonazione sismogenetica ZS9

- ZS 929 Calabria - Stretto di Messina
- ZS 932 Strutture del Golfo di Patti
- ZS 933 Area compresa tra Monte Etna e i Monti di Palermo
- ZS 934 Area del Belice
- ZS 935 Fronte avampaese Ibleo sull'avanfossa e Scarpata Ibleo - Maltese
- ZS 936 Area Etna

(<http://zonesismiche.mi.ingv.it>)

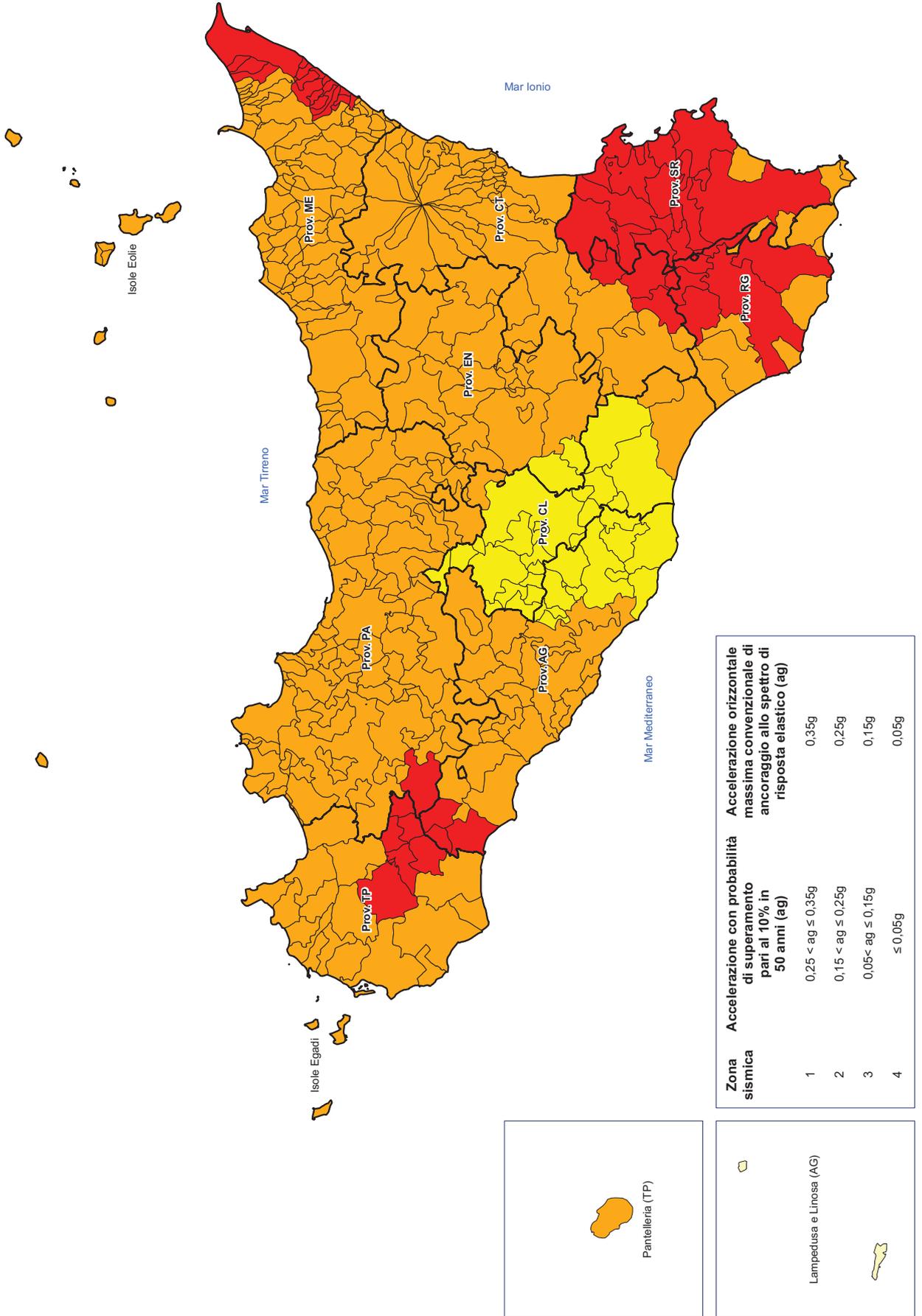


Regione Siciliana - Presidenza



Dipartimento della Protezione Civile

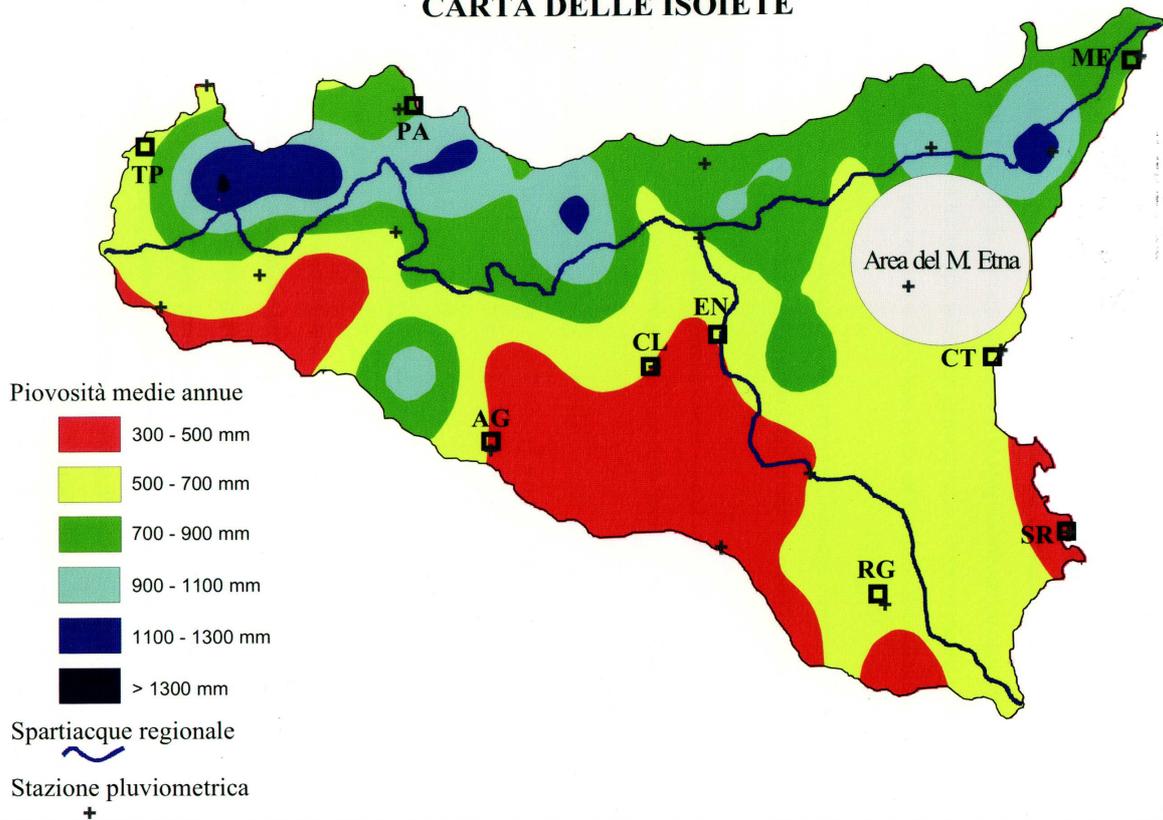
Proposta di aggiornamento della Classificazione sismica regionale con i criteri dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519



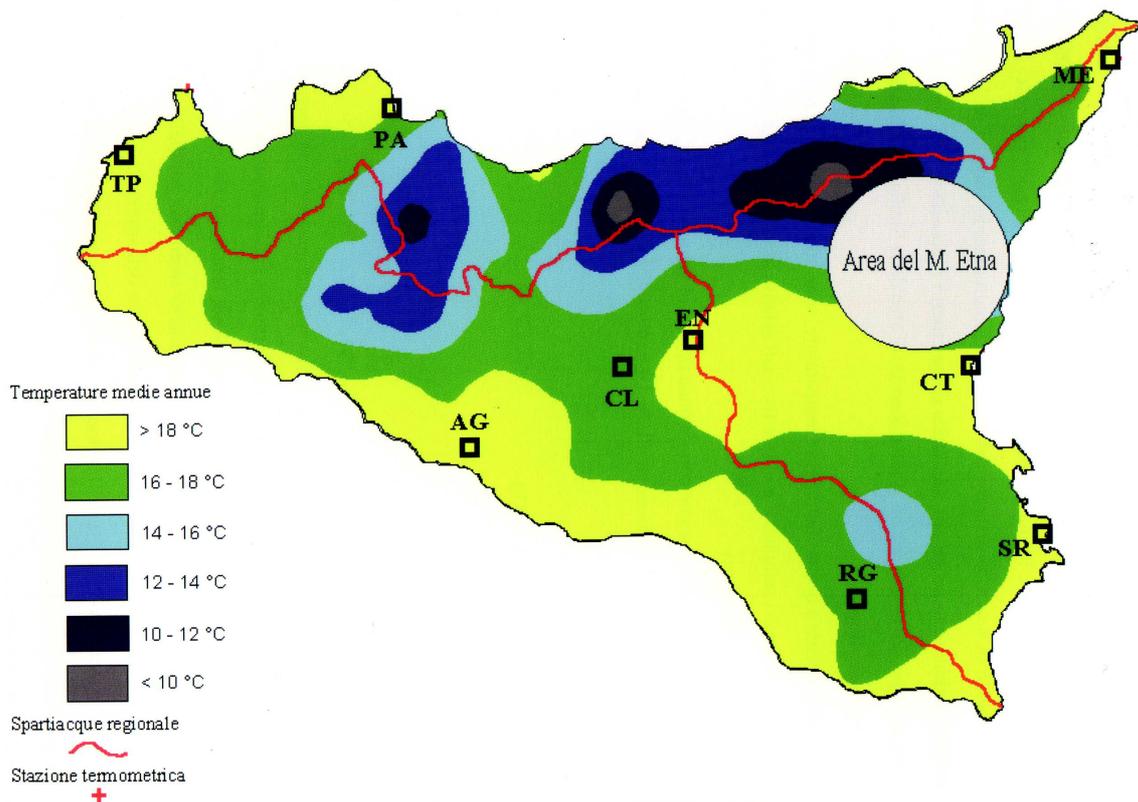
Tav. 12

Tav. 13
Caratteristiche termo-pluviometriche di lungo periodo della Sicilia

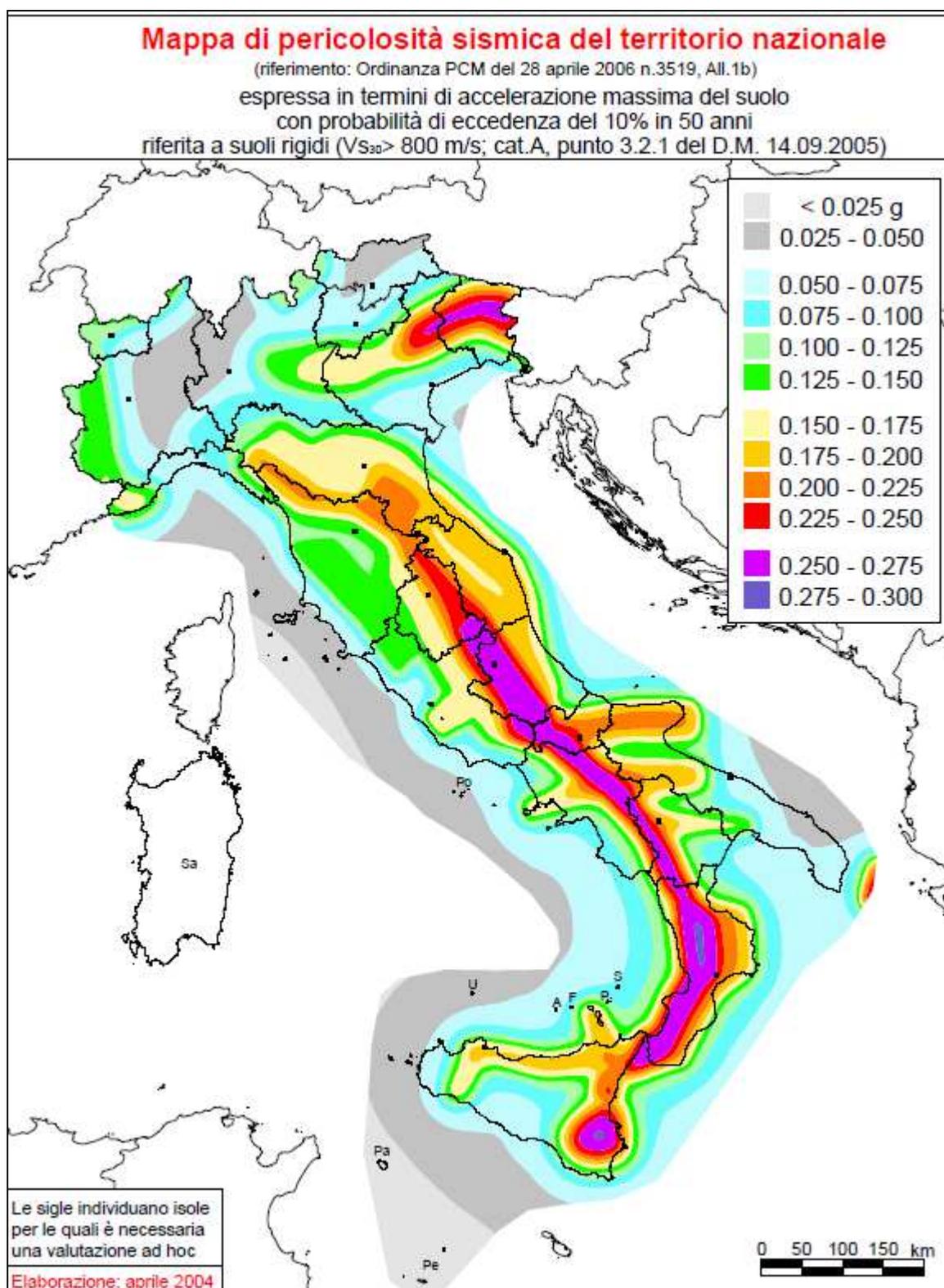
CARTA DELLE ISOIETE



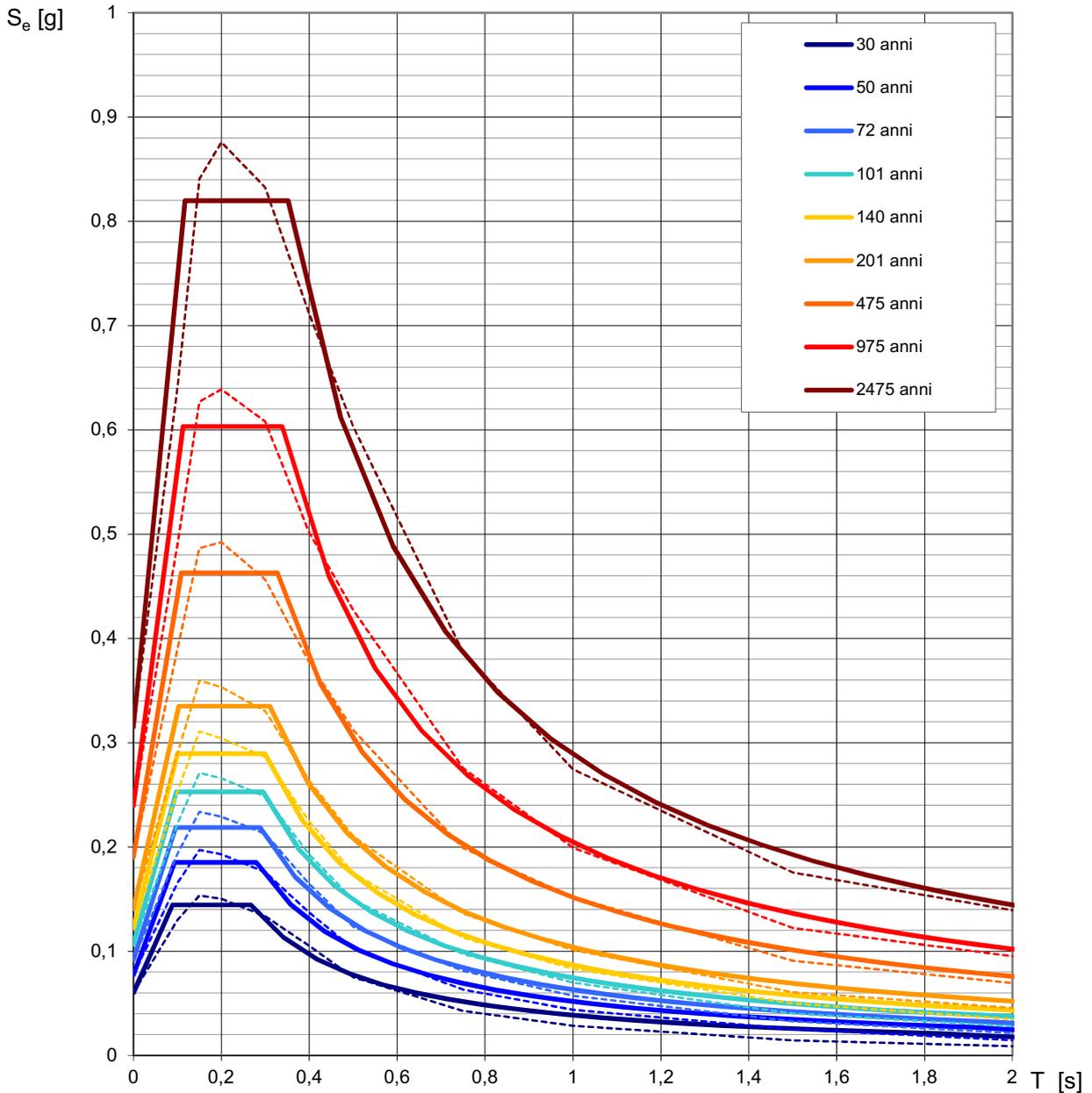
CARTA DELLE ISOTERME



Tav. 14



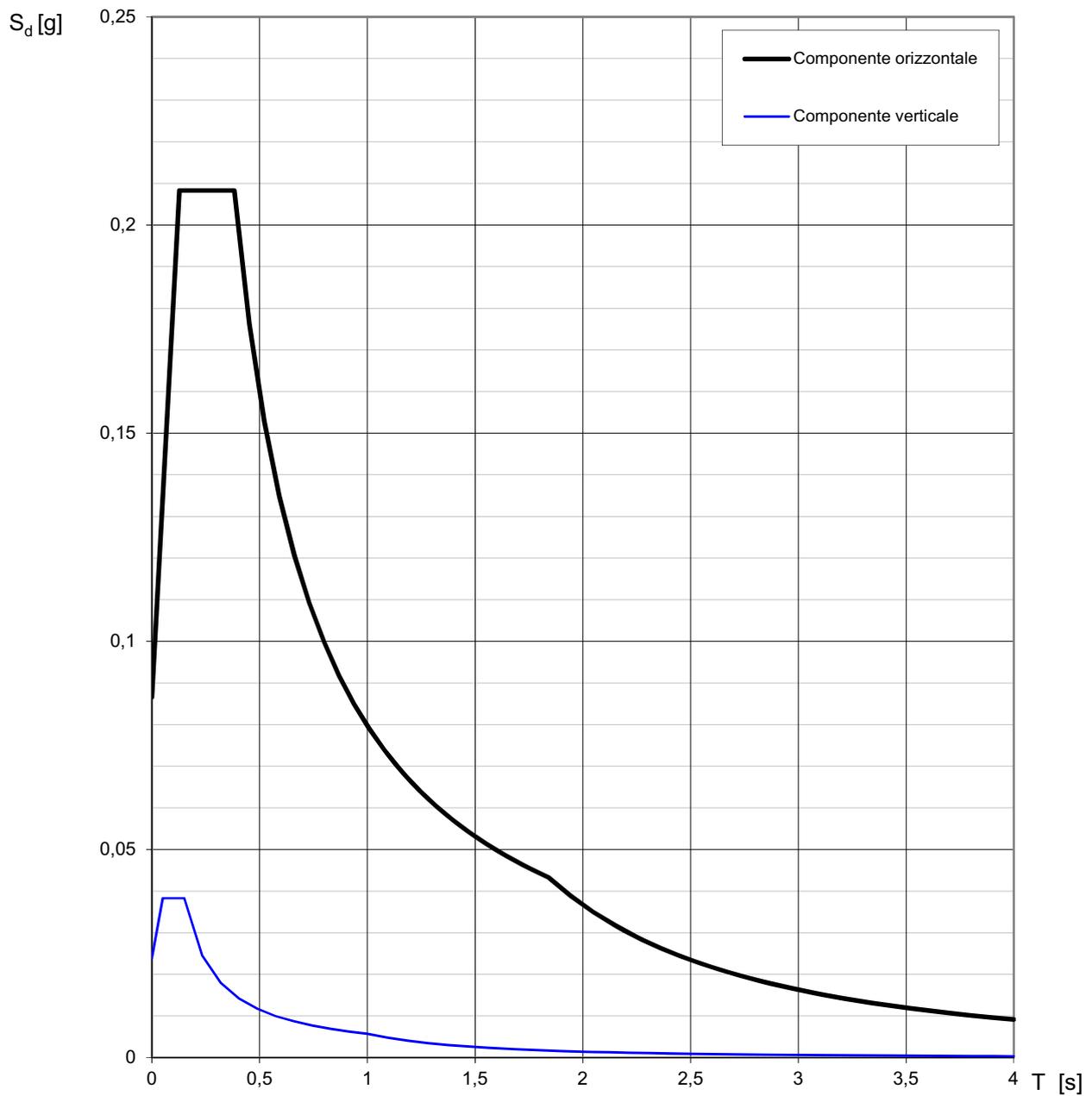
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



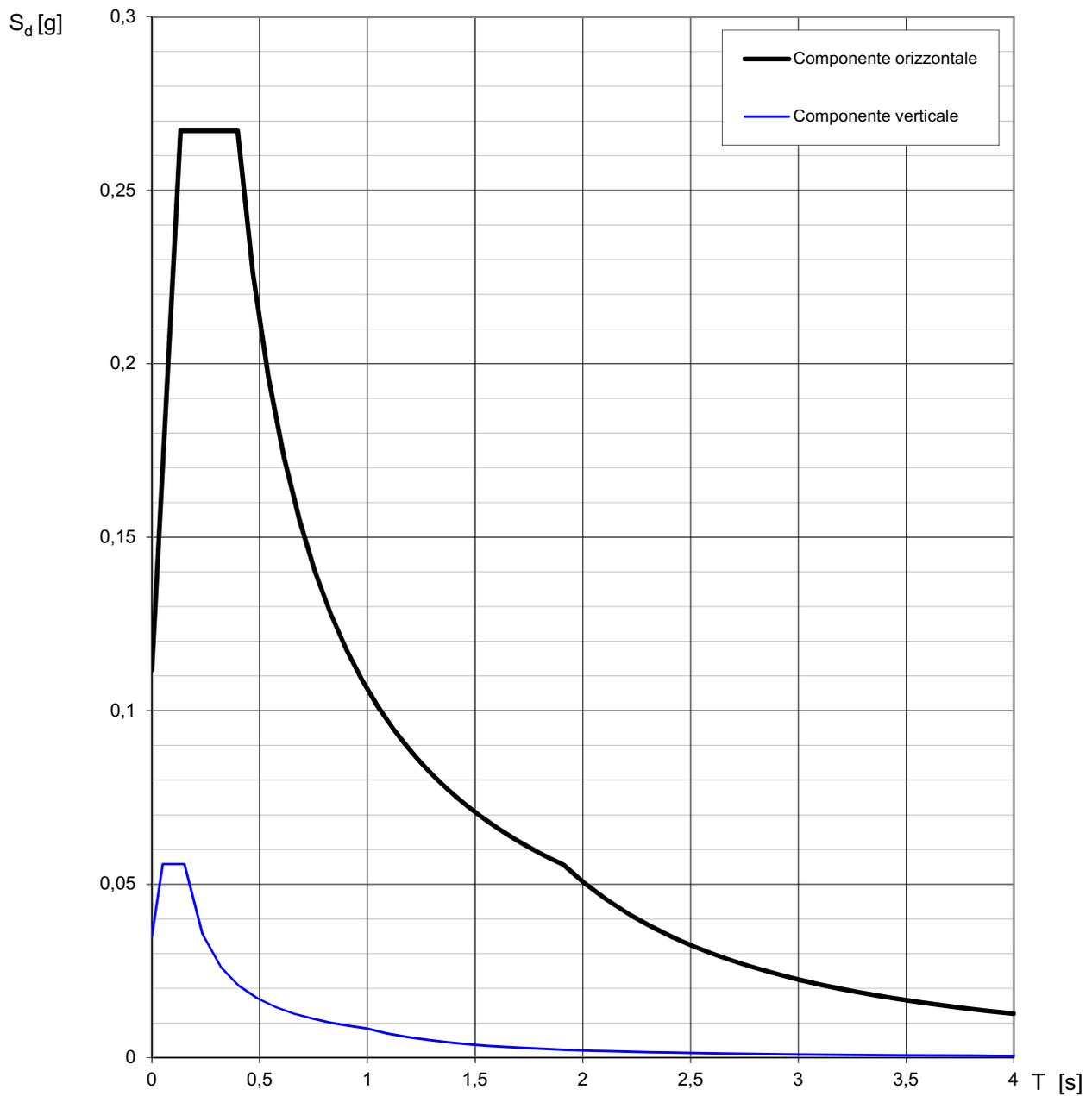
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

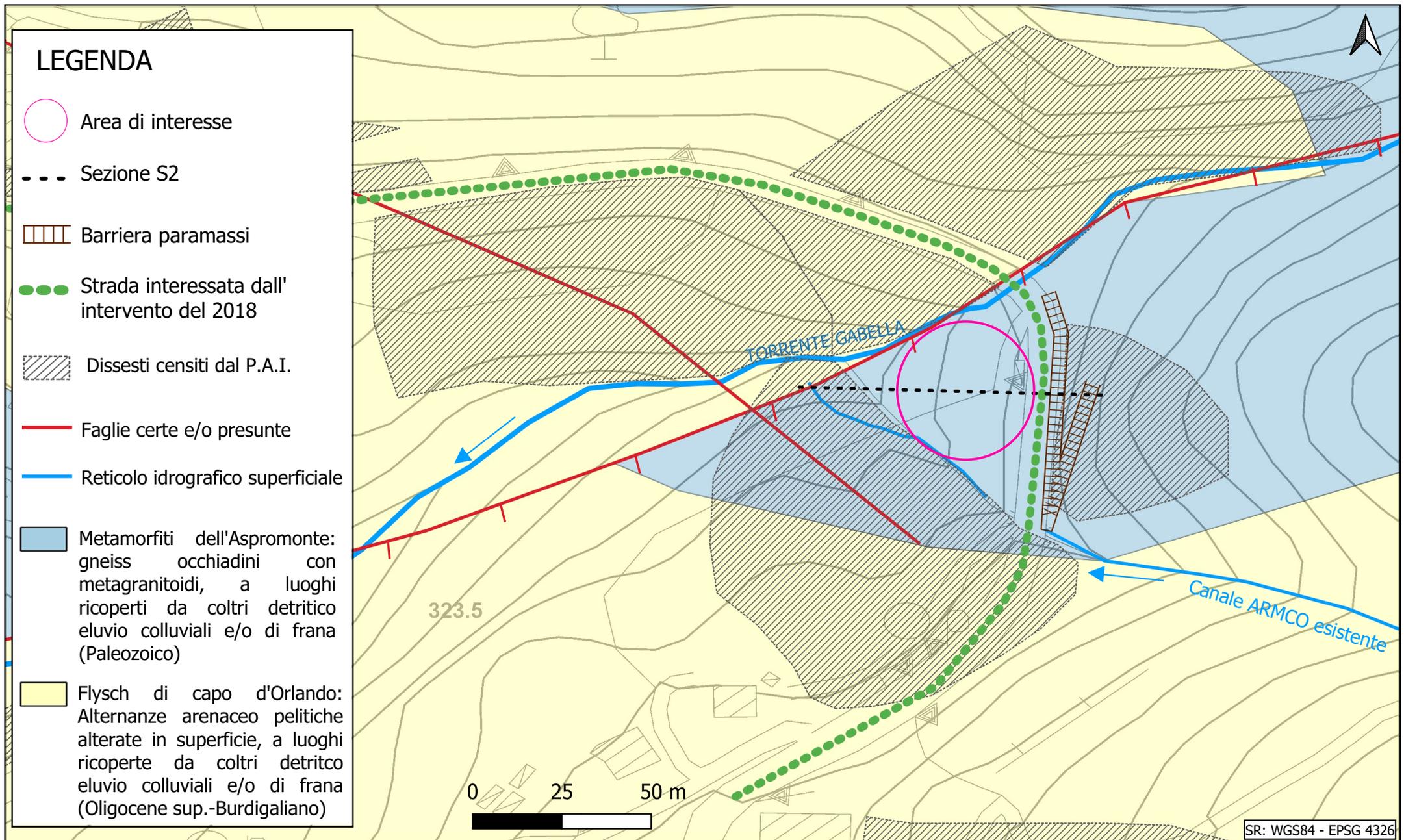
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

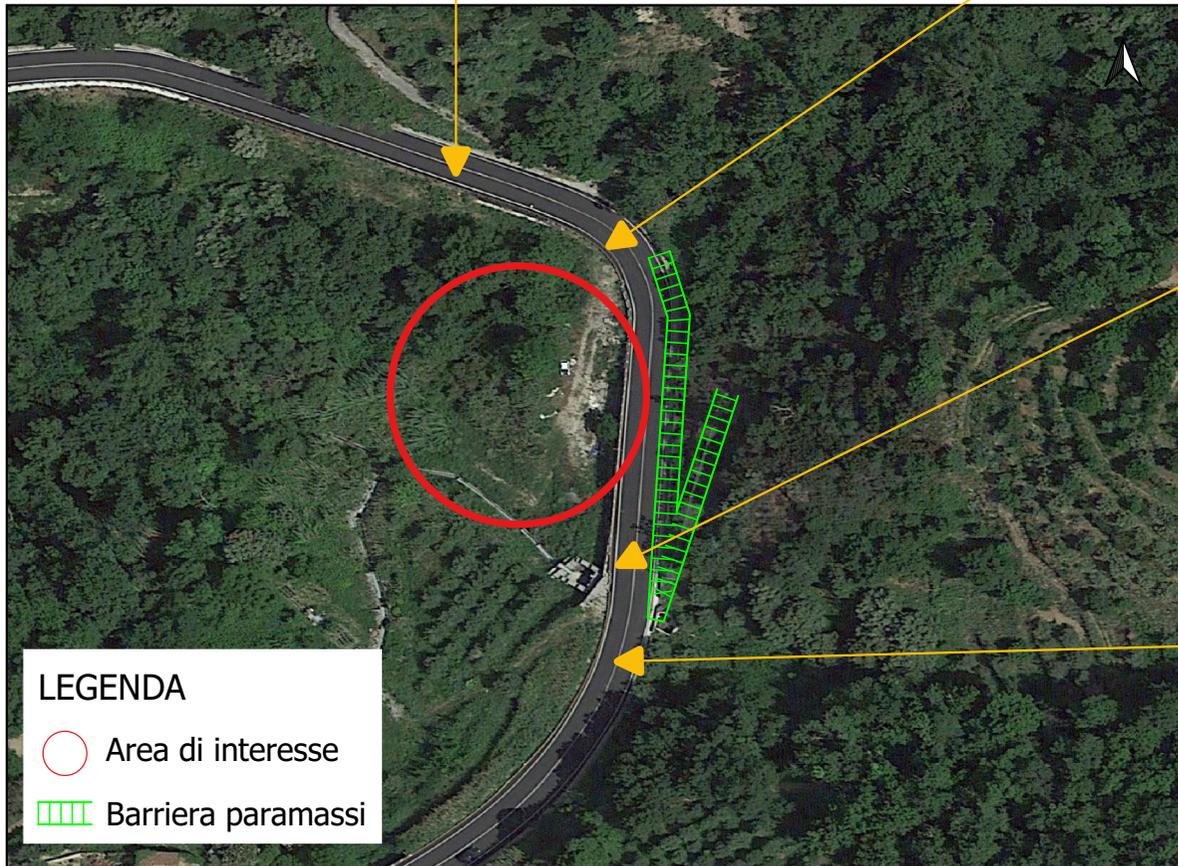
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD

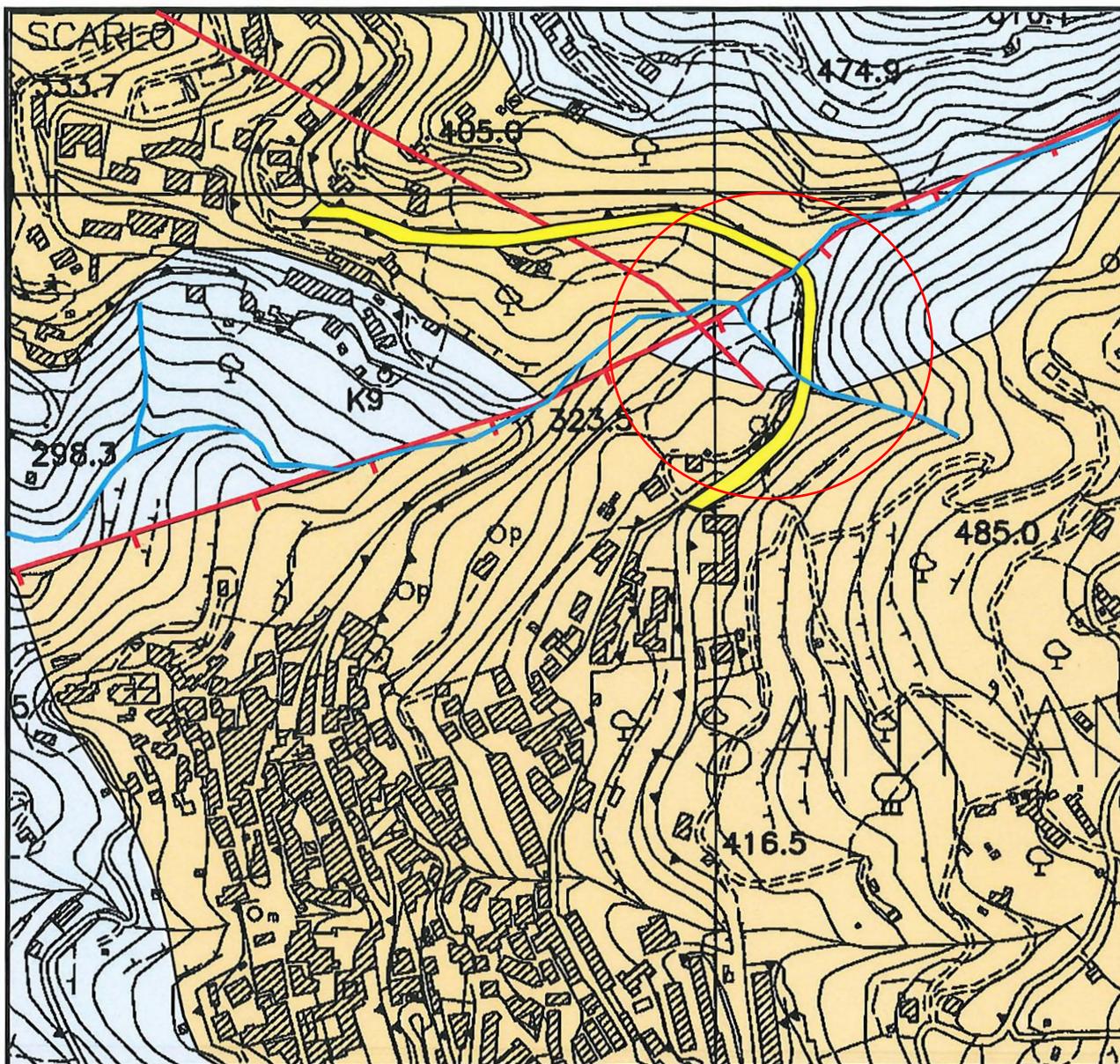
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Tav. 18 - CARTA GEOMORFOLOGICA



Tav. 19 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Carta Geologica
Scala 1:5.000



Flysch di capo d'Orlando:
Alternanze arenaceo pelitiche
alterate in superficie, a luoghi
ricoperte da coltri detritico eluvio
colluviali e/o di frana
(Oligocene sup.-Burdigaliano)



Metamorfiti dell'Aspromonte:
gneiss occhiadini con
metagranitoidi, a luoghi ricoperti
da coltri detritico eluvio colluviali
e/o di frana (Paleozoico)



Faglie certe e/o presunte,
i tratti indicano faglie
di tipo dirette



Rete idrografica



Tracciato stradale

SEZIONE GEOLITOLOGICA
SCHEMATICA

"Legenda"



Coltre detritica e terreni di riporto



Substrato metamorfico alterato (SMA)



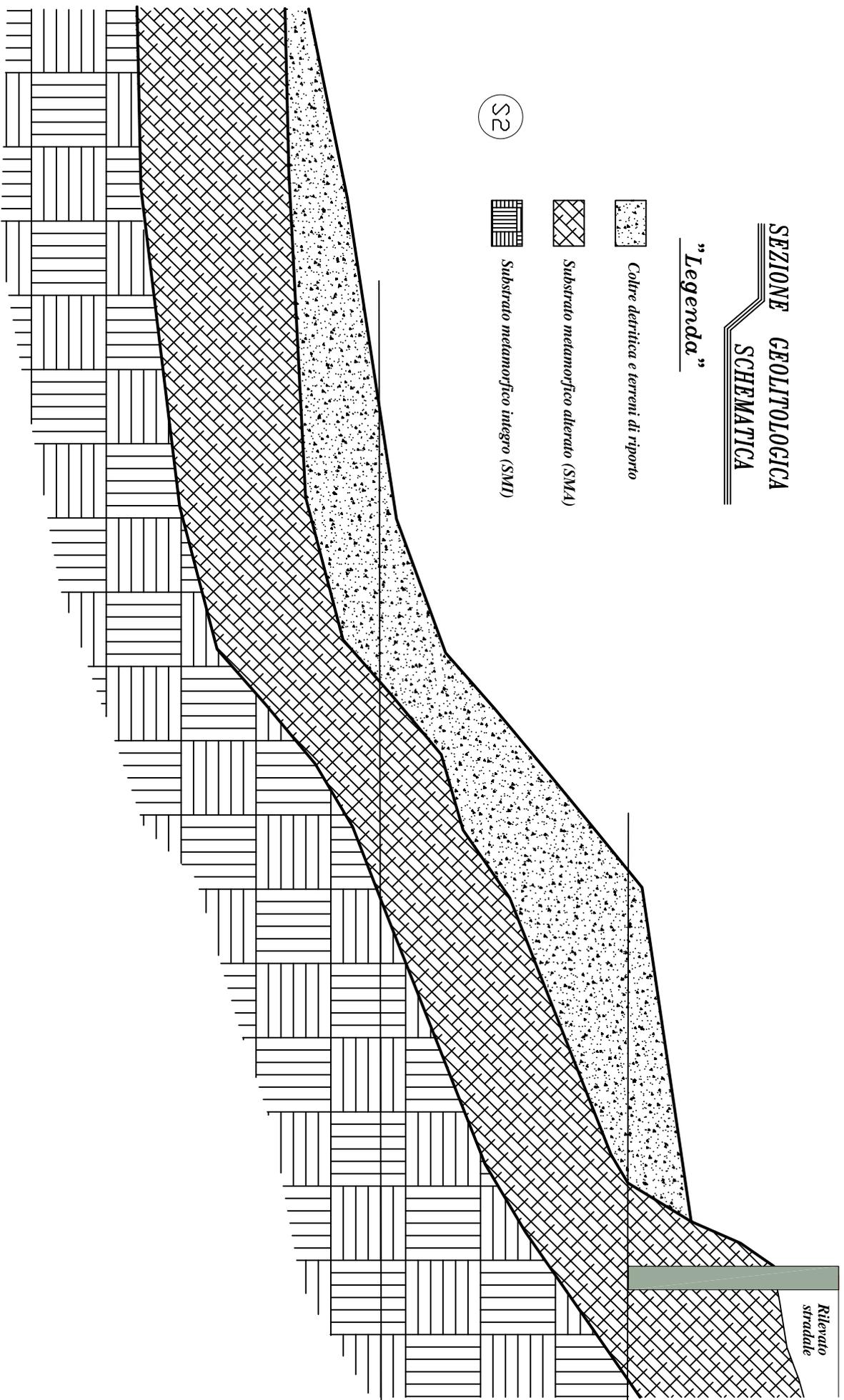
Substrato metamorfico integro (SMI)

S2

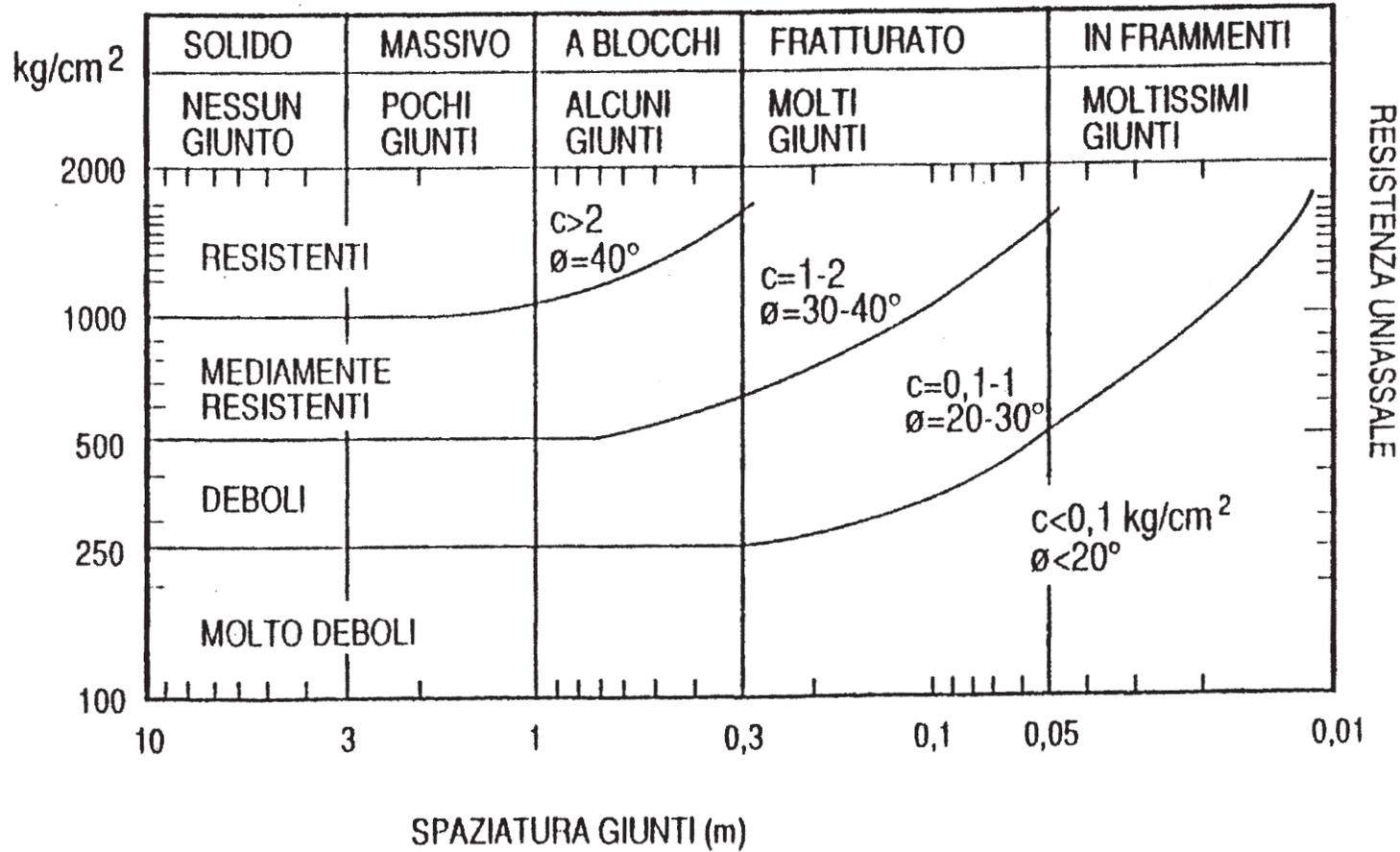
Rilevato
stradale

375,45 mt

365,50 mt



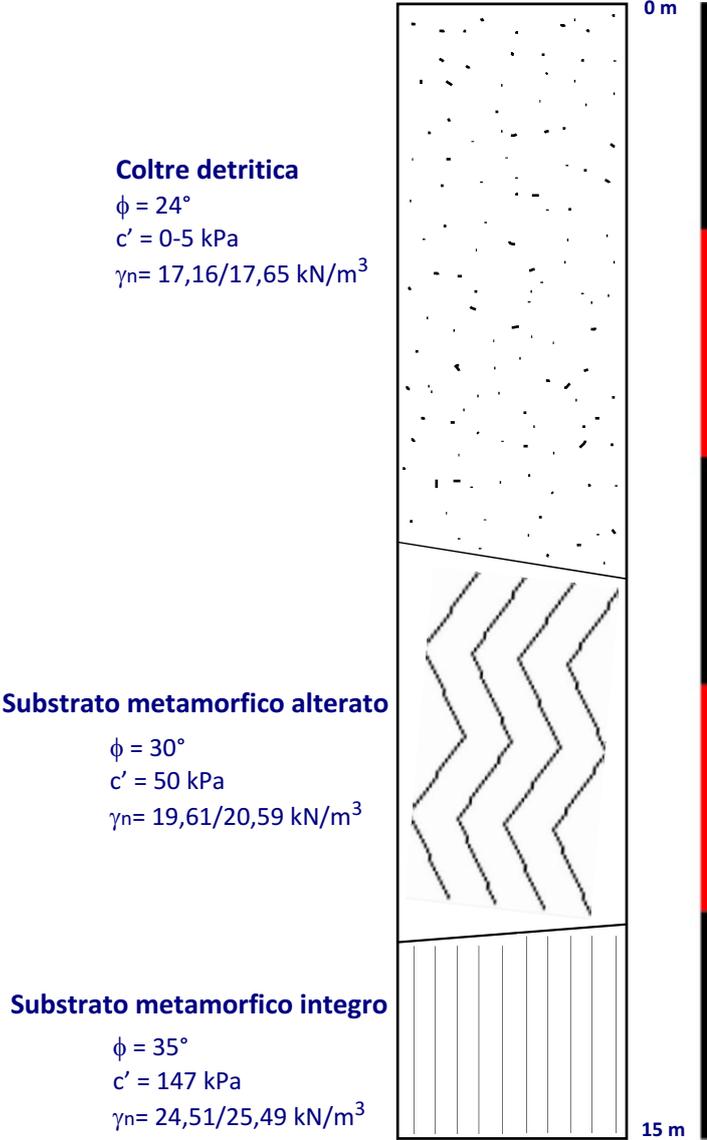
DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DEGLIAMMASSI ROCCIOSI



Tav. 22

Relazione tra Φ , c , resistenza alla compressione uniaxiale e spaziatura delle discontinuità

Sezione stratigrafica tipo (scala 1:100)



COMUNE DI SANT'ANGELO DI BROLO
Città Metropolitana di Messina

OGGETTO:

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - Missione 5 – Inclusione e coesione - Componente 3 - Interventi speciali per la coesione territoriale – Investimento 2 - Valorizzazione dei beni confiscati alle mafie finanziato dall'Unione europea – Next Generation EU.- Intervento: “RIQUALIFICAZIONE SPAZI PUBBLICI VOLTI ALLA REALIZZAZIONE DI UN'AREA A VERDE ATTREZZATO PER IL TEMPO LIBERO IN LOCALITA' PANTANO”. C.U.P.: E85B22000050009.

Località: Pantano

Committente: dr. Geologo Antonino Scurria

(RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU)

Piraino, aprile 2024

dr. Geologo Antonino Coletta


Antonino Coletta

dr. Geologo Franco Miragliotta


Franco Miragliotta

REPORT INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE

OGGETTO: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - Missione 5 – Inclusione e coesione - Componente 3 - Interventi speciali per la coesione territoriale – Investimento 2 - Valorizzazione dei beni confiscati alle mafie finanziato dall’Unione europea – Next Generation EU.- Intervento: “RIQUALIFICAZIONE SPAZI PUBBLICI VOLTI ALLA REALIZZAZIONE DI UN’AREA A VERDE ATTREZZATO PER IL TEMPO LIBERO IN LOCALITA’ PANTANO”. C.U.P.: E85B22000050009.

1. PREMESSA

Nel mese di aprile 2024 viene svolto, su incarico del dr. Geologo Antonio Scurria, una campagna di accertamenti geognostici in situ a supporto dello studio geologico esecutivo per il progetto in oggetto da realizzare nel comune di Sant’Angelo di Brolo (ME).

Per approfondire le conoscenze geologiche del settore in esame è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in situ finalizzate alla conoscenza delle condizioni litostratigrafiche dell’area ed alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Le prove geognostiche in situ sono state:

n. 3 prospezioni sismiche in situ (sismica a rifrazione)

n. 2 prospezioni sismiche in situ (masw)

n. 2 prospezione sismica passiva in situ (hvsr)

n. 5 prove penetrometriche dinamiche e continue

Le prove svolte hanno consentito di caratterizzare i terreni di fondazione in base alla nuova normativa sismica italiana, introdotta con l’O.P.C.M. 3274 del 20/03/03, successivamente ripresa nel testo unico sulle costruzioni del 14/09/2005, 14.01.2008 e 17.01.2018 (***NTC2018***) che definisce l’azione sismica di progetto.

Alla presente relazione si allegano i seguenti elaborati cartografici:

- ***Planimetria con ubicazione indagini geognostiche;***
- ***Tabulati delle prospezioni sismiche a rifrazione;***
- ***Tabulati delle prospezioni sismiche MASW;***
- ***Tabulati della prospezione sismica passiva HVSR;***
- ***Istogrammi delle prove penetrometriche dinamiche e continue.***

2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel corso degli studi geologici dell'area e nell'ambito dello studio geologico esecutivo, è stata eseguita una campagna di accertamenti geognostici in sito nei terreni interessati dagli interventi progettuali. La campagna di accertamenti geognostici è stata finalizzata alla ricostruzione dell'assetto geolitologico dell'area, alla determinazione della successione stratigrafica, nonché alla definizione delle caratteristiche geotecniche dei tipi litologici presenti nell'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto.

Per il tipo di intervento progettuale ed in considerazione anche delle attuali difficoltà di accesso di mezzi pesanti si è privilegiata una campagna d'indagine geognostica in sito, mediante l'esecuzione di profili sismici a rifrazione, di prospezioni masw, prospezioni di sismica passiva hvsr e di prove penetrometriche dinamiche e continue, distribuiti nell'area d'intervento.

In particolare, le prove, oltre a consentire di ricostruire la successione litostratigrafica dei livelli più superficiali del terreno, hanno permesso una attenta correlazione con gli orizzonti sepolti riscontrati nel corso delle prospezioni geosismiche. Questa taratura delle velocità sismiche è stata molto importante per la ricostruzione plani-altimetrica degli orizzonti rifrattori sepolti.

Per far fronte alle esigenze progettuali sono state programmate ed eseguite le indagini dirette ed indirette riepilogate sinteticamente qui di seguito:

- *n° 3 profili sismici, eseguite con il metodo della sismica a rifrazione, con misure in andata e ritorno (5 scoppi);*
- *n° 2 profilo sismico (Masw) finalizzati alla caratterizzazione del suolo in base alla nuova normativa sismica;*
- *n° 2 profilo sismico (hvsr) finalizzati alla caratterizzazione del suolo in base alla nuova normativa sismica;*
- *n° 5 prove penetrometriche dinamiche e continue;*

L'ubicazione puntuale di ogni singola indagine geognostica in sito è riportata nella planimetria qui di seguito allegata.

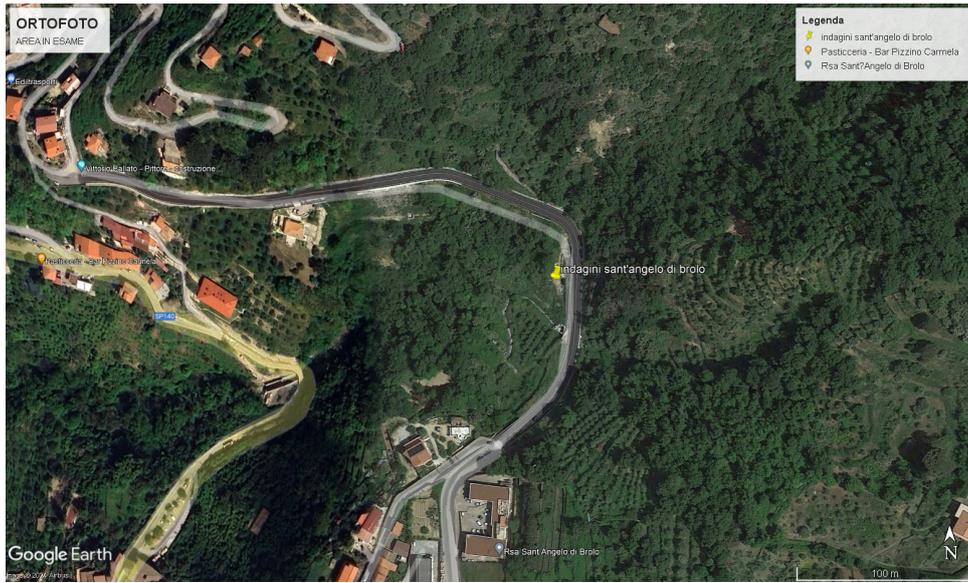
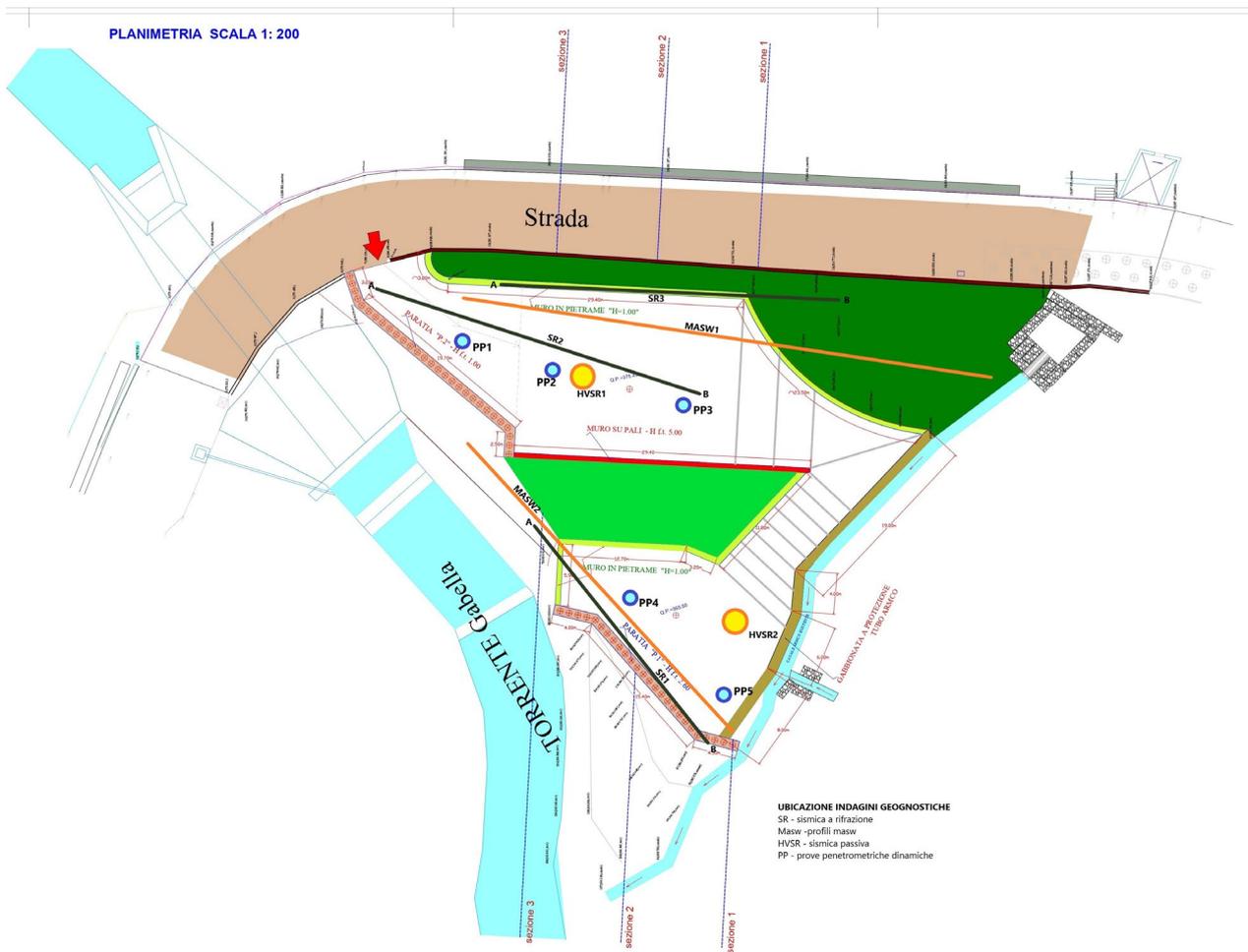


Foto aerea settore in esame

Coordinate geografiche: Lat. 38°07'04,55"N – Long. 14°53'11,64"E – quota s.l.m. 379 m



Planimetria generale progetto con ubicazione delle indagini geognostiche

	
<p><i>Foto stendimento di sismica a rifrazione</i></p>	<p><i>Foto stendimento di sismica masw</i></p>

Qui di seguito vengono descritte nel dettaglio le indagini geognostiche relative al progetto in oggetto.

2.1 Prospezioni sismiche a rifrazione

La serie stratigrafica è stata verificata arealmente, nel settore, mediante prospezione sismica a rifrazione, con l'esecuzione di n° 3 profili sismici. L'impiego della sismica con il metodo a rifrazione consente di definire la profondità, velocità sismica e forma delle unità geologiche sepolte. I profili sismici sono ottenuti dalla registrazione delle velocità delle onde sismiche che si propagano, mediante idonea energizzazione dei terreni, con determinate frequenze ed ampiezze in funzione delle proprietà elastiche delle rocce stesse e, conseguentemente, della loro resistenza alla deformazione. Le variazioni delle costanti elastiche e della densità determinano la rifrazione e la riflessione delle onde in corrispondenza delle discontinuità geologiche.

L'indagine è stata eseguita con sismografo PASI LCM 12, a 12 canali e ad incremento di segnale; sono stati utilizzati stendimenti con lunghezza di 33 metri, con l'utilizzo di n° 12 geofoni posti alla distanza di metri 3 l'uno dall'altro, che hanno permesso d'investigare fino alla profondità di circa 12/15 metri dal p.c.; le misurazioni sono state effettuate in andata e ritorno, con 5 punti di scoppio per ricostruire nel dettaglio l'andamento litostratigrafico dei rifrattori nel sottosuolo. L'elaborazione computerizzata e l'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di

individuare la presenza di 3 orizzonti, caratterizzati da una sostanziale differenza riguardo la velocità di propagazione delle onde sismiche.

Qui di seguito vengono riepilogate le velocità riscontrate in ciascuno degli orizzonti individuati, nonché le caratteristiche litostratigrafiche salienti.

Tablelle riepilogative delle prospezioni sismiche a rifrazione

Profilo sismico n° 1

Orizzonte	Velocità (m/s)	Profondità rifratte (metri)	Descrizione litologica
1 (CD1)	229	1.00-2.10 Media: 1.55	Coltre detritica superficiale e terreni di riporto superficiale poco addensata parzialmente trasformata in terreno vegetale.
2 (CD2)	488	5.70-7.50 Media: 6.60	Coltre detritica con terreni di riporto mediamente addensata.
3 (SMA)	1044	-	Substrato litoide di natura metamorfica alterato e fratturato.

Profilo sismico n° 2

Orizzonte	Velocità (m/s)	Profondità rifratte (metri)	Descrizione litologica
1 (CD1)	332	0.5-1.20 Media: 0.85	Coltre detritica superficiale e terreni di riporto poco addensata
2 (CD2)	493	3.70-4.50 Media: 4.10	Coltre detritica con terreni di riporto mediamente addensata.
3 (SMA)	1075	-	Substrato litoide di natura metamorfica alterato e fratturato

Profilo sismico n° 3

Orizzonte	Velocità (m/s)	Profondità rifratte (metri)	Descrizione litologica
1 (CD1)	342	1.20-1.80 Media: 1.50	Coltre detritica superficiale poco addensata parzialmente trasformata in terreno vegetale
2 (SMA)	880	2.40-3.90 Media: 3.15	Substrato litoide di natura metamorfica alterato e fratturato.
3 (SMI)	1444	-	Substrato litoide di natura metamorfica poco alterato e fratturato.

La prospezione geofisica attraverso l'impiego della tecnica della sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire con un buon grado di approssimazione l'andamento lito-stratigrafico dell'area in esame e di dedurne le caratteristiche sismiche. In particolare, in tutti gli stendimenti realizzati è stato possibile individuare i diversi rifrattori associabili alle differenti formazioni di cui si compongono i terreni che caratterizzano l'area d'indagine.

Lungo tutti gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s crescente con la profondità, e possono essere rilevati i seguenti sismostrati:

- **Sismostrato (CD1):** rappresentativo della coltre più superficiale per spessori medi di circa 1.50 m, e velocità Vp medie di 300 m/s e Vs tra 120 e 150 m/s.
- **Sismostrato (CD2):** rappresentativo della coltre più addensata con profondità del rifratore compreso tra 3.70-7.50 caratterizzata da velocità Vp medie di 490 m/s e Vs tra 200-250 m/s
- **Sismostrato (SMA):** rappresentativo del substrato litoide in posto costituito dalle metamorfite alterate e fratturate caratterizzato da Vp medie di 1000 m/s e Vs < 700 m/s; nella prospezione sismica n. 3 si riscontra un rifratore con una Vp di 1444 m/s riferibile alla formazione metamorfica più integra.

I dati derivati dall'indagine sismica si correlano abbastanza bene con quelli diretti ottenuti dalle indagini dirette (prove penetrometriche dinamiche e continue).

L'elaborazione dei dati scaturiti dall'indagine sismica ha consentito di ricostruire l'andamento litostratigrafico dell'area investigata; quanto emerso è riportato nelle "*sezioni geosismiche*", allegate alla seguente relazione con le relative "*dromocrone*".

I tabulati, qui di seguito riportati, si riferiscono alle prospezioni sismica a rifrazione eseguite nell'area in esame.

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Progetto di riqualificazione spazi pubblici - Studio Geologico
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 01 (ml 33) - [aprile 2024]

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-2.00	0.00	2024_sangelo01-33-5s_1.dat
7.50	0.00	2024_sangelo01-33-5s_2.dat
16.50	0.00	2024_sangelo01-33-5s_3.dat
25.50	0.00	2024_sangelo01-33-5s_4.dat
35.00	0.00	2024_sangelo01-33-5s_5.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -2 [ms]	FBP da 7.5 [ms]	FBP da 16.5 [ms]	FBP da 25.5 [ms]	FBP da 35 [ms]
1	0.00	0.00	13.10	17.20	41.20	52.40	63.00
2	3.00	0.00	26.20	13.60	37.20	49.10	58.40
3	6.00	0.00	31.50	7.80	31.40	46.20	56.00
4	9.00	0.00	38.50	12.50	25.50	42.10	54.20
5	12.00	0.00	43.40	20.30	20.60	38.10	52.40
6	15.00	0.00	46.60	29.10	9.10	32.20	50.20
7	18.00	0.00	53.20	32.20	7.00	24.20	46.10
8	21.00	0.00	56.90	38.60	19.00	20.10	43.00
9	24.00	0.00	60.50	42.40	26.40	7.70	34.20
10	27.00	0.00	64.10	46.10	34.10	10.40	27.50
11	30.00	0.00	66.20	48.20	40.80	20.00	17.50
12	33.00	0.00	67.10	50.90	46.20	25.30	8.90

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

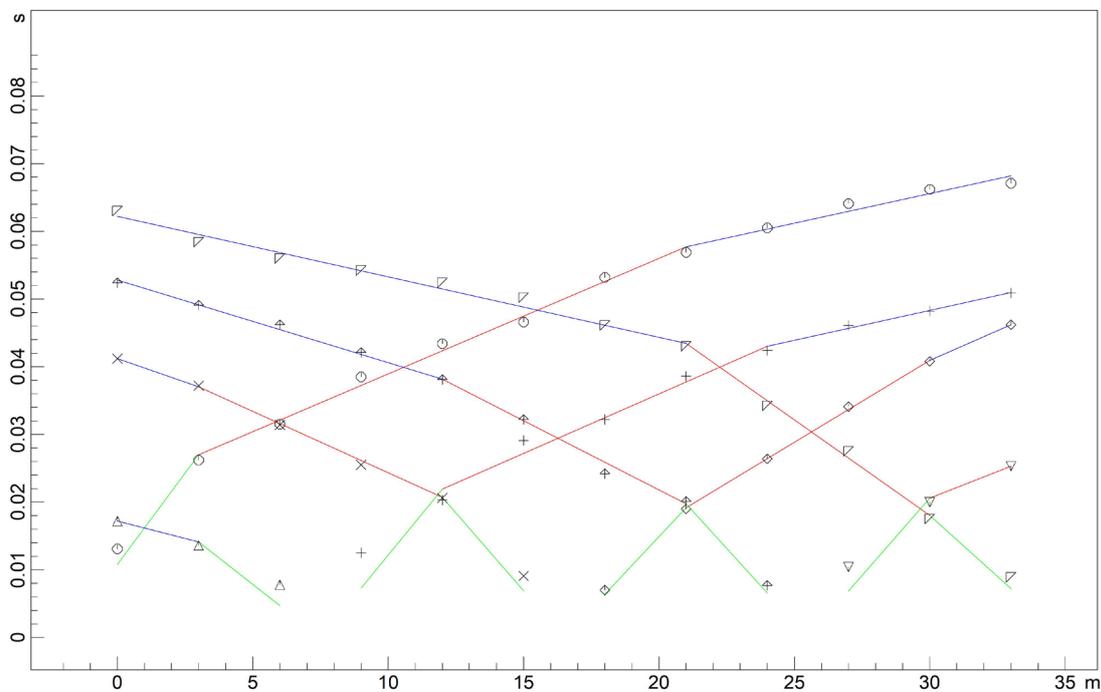
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	2.1	6.0
2	2.1	6.0
3	2.0	5.9
4	2.2	5.7
5	2.0	6.0
6	2.0	5.9
7	1.6	7.1
8	1.7	6.8
9	1.3	7.5
10	1.5	6.8
11	1.0	7.4
12	1.0	7.5

VELOCITA' DEGLI STRATI

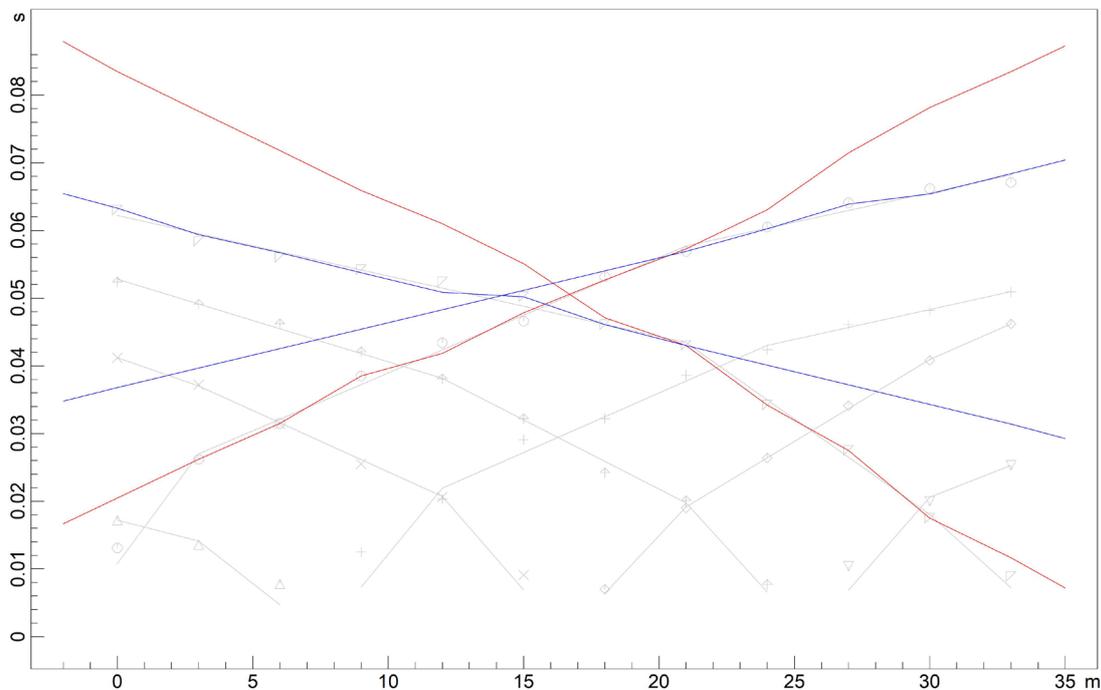
N. Strato	Velocità [m/s]
1	229.6
2	488.6
3	1044.9

Progetto di riqualificazione spazi pubblici - Studio Geologico
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 01 (ml 33) - [aprile 2024]

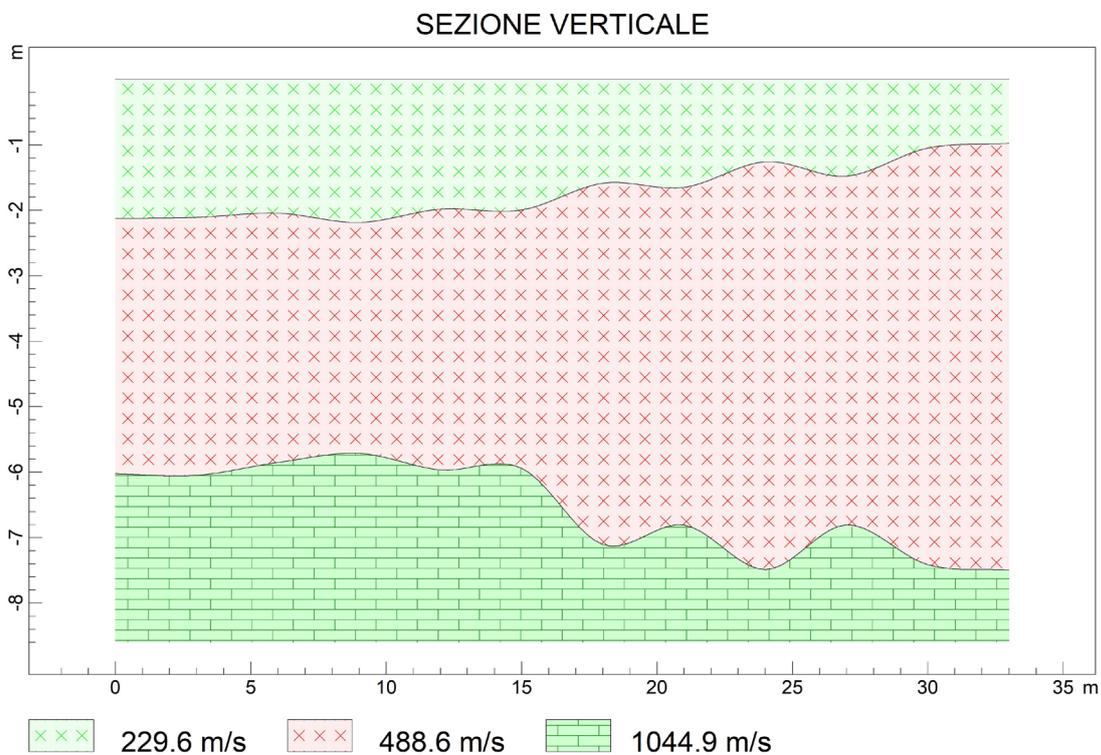
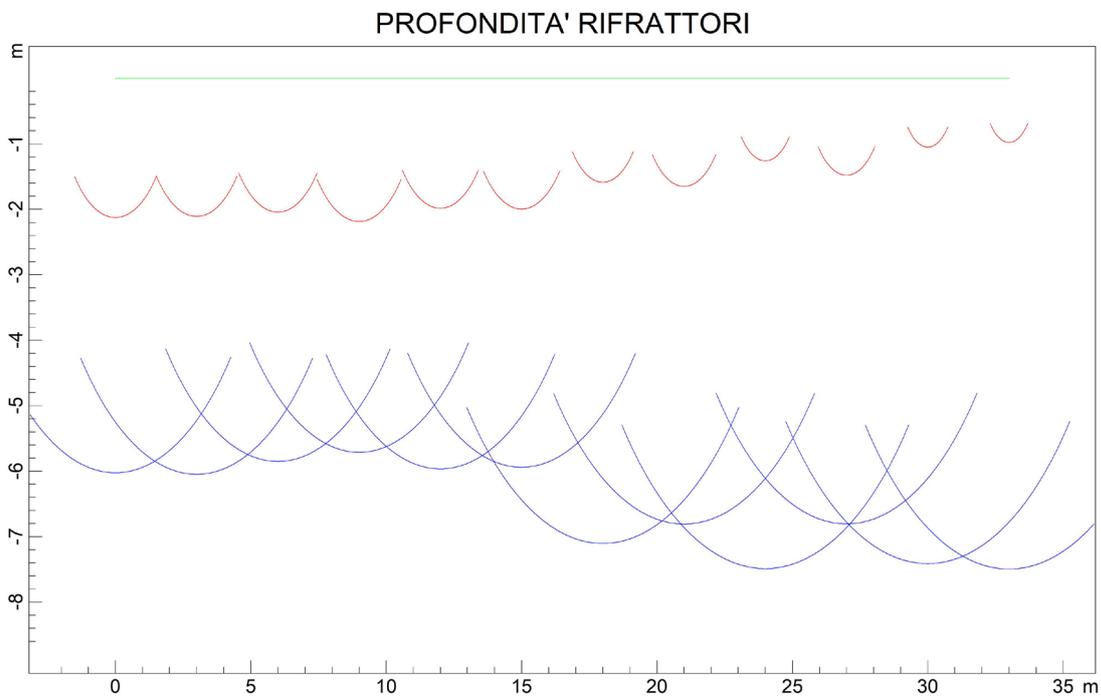
DROMOCRONE ORIGINALI



DROMOCRONE TRASLATE



Progetto di riqualificazione spazi pubblici - Studio Geologico
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 01 (ml 33) - [aprile 2024]



ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)

Profilo sismico a rifrazione n. 02 (ml 33) - [aprile 2024]

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-2.00	0.00	2024 sangelo02-33-5s_1.dat
7.50	0.00	2024 sangelo02-33-5s_2.dat
16.50	0.00	2024 sangelo02-33-5s_3.dat
25.50	0.00	2024 sangelo02-33-5s_4.dat
35.00	0.00	2024 sangelo02-33-5s_5.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -2 [ms]	FBP da 7.5 [ms]	FBP da 16.5 [ms]	FBP da 25.5 [ms]	FBP da 35 [ms]
1	0.00	0.00	10.50	11.50	35.30	43.80	49.20
2	3.00	0.00	14.30	7.10	32.10	41.30	45.30
3	6.00	0.00	21.50	6.90	29.70	35.60	43.10
4	9.00	0.00	26.80	14.40	24.30	29.20	39.20
5	12.00	0.00	31.60	17.30	16.70	24.20	36.20
6	15.00	0.00	33.20	23.80	7.20	19.00	32.20
7	18.00	0.00	35.50	28.90	7.10	15.20	29.50
8	21.00	0.00	39.70	35.70	15.60	11.00	27.20
9	24.00	0.00	42.80	37.60	23.50	7.30	25.40
10	27.00	0.00	45.20	40.20	27.80	7.90	19.40
11	30.00	0.00	47.20	43.40	31.20	10.60	14.20
12	33.00	0.00	49.70	45.30	33.50	14.80	9.10

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

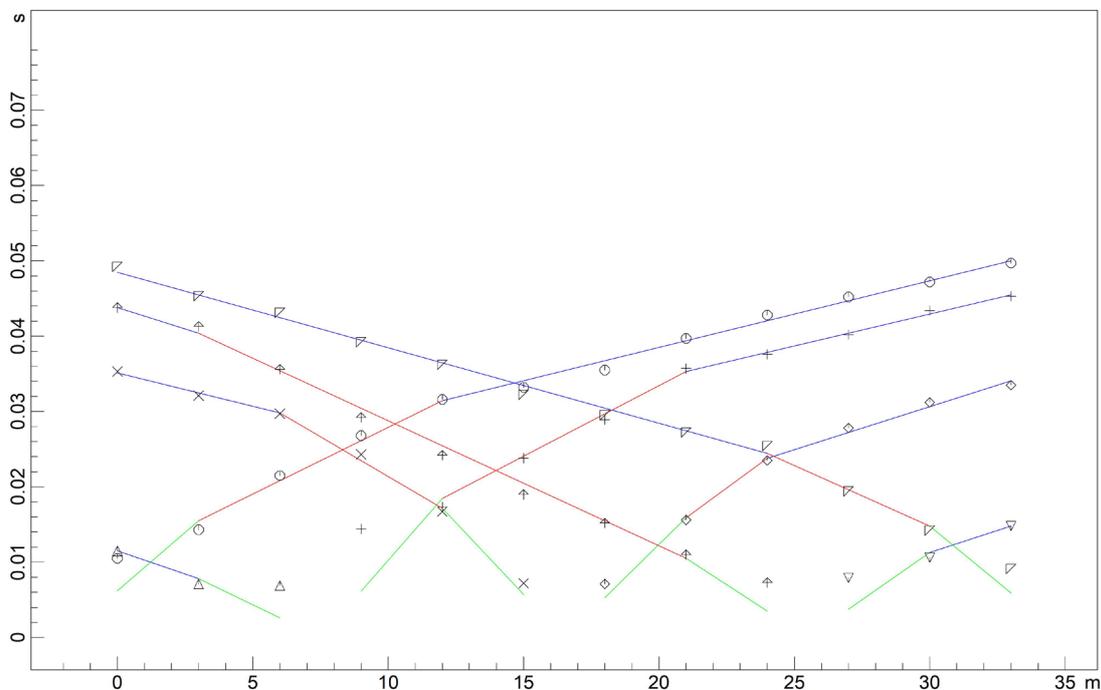
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	1.1	4.5
2	0.9	4.5
3	1.2	4.1
4	1.0	4.3
5	0.7	3.8
6	0.7	3.6
7	0.5	3.9
8	0.6	3.6
9	1.0	3.6
10	0.9	3.8
11	1.0	3.7
12	0.9	3.7

VELOCITA' DEGLI STRATI

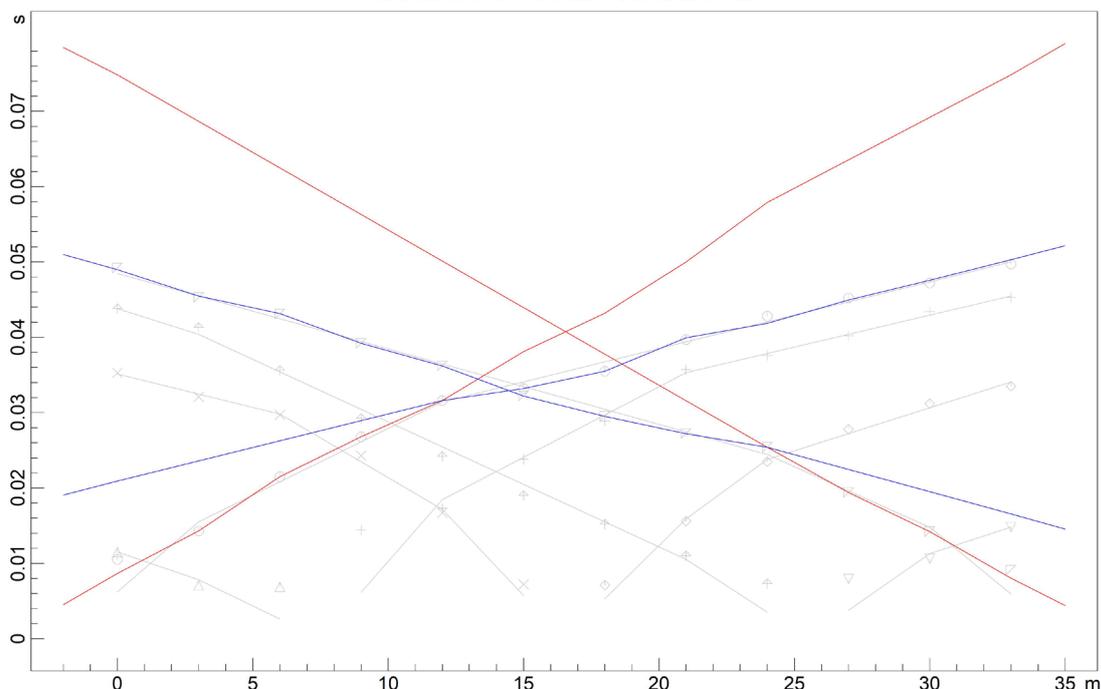
N. Strato	Velocità [m/s]
1	332.2
2	493.1
3	1075.6

Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 02 (ml 33) - [aprile 2024]

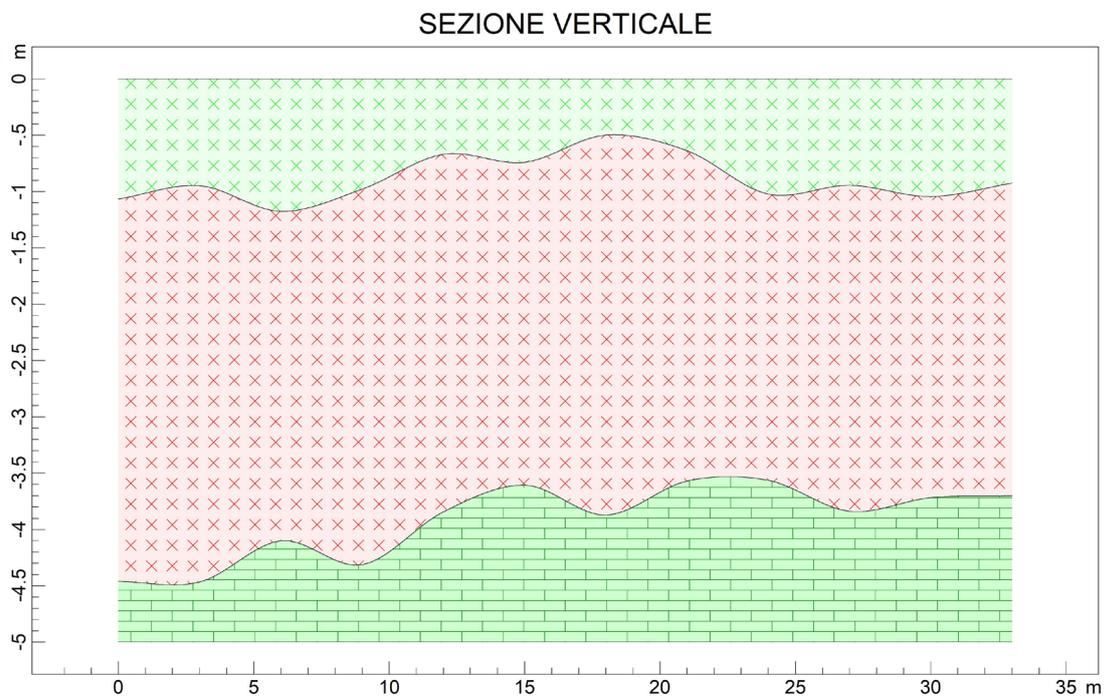
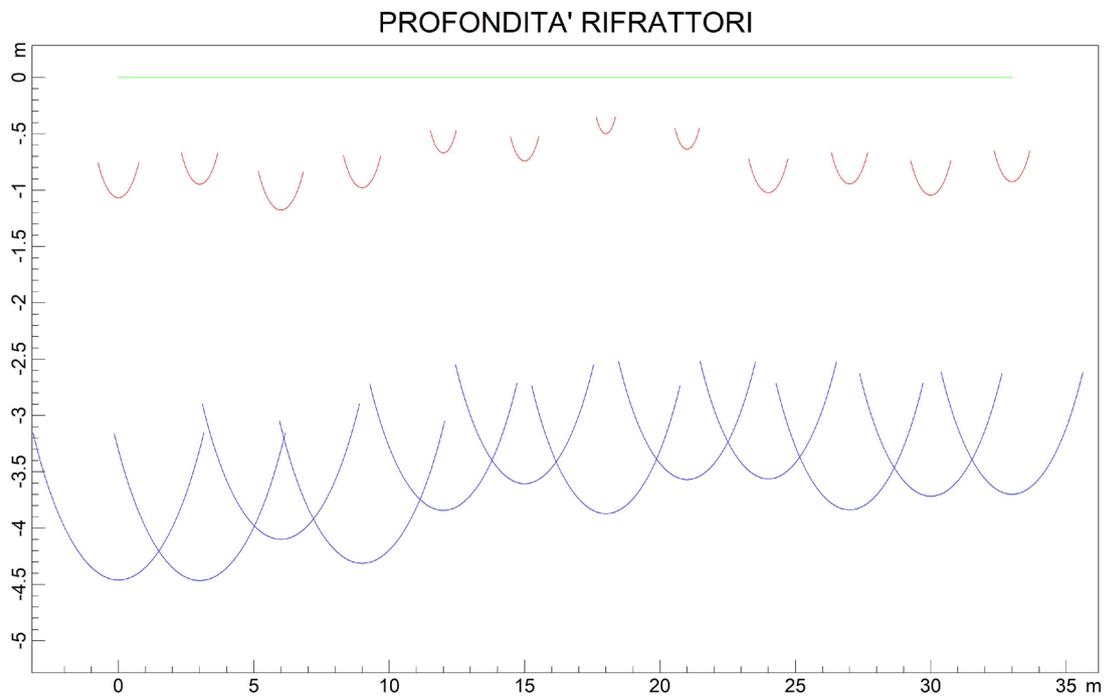
DROMOCRONE ORIGINALI



DROMOCRONE TRASLATE



Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 02 (ml 33) - [aprile 2024]



××× 332.2 m/s ××× 493.1 m/s [Grid] 1075.6 m/s

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)

Profilo sismico a rifrazione n. 03 (ml 33) - [aprile 2024]

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-2.00	0.00	2024 santangelo03-33-5s_1.dat
7.50	0.00	2024 santangelo03-33-5s_2.dat
16.50	0.00	2024 santangelo03-33-5s_3.dat
25.50	0.00	2024 santangelo03-33-5s_4.dat
35.00	0.00	2024 santangelo03-33-5s_5.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -2 [ms]	FBP da 7.5 [ms]	FBP da 16.5 [ms]	FBP da 25.5 [ms]	FBP da 35 [ms]
1	0.00	0.00	8.20	11.20	25.20	32.60	36.40
2	3.00	0.00	12.70	6.10	23.00	30.10	33.10
3	6.00	0.00	17.10	6.90	19.20	26.80	30.80
4	9.00	0.00	19.50	10.10	17.30	25.00	29.10
5	12.00	0.00	22.90	18.20	12.20	23.80	27.20
6	15.00	0.00	24.20	21.30	8.10	22.00	25.20
7	18.00	0.00	26.20	23.20	7.90	20.20	23.00
8	21.00	0.00	30.20	25.50	13.80	17.20	22.10
9	24.00	0.00	32.10	27.10	18.10	14.10	20.00
10	27.00	0.00	33.10	29.10	21.00	6.80	17.80
11	30.00	0.00	35.10	32.00	24.20	6.70	13.80
12	33.00	0.00	38.20	33.50	26.80	13.60	9.00

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

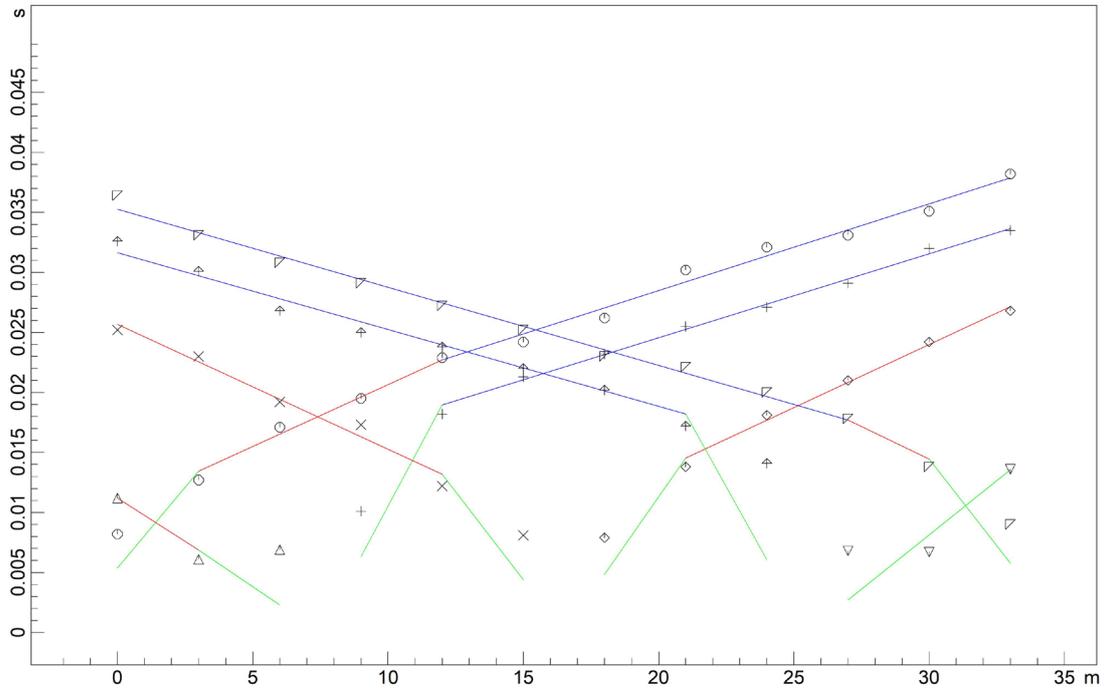
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	1.2	3.8
2	1.3	3.9
3	1.5	3.0
4	1.6	2.4
5	1.3	3.4
6	1.4	3.3
7	1.5	3.8
8	1.6	3.4
9	1.8	2.7
10	1.8	3.3
11	1.7	3.7
12	1.6	3.9

VELOCITA' DEGLI STRATI

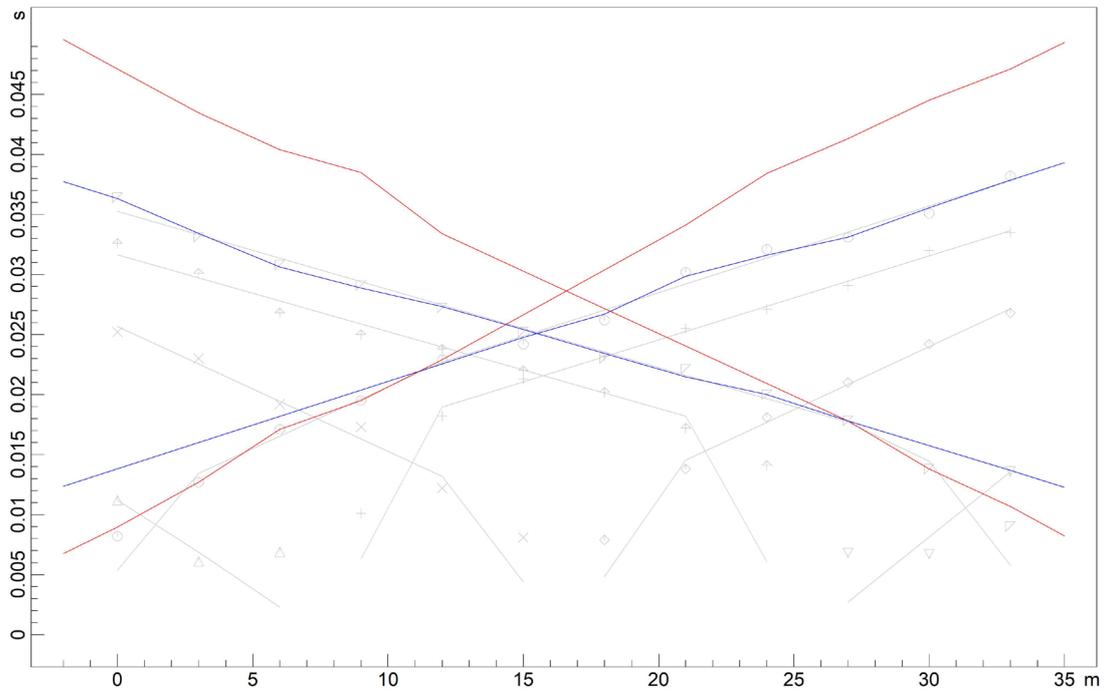
N. Strato	Velocità [m/s]
1	342.9
2	880.8
3	1444.7

Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 03 (ml 33) - [aprile 2024]

DROMOCRONE ORIGINALI

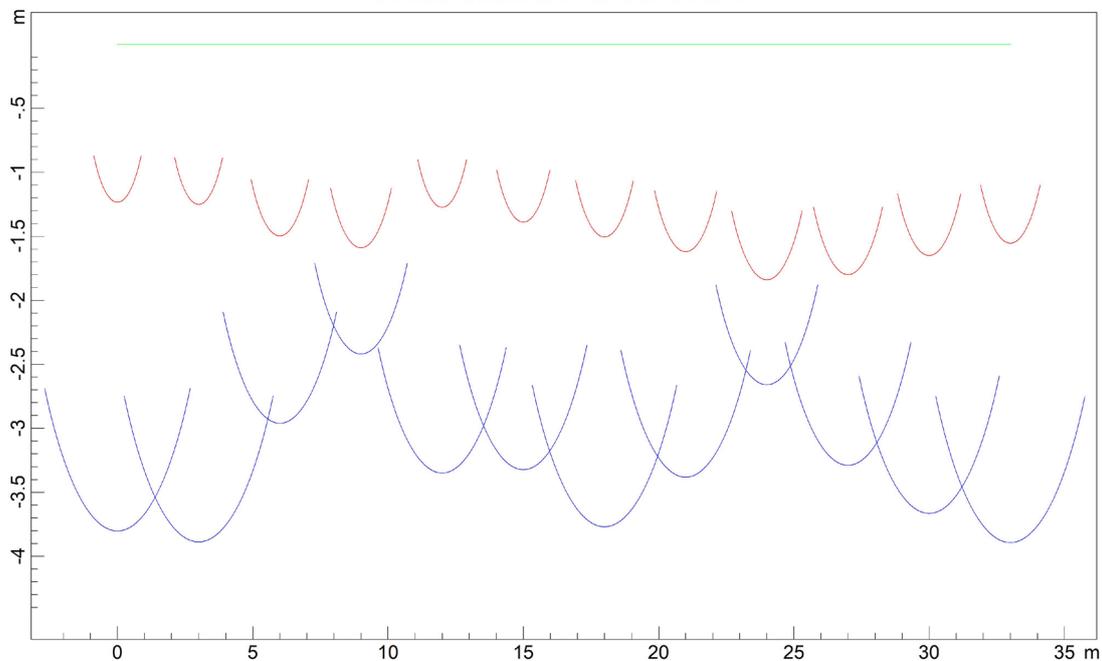


DROMOCRONE TRASLATE

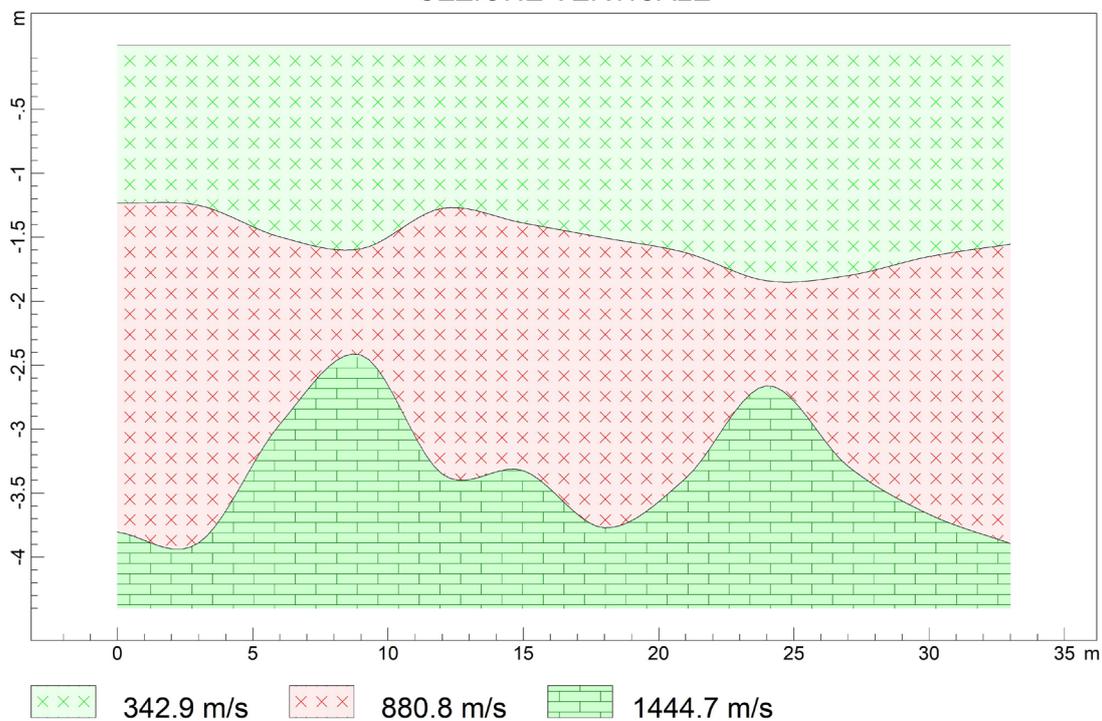


Progetto di riqualificazione spazi pubblici (Studio Geologico)
Località: Pantano - Comune di Sant'Angelo di Brolo (Prov. Messina)
Profilo sismico a rifrazione n. 03 (ml 33) - [aprile 2024]

PROFONDITA' RIFRATTORI



SEZIONE VERTICALE



 342.9 m/s  880.8 m/s  1444.7 m/s

6.2 Prospezioni sismiche MASW

Per definire l'azione sismica di progetto, mediante la valutazione della categoria del suolo di fondazione, in base alla nuova normativa tecnica vigente, sono state eseguite n° 2 prospezioni sismiche MASW ((MULTICHANNEL ANALISYS OF SURFACE WAVES)

Classificazione secondo la nuova normativa sismica O.P.C.M. 3274 e il DM 14/09/2005

La nuova normativa sismica italiana, introdotta con l'O.P.C.M. 3274 del 20/03/03, successivamente ripresa nel testo unico sulle costruzioni del 14/09/2005, 14.01.2008 e NTC2018 definisce l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori convenzionali di a_g assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali.

In presenza di suoli di tipo B, C, D, E, il moto sismico in superficie risulta in genere modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza delle categorie di suolo anzidette la normativa introduce un fattore di amplificazione S ed un periodo di oscillazione T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice caratterizzato da smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale. La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Classificazione sismica dei suoli con il metodo M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo. Recenti studi, infatti, hanno consentito di creare un modello matematico basandosi sull'analisi delle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

Il metodo si basa sull'analisi spettrale del sismogramma, mediante trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive in quanto si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo alle varie lunghezze d'onda (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sui primi metri di profondità invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano spessori maggiori di terreno.

Strumentazione utilizzata, disposizione spaziale dei geofoni ed interpretazione

L'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione dell'indagine MASW è consistita in un sismografo portatile della PASI modello 12S12L con un sistema di rilevazione del segnale costituito da una serie di 12x2 (24 geofoni) a 4,5 hz. La disposizione dei geofoni è stata di tipo lineare con punti di scoppio e ricevitori collocati lungo una linea retta con distanza tra i geofoni di 2,0 m, e la sorgente collocata ad una distanza minima di 3 metri dal primo geofono, esternamente all'array.

Il campionamento è stato di 1 ms e la durata di acquisizione pari a 4096 ms.

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW* 4.1.5 Standard (www.eliosoft.it). L'interpretazione si è articolata sinteticamente nelle seguenti tre fasi:

1° FASE: passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata $F - K$;

2° FASE: estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante interpretazione dello spettro $F-K$;

3° FASE: inversione, ovvero nella generazione di un modello sintetico a cui si associa una curva di dispersione teorica ben sovrapposta a quella sperimentale.

I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS). Il *dataset* appare dominato dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{s30} e V_{s30} equivalente.

In allegato, qui di seguito, sono riportati i grafici relativi alle suddette fasi.

TABULATI winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves - Main results

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

Profilo sismico (Masw n° 1) [stendimento ml. 46 – 24 geofoni]

Date: aprile 2024 - Dataset: 2024sangelobrolomasw01.DAT

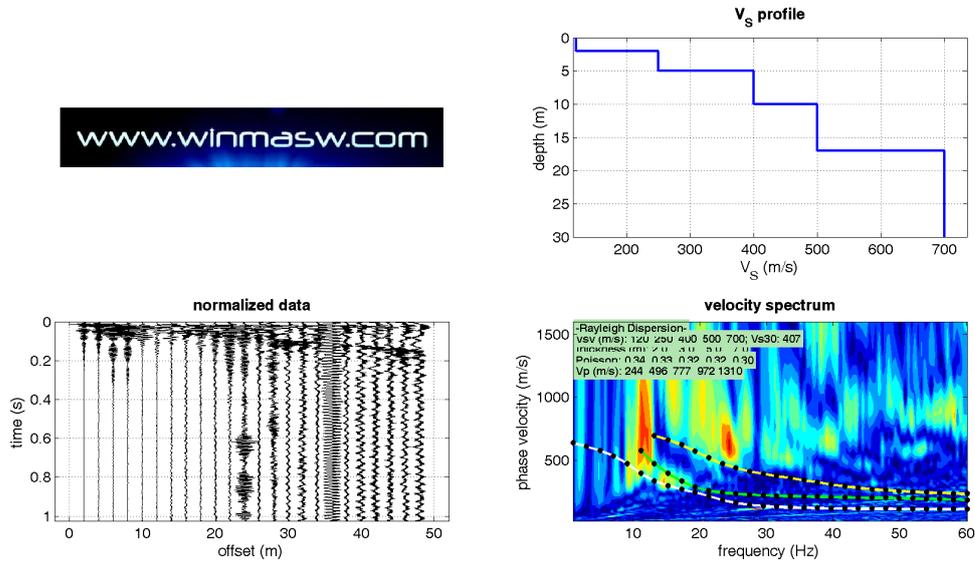


Figura1: velocity spectrum e dispersion curve – Vs profile

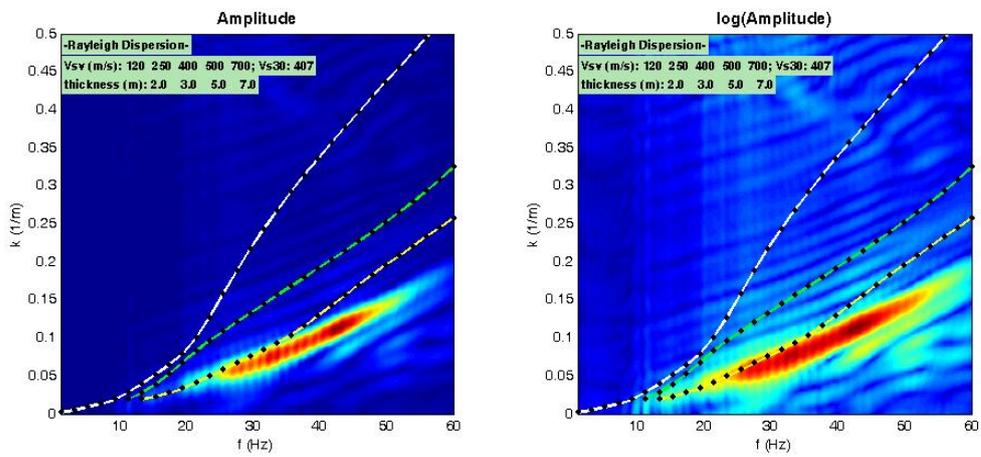


Figura 2: f-k spectrum

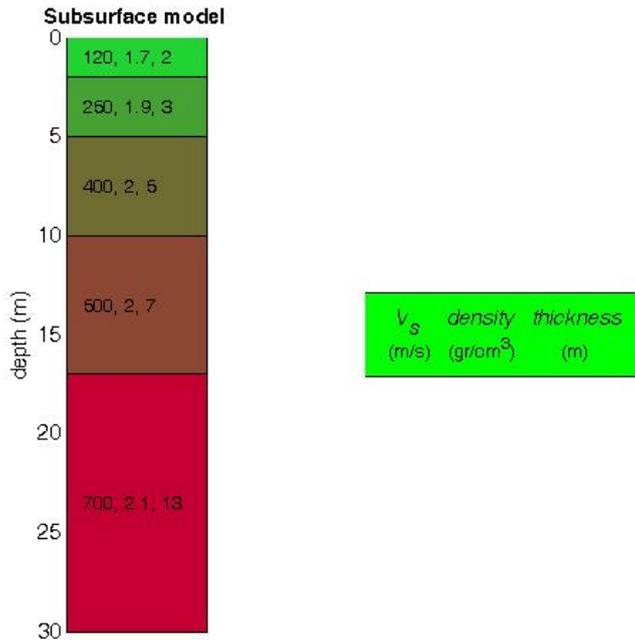


Figura 3: subsurface model

Mean model

V_s (m/s): 120 250 400 500 700 - Thickness (m): 2.0, 3.0, 5.0, 7.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.71 1.88 1.99 2.05 2.12

Shear modulus (MPa) (approximate values): 25 118 319 512 1039

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V_p and Poisson (please, see manual)

V_p (m/s): 244 496 777 972 1310 - Poisson: 0.34 0.33 0.32 0.32 0.30

V_{s30} = V_s equivalente (m/s): 407

Dalla normativa vigente (NTC2018), l'area in esame rientra nella: <CATEGORIA B>

"B - "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

TABULATI winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves - Main results
winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com
 Profilo sismico (Masw n° 2) [stendimento ml. 46 – 24 geofoni]
 Date: aprile 2024 - Dataset: 2024sangelobrolomasw02.DAT

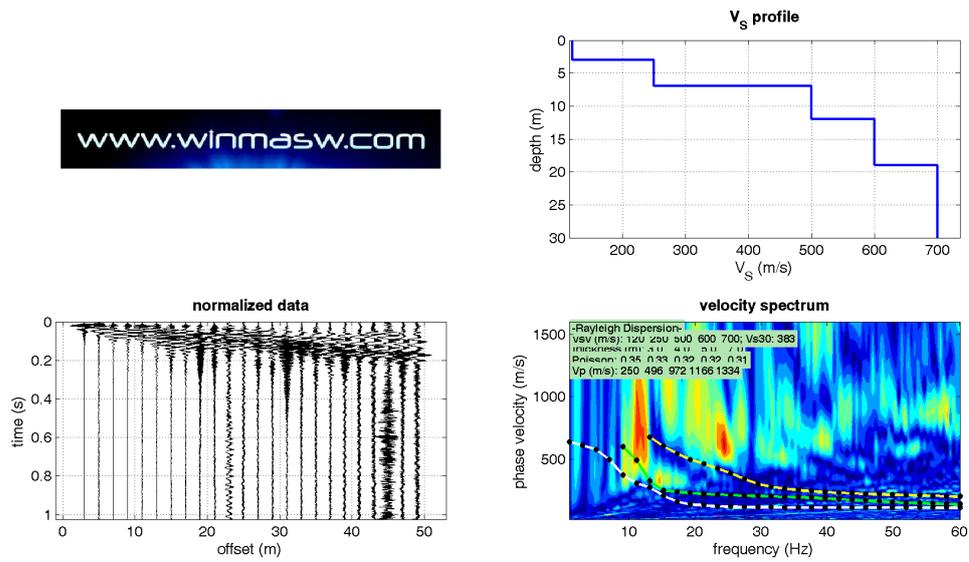


Figura1: velocity spectrum e dispersion curve – Vs profile

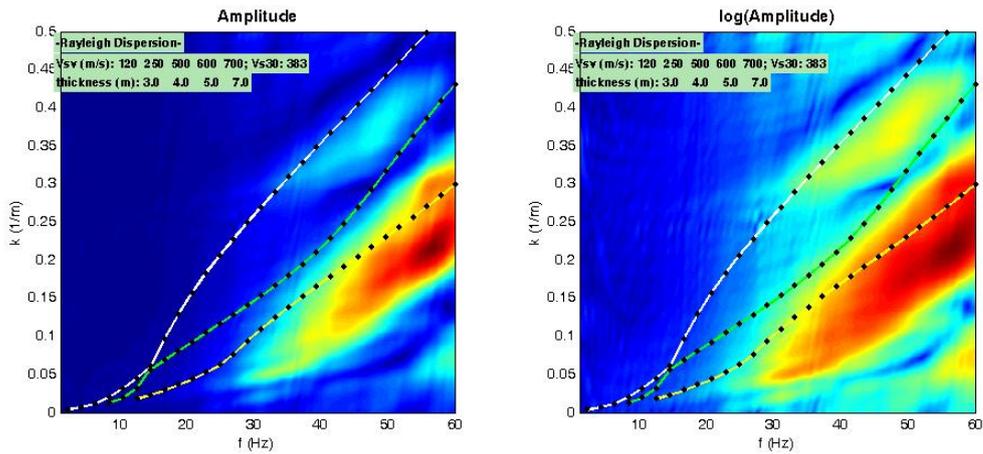


Figura 2: f-k spectrum

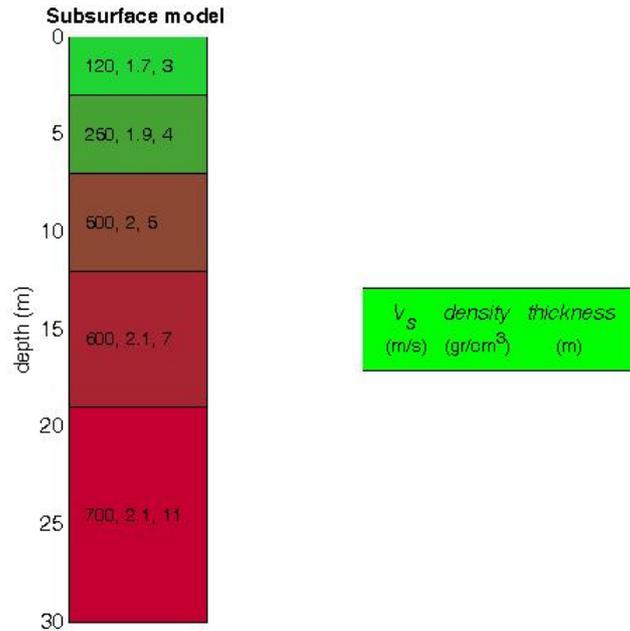


Figura 3: subsurface model

Mean model

V_s (m/s): 120 250 500 600 700 - Thickness (m): 3.0, 4.0, 5.0, 7.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.72 1.88 2.05 2.09 2.12

Shear modulus (MPa) (approximate values): 25 118 512 753 1041

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V_p and Poisson (please, see manual)

V_p (m/s): 250 496 972 1166 1334 - Poisson: 0.35 0.33 0.32 0.32 0.31

V_{s30} = V_s equivalente (m/s): 383

Dalla normativa vigente (NTC2018), l'area in esame rientra nella: <CATEGORIA B>

“B - “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”

6.3 Prove HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una

buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .



Foto di postazione puntuale di sismica passiva HVSR

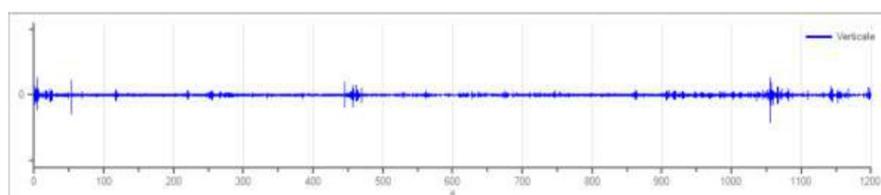
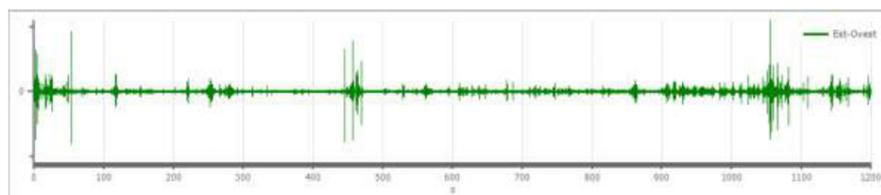
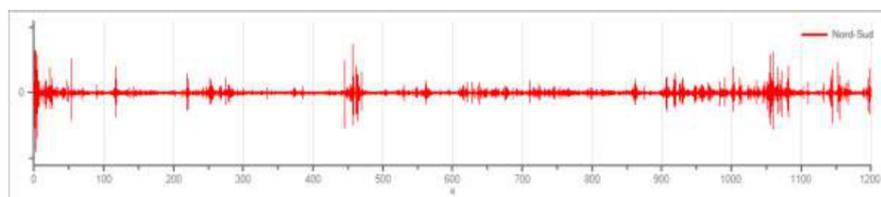
HVSR N. 1

Tracce in input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 250.00 Hz
Numero campioni: 300000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:



Finestre selezionate

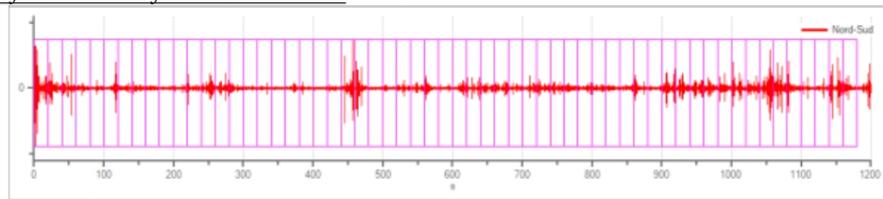
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 59
Numero finestre incluse nel calcolo: 59
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamto: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamto: 10.00 %

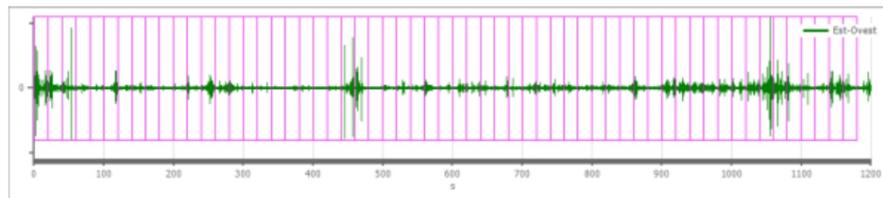
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa
38	740	760	Inclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Inclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	960	980	Inclusa
50	980	1000	Inclusa
51	1000	1020	Inclusa
52	1020	1040	Inclusa
53	1040	1060	Inclusa
54	1060	1080	Inclusa
55	1080	1100	Inclusa
56	1100	1120	Inclusa
57	1120	1140	Inclusa
58	1140	1160	Inclusa
59	1160	1180	Inclusa

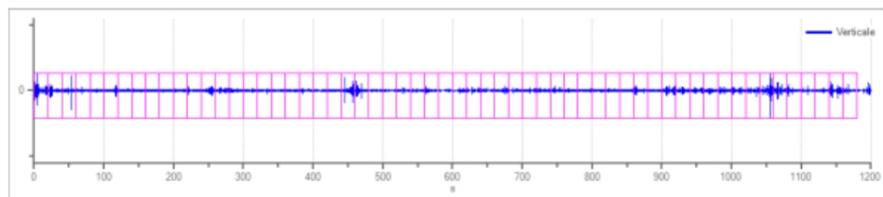
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

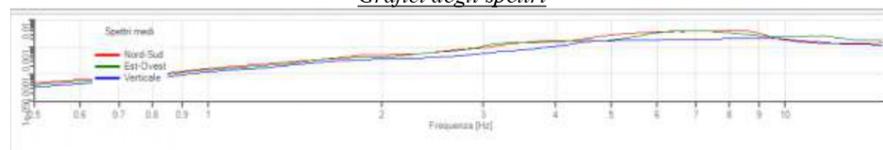


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

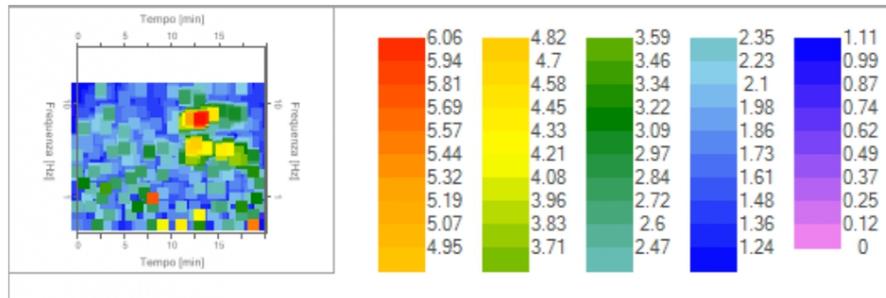


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

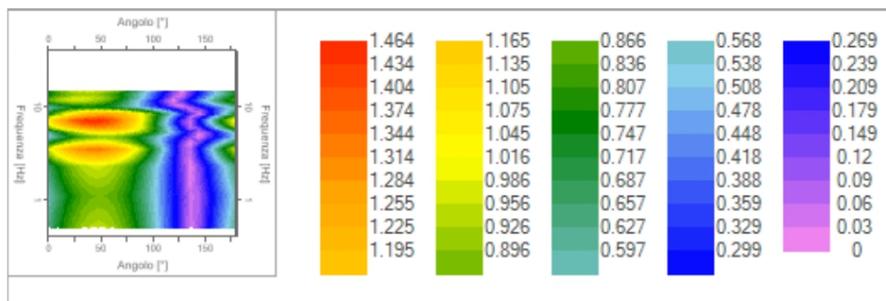
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

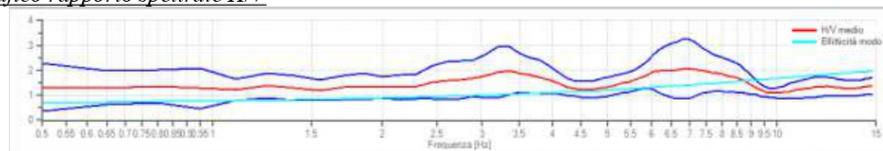
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 6.95 Hz \pm 0.58 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

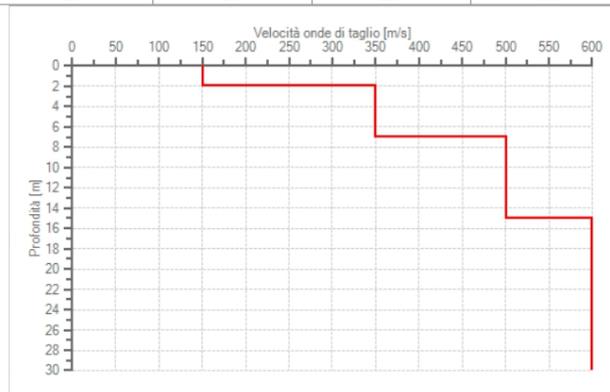
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14.75 Hz
 Valore di disadattamento: 0.40
Valore Vseq: 437.20 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2	18	0.34	150
2	2	5	19	0.3	350
3	7	8	20	0.3	500
4	15	15	20	0.3	600



Profilo delle velocità delle onde di taglio

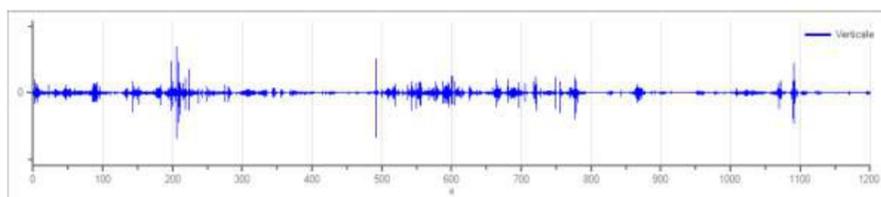
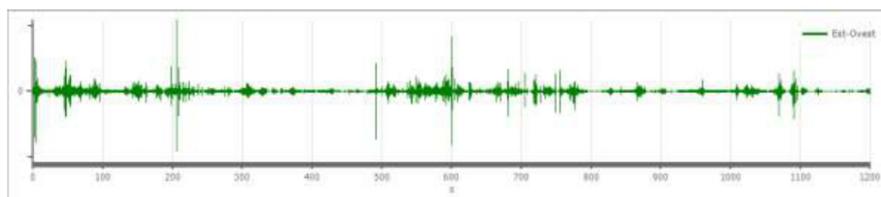
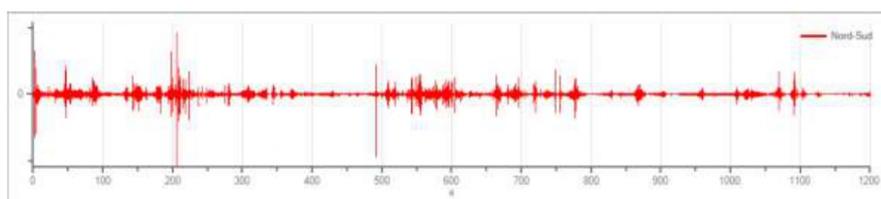
HVSR N. 2

Tracce in input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 250.00 Hz
Numero campioni: 300000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:



Finestre selezionate

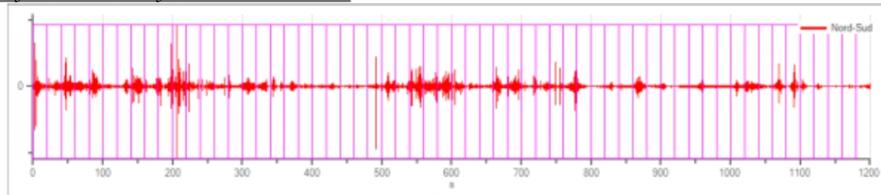
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 59
Numero finestre incluse nel calcolo: 59
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

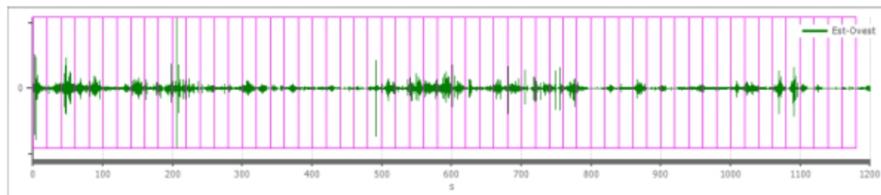
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa
38	740	760	Inclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Inclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	960	980	Inclusa
50	980	1000	Inclusa
51	1000	1020	Inclusa
52	1020	1040	Inclusa
53	1040	1060	Inclusa
54	1060	1080	Inclusa
55	1080	1100	Inclusa
56	1100	1120	Inclusa
57	1120	1140	Inclusa
58	1140	1160	Inclusa
59	1160	1180	Inclusa

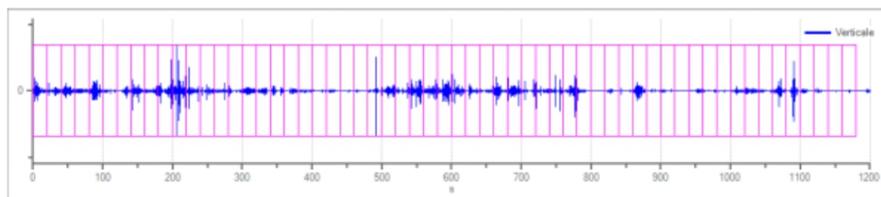
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

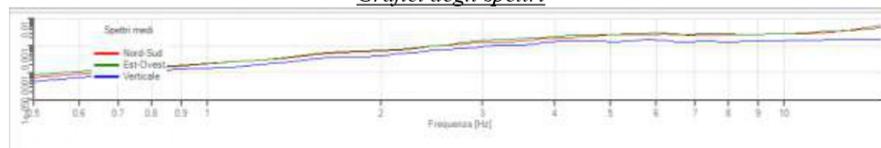


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

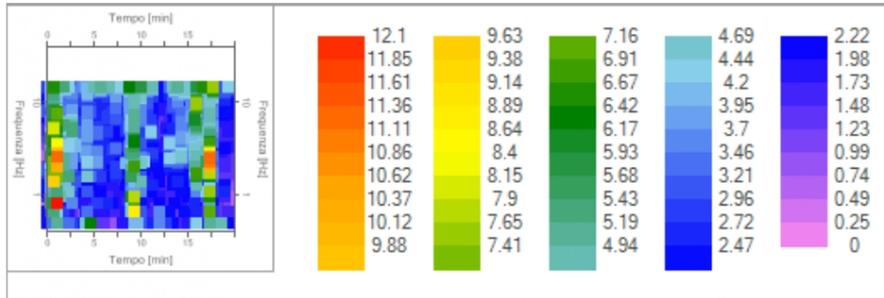


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

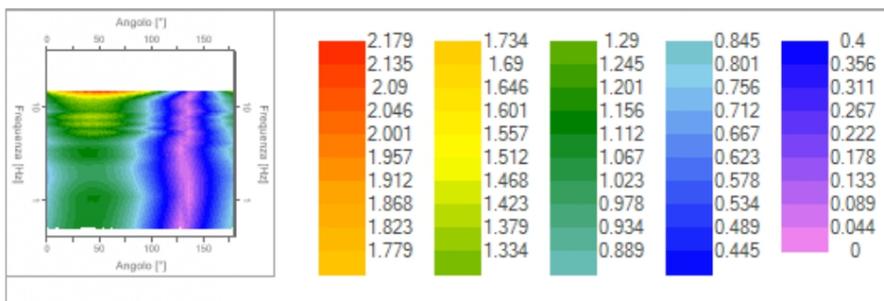
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

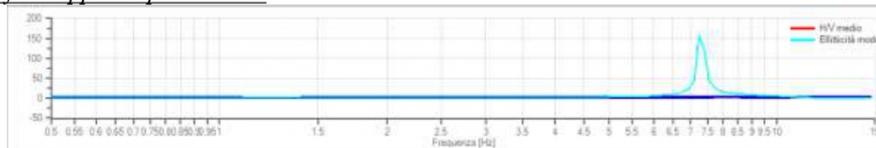
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 14.75 Hz \pm 0.51 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica

Esito

$f_0 > 10/l_w$

Ok

$n_c(f_0) > 200$

Ok

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$.

Ok

$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$.

$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$

OK

$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$

OK

$A_0 > 2$

Ok

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

Ok

$\sigma_f < \varepsilon(f)$

Ok

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Ok

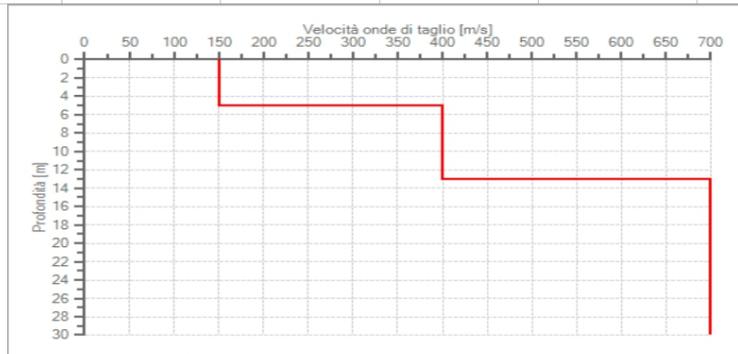
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 7.25 Hz
 Valore di disadattamento: -1.00
 Valore Vseq: 386.50 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	5	18	0.35	150
2	5	8	19	0.31	400
3	13	17	20	0.28	700



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

6.4 Prove penetrometriche

Nell'area in esame sono state eseguite n° 5 prove penetrometriche dinamiche e continue, mediante penetrometro dinamico Sunda DL030. Le prove hanno consentito la verifica della successione litologica nell'intera area interessata dagli insediamenti progettuali; in particolare si sono rivelate utili, unite all'indagine sismica, per la ricostruzione dell'andamento plani-altimetrico del substrato roccioso.



Foto di prova penetrometrica dinamica continua

La successione riscontrata nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche individua essenzialmente 3 orizzonti litologici, così sintetizzabili nella seguente tabella riepilogativa:

Tablelle riepilogative delle prove penetrometriche dinamiche

N° 1	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	3.00	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa, da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 2	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	4.80	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

N° 3	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	1.50	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	3.10	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

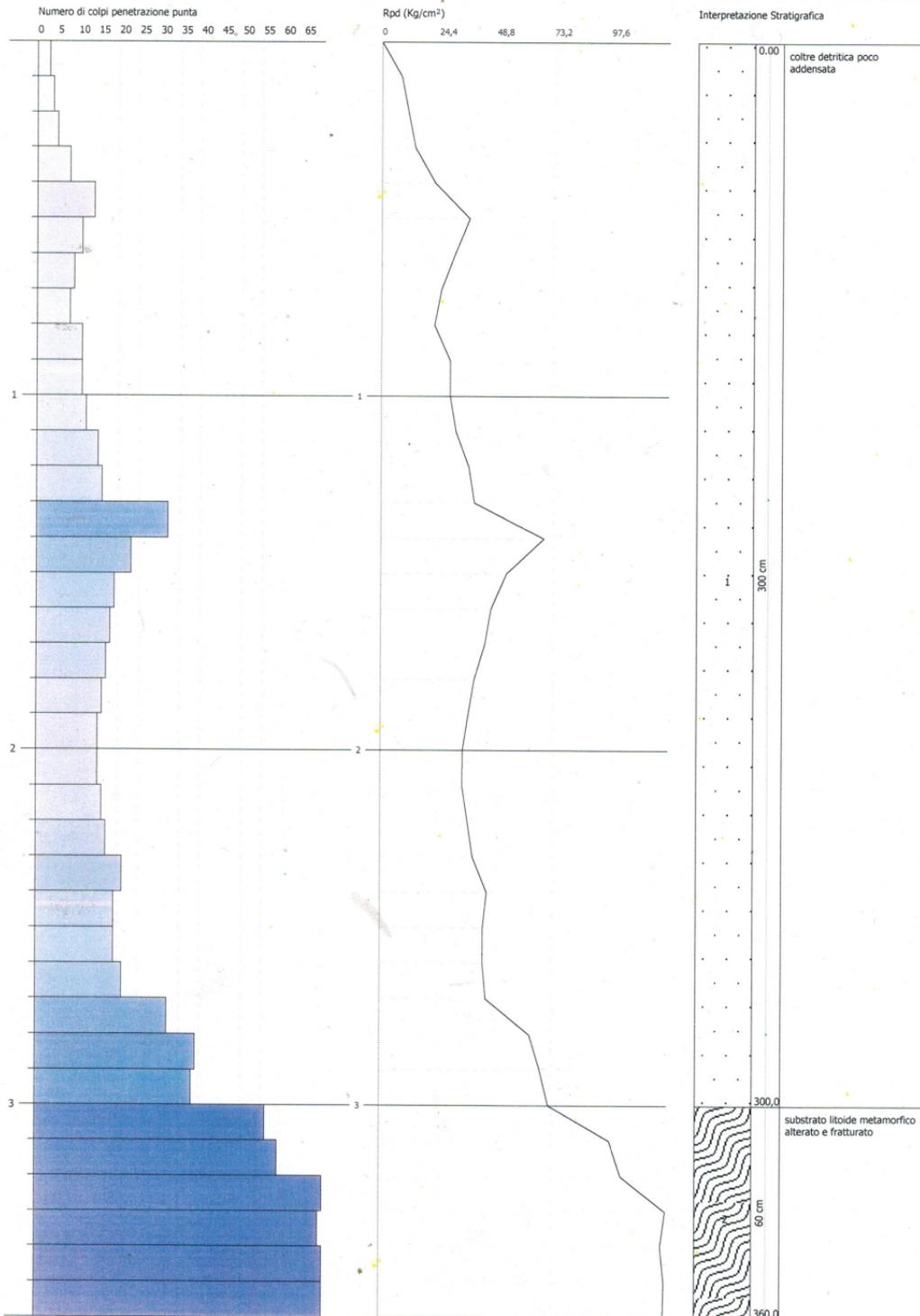
N° 4	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	2.40	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	3.00	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

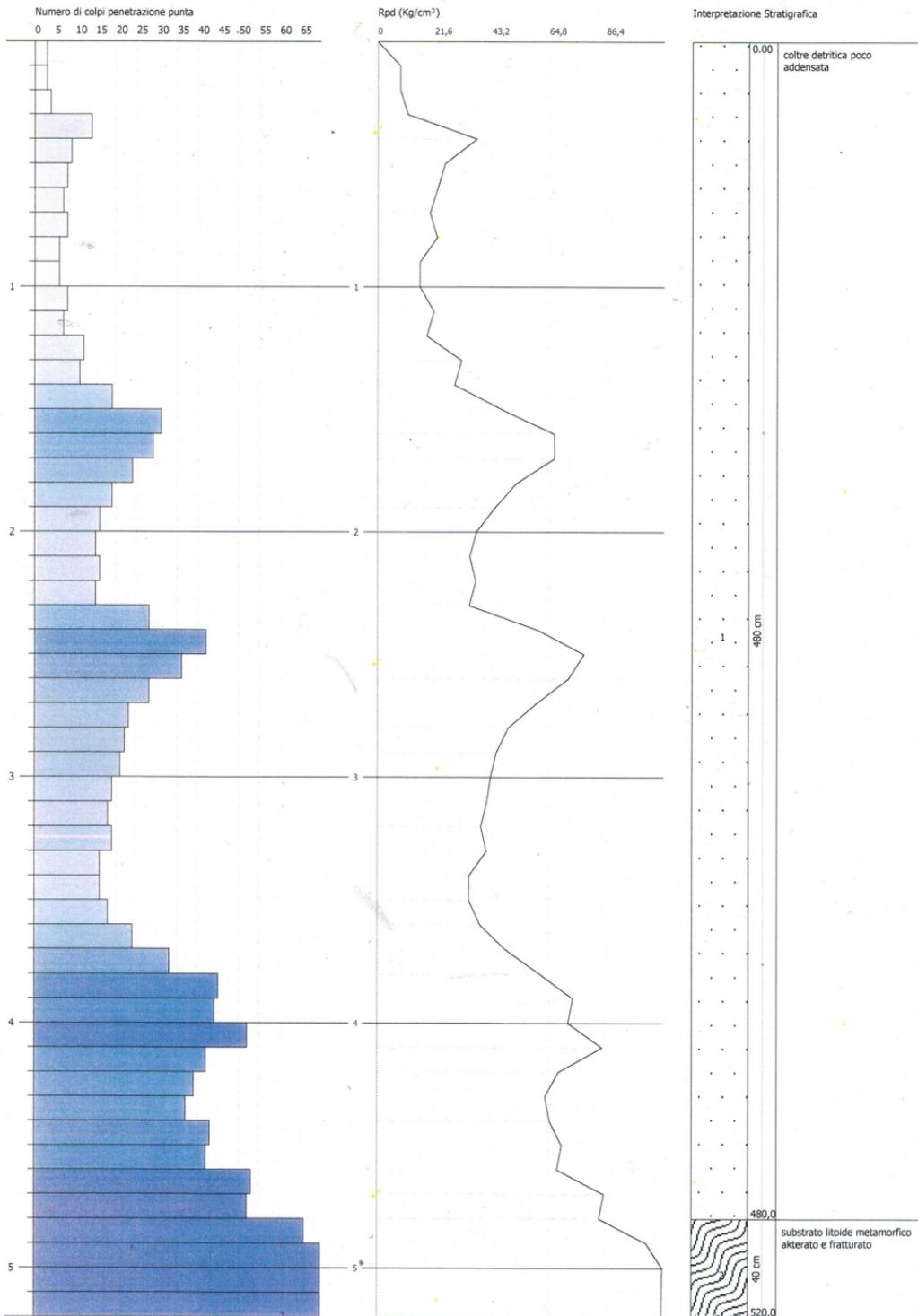
N° 5	Orizzonte	Spessore (metri)	Descrizione litologica
	1 (CD1)	2.80	Coltre detritica superficiale sabbioso-limosa da poco a mediamente addensata costituita anche da terreni di riporto.
	2 (CD2)	2.90	Coltre detritica addensata costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi con clasti eterometrici.
	3 (SMA)	indefinito	Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato.

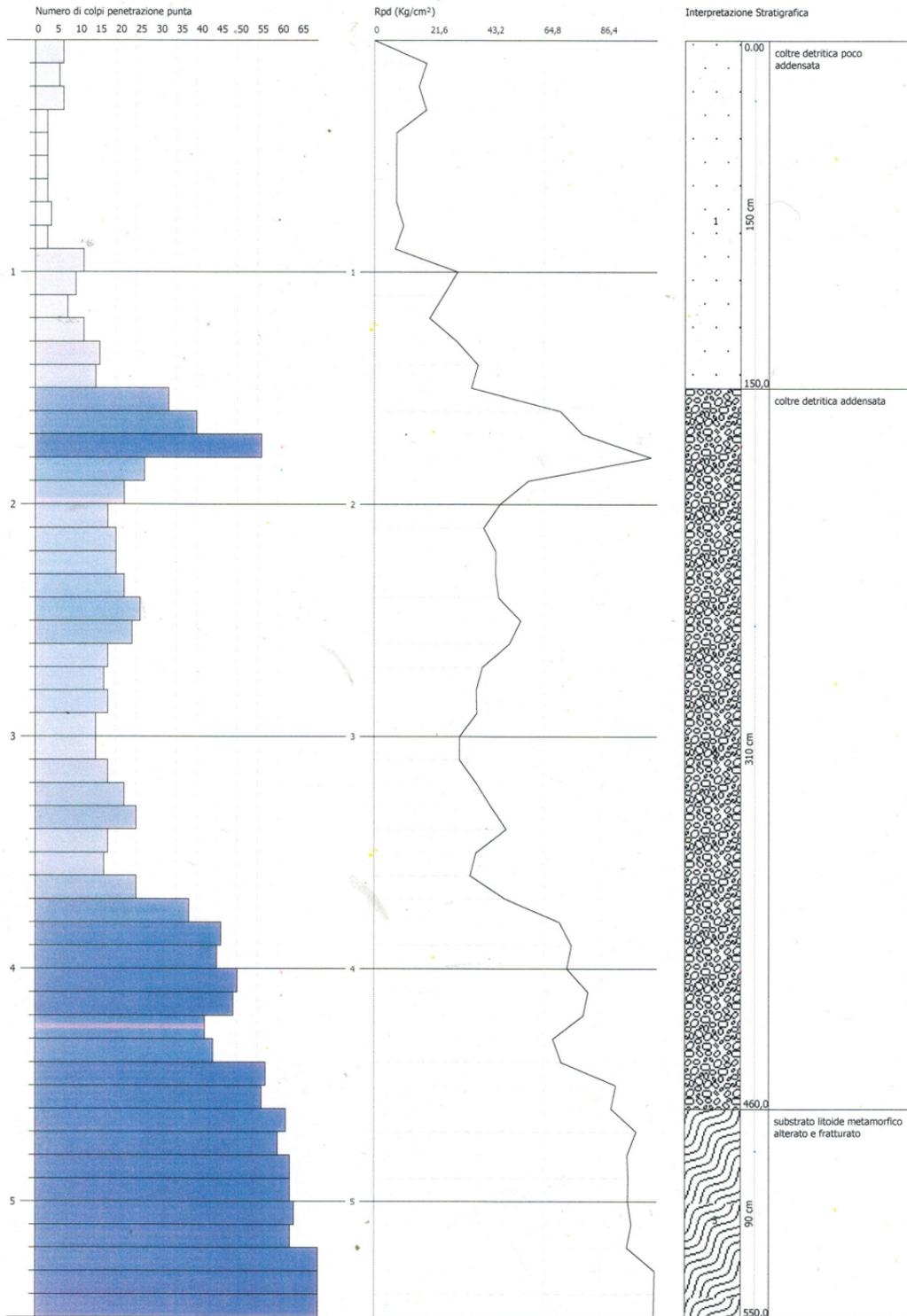
Le prove consistono nella registrazione del numero di colpi N necessario per l'infissione decimetrica dello scandaglio penetrometrico; i valori riscontrati sono direttamente proporzionali al grado di addensamento dei terreni investigati che, a sua volta, è relazionabile con la resistenza al taglio e, conseguentemente, con l'angolo di attrito dei litotipi geotecnicamente investigati.

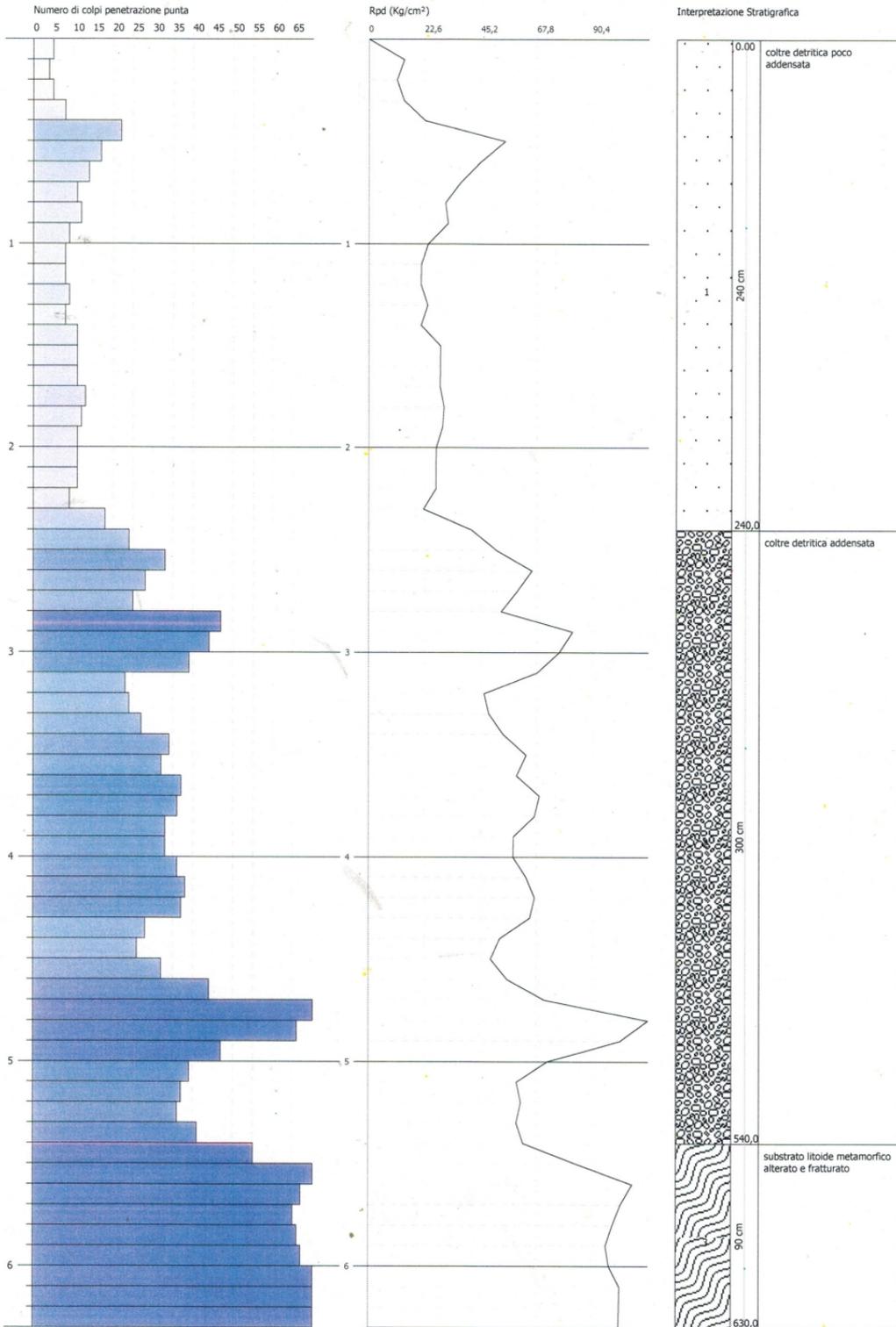
Le prove sono state approfondite sino al limite strumentale, in corrispondenza di livelli particolarmente addensati o al contatto con il substrato roccioso metamorfico, che non hanno permesso l'ulteriore infissione dello scandaglio penetrometrico.

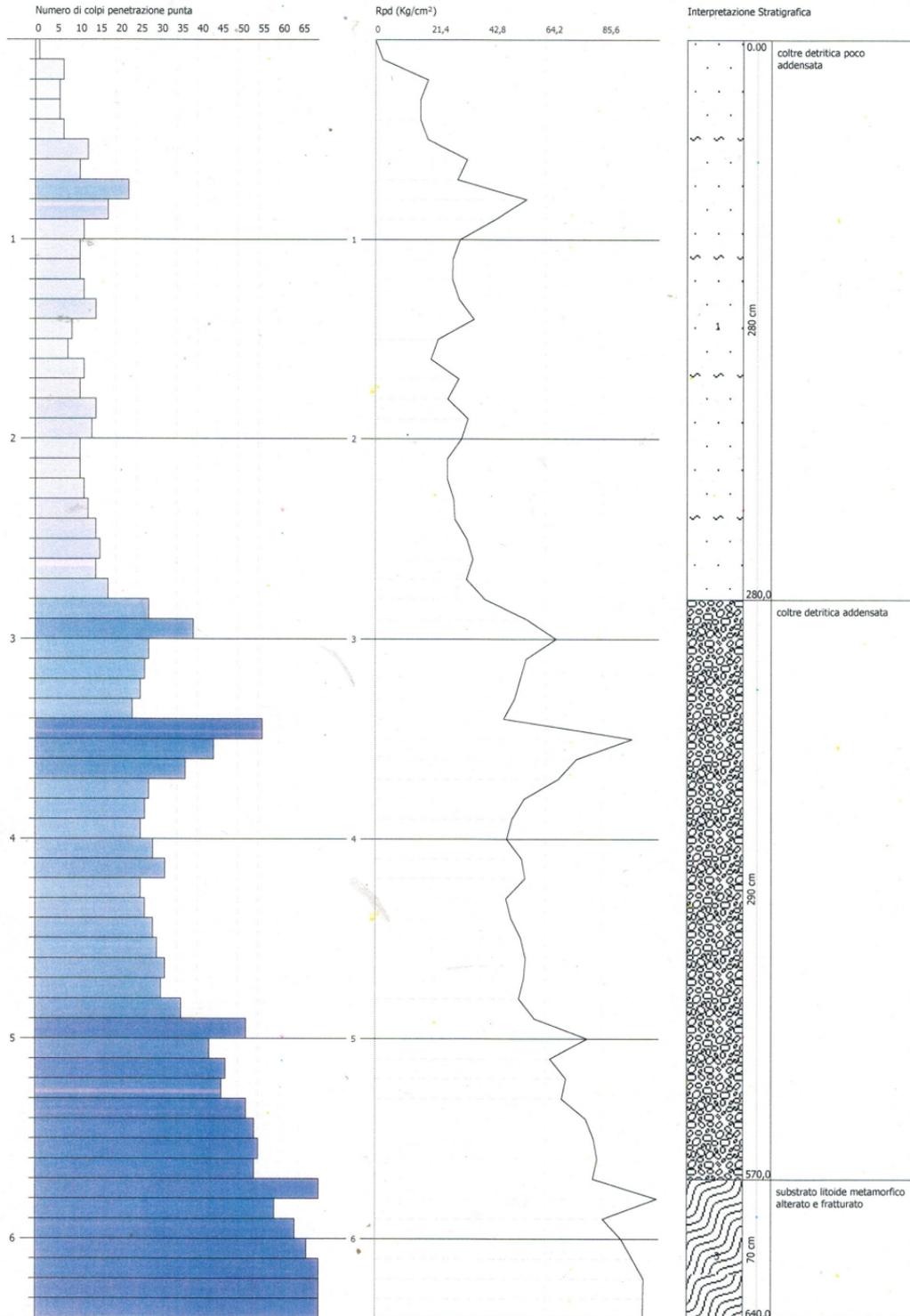
I diagrammi di avanzamento e le relative colonne stratigrafiche di dettaglio sono riportati nei rispettivi allegati, mentre l'ubicazione delle prove si trova nella planimetria allegata.











STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.5**Strato1: Coltre detritica da poco a mediamente addensata****Strato2: Coltre detritica addensata****Strato3: Substrato litoide metamorfico alterato e fratturato****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 3	51,09	6,40	Terzaghi-Peck	3,45

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato 3	51,09	6,40	Robertson (1983)	102,18

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 3	51,09	6,40	Stroud e Butler (1975)	234,40

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 3	51,09	6,40	Apollonia	510,90

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 3	51,09	6,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 3	51,09	6,40	Meyerhof ed altri	2,50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 3	51,09	6,40	Meyerhof ed altri	2,50

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Gibbs & Holtz 1957	65,73
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Gibbs & Holtz 1957	91,18

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	De Mello	26,51
Strato 2	27,94	5,70	27,94	De Mello	28,65

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Bowles (1982) Sabbia Media	214,70

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46,34
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	84,85

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Meyerhof ed altri	1,70
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Meyerhof ed altri	2,11

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	9,19	2,80	9,19	(A.G.I.)	0,34
Strato 2	27,94	5,70	27,94	(A.G.I.)	0,3

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Ohsaki (Sabbie pulite)	522,91
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Ohsaki (Sabbie pulite)	1487,19

Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Ohta & Goto (1978) Limi	107,146
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Ohta & Goto (1978) Limi	160,915

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Navfac 1971-1982	1,93
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Navfac 1971-1982	5,32

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato 1	9,19	2,80	9,19	Robertson 1983	18,38
Strato 2	27,94	5,70	27,94	Robertson 1983	55,88

Piraino, aprile 2024

Dr. Geologo Antonino Coletta



Antonino Coletta

Collaboratore

Dr. Geologo Franco Miragliotta

