



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



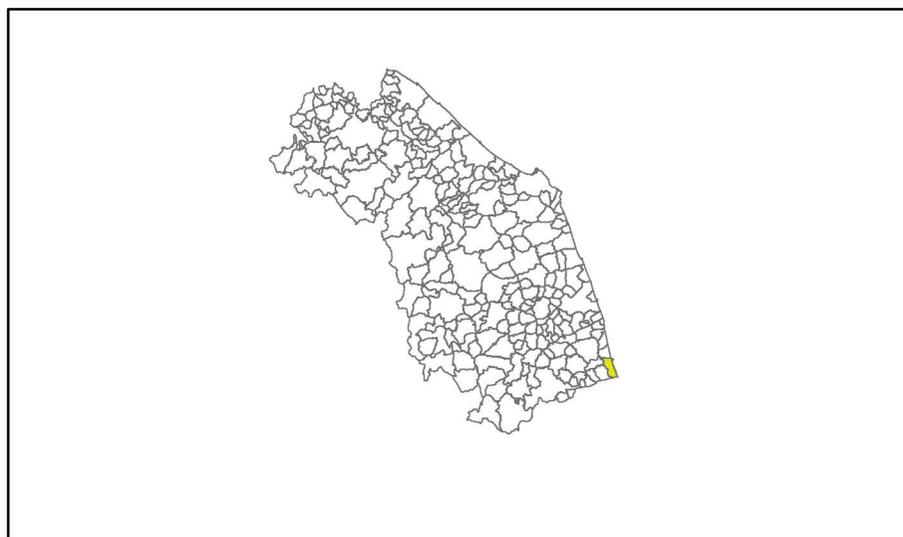
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Prevenzione del rischio sismico - OCDPC n. 780/2021
Programma regionale degli studi di Microzonazione Sismica
Realizzazione studi di approfondimento di Livello 3
sulle aree di attenzione per instabilità di versante

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Marche Comune di San Benedetto del Tronto



Soggetti Realizzatori

Geol. Primo FALCIONI

S.A.G.I. s.r.l.
Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria
Via Pasubio, 20
63074 San Benedetto del Tronto (AP)
Tel. e Fax 0735.757580-757588

Geol. Roberto D'AMBROSIO

Geol. Massimiliano MARCHETTI
(Geologo Junior)

Data e revisione: 15.01.2023

“aggiornamento a seguito di
integrazioni giugno 2023”

INDICE

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	7
2.1. Normativa di Riferimento e Classificazione sismica dell'area di studio	7
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	14
3.1. Cartografia di riferimento	14
3.2. Inquadramento geologico e stratigrafico dell'area di studio	16
3.3. Inquadramento geomorfologico dell'area di studio	30
4. Dati geotecnici e geofisici.....	36
4.1. Parametri geotecnici e geofisici da prove in situ	36
4.2. Misura dei microtremori a stazione singola (HVSR).....	42
4.3. Parametri geotecnici e geofisici da prove di laboratorio.....	46
5. Modello del sottosuolo.....	49
5.1. Progetti di ricerca di riferimento	49
5.2. Sezioni Geologico - Tecniche	54
5.3. Unità geologico-tecniche	59
6. Interpretazioni e incertezze	62
6.1. Interpretazioni relative all'aggiornamento dei Livelli 1 e 2.....	63
6.1.1. Aggiornamento degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2	63
7. Metodologie di elaborazione e risultati	66
8. Elaborati cartografici.....	67
8.1. Carta delle indagini	67
8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)	68
8.3. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta MOPS)	78
8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	78
8.3.2. Aree caratterizzate da instabilità di versante	79
8.3.3. Zone di attenzione per le instabilità	79
8.4. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)	82
8.5. Commenti finali e criticità.....	87
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	88
9.1. Eventi sismici storici.....	88
10. Allegati.....	92

1. Introduzione

La Relazione Illustrativa è un documento tecnico che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per gli studi di microzonazione sismica. La struttura della Relazione Illustrativa segue quanto indicato nel paragrafo 1.6.4 degli ICMS (2008) ^[1, 2], nelle pagine 50/51 degli StandardMS_4.2 ^[3] e nel documento “raccomandazioni e fac” rilasciato dalla Commissione Tecnica ai professionisti incaricati.



Figura 1 - Ubicazione del comune di San Benedetto del Tronto (punto rosso) in provincia di Ascoli Piceno, Regione Marche ^[4].

Il comune di San Benedetto del Tronto (AP) è un comune costiero adriatico che confina a nord con il comune di Grottammare (AP), a sud con il comune di Martinsicuro (TE) e ad ovest con i comuni di Acquaviva Picena (AP) e di Montepandone (AP).

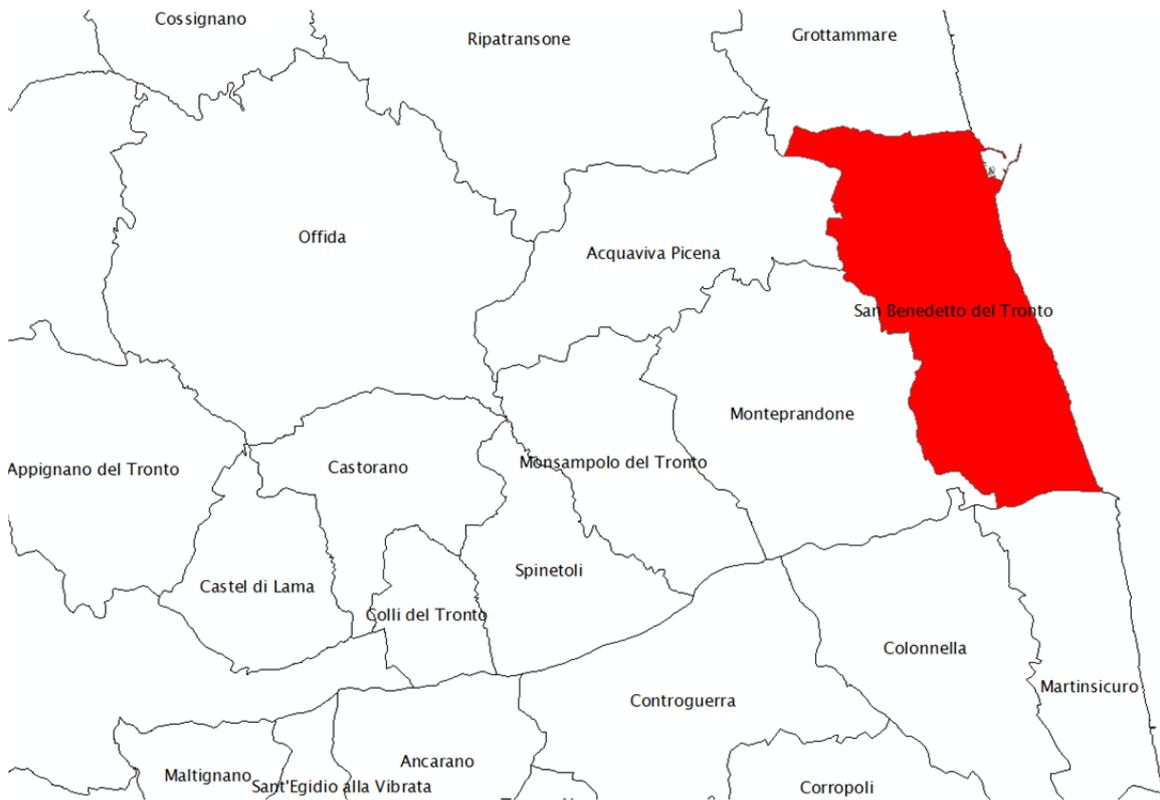


Figura 2 - Confini amministrativi del Comune di San Benedetto del Tronto.

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di San Benedetto del Tronto è stato redatto lo *studio di approfondimento di livello 3 su due aree di attenzione per instabilità di versante*:

- un movimento franoso di seguito denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” avente un'estensione areale di 11.2651 ettari (\approx 11 ha);
- un secondo movimento franoso di seguito denominato “frana ex-Cava di Argilla” avente un'estensione areale di 2.752575 ettari (\approx 3 ha).

Per la scelta delle frane da indagare sono stati rispettati i seguenti criteri geomorfologici:

- aree in frana per scivolamento (no colamenti, no crolli) su pendii in terra;
- aree franose inattive, relitte, stabilizzate, quiescenti o sospese; corrispondenti, dove presente, a frane PAI con pericolosità P1-P2.

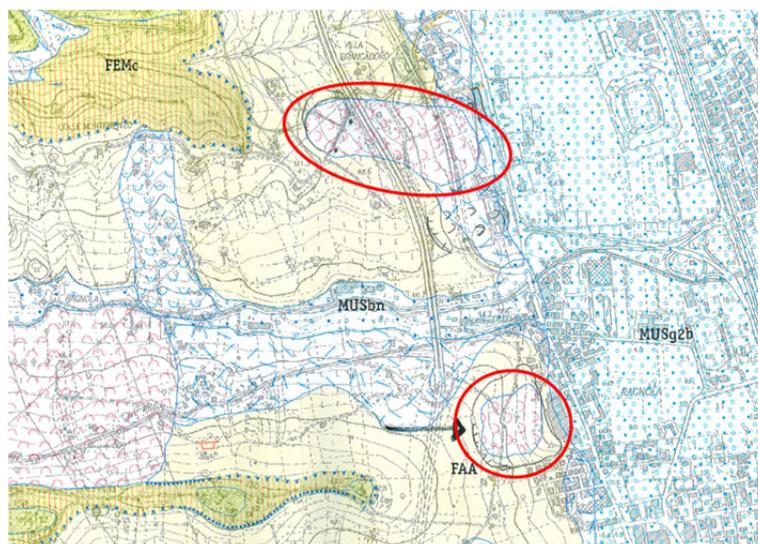


Figura 3 - Aree in frana scelte per il presente *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*. I movimenti franosi scelti sono cartografati nella Carta Geologica Regionale, edizione CTR, scala 1:10.000, Sezione 327.070 San Benedetto del Tronto Sud come frane in evoluzione.

Lo *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è finalizzato alla valutazione della pericolosità sismica locale attraverso la ri-perimetrazione dei corpi di frana, l'analisi di Risposta Sismica Locale 1D (RSL 1D), la stima dei valori del fattore di amplificazione calcolati sugli spettri in pseudoaccelerazione negli intervalli di integrazione 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, l'individuazione di zone del territorio attorno alle frane caratterizzate da comportamento sismico omogeneo e dividendo pertanto l'area di studio in zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali del moto sismico e zone suscettibili di instabilità; tale studio rappresenta un elemento essenziale nell'analisi della pericolosità sismica, necessaria nella valutazione del rischio sismico e dunque nelle scelte della pubblica amministrazione in materia di programmazione territoriale, di pianificazione urbanistica, di pianificazione delle emergenze e

della normativa tecnica per la progettazione. Alla data dell'incarico del presente studio, per il Comune di San Benedetto del Tronto sono stati redatti i livelli 1 e 2 su ampia parte del territorio comunale. Lo *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è un livello di maggiore approfondimento, rispetto ai precedenti, su due aree limitate del territorio.

Il contratto con il Comune di San Benedetto del Tronto prevede tra i vari servizi anche *l'aggiornamento delle Carte di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 esistenti e dei file necessari alla loro realizzazione, sulla base dei risultati del presente studio (Carta delle Indagini, Carta Geologico-Tecnica, Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Carte di Microzonazione), da effettuarsi secondo gli standard tecnici nazionali e regionali di riferimento di cui all'Art. 2, nella loro versione più aggiornata disponibile alla data del primo incontro di coordinamento ed allineamento metodologico. In particolare, tutte le aree che, alla luce dei nuovi studi, non risultino più classificate come instabili per frana, verranno suddivise in MOPS in base ai criteri di MS di livello 3 e ad esse verranno attribuiti i rispettivi fattori di amplificazione (FA) mediante analisi di risposta sismica locale.*

Allo *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* appartengono quindi i seguenti elaborati cartografici:

- la Carta delle Indagini;
- la Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni;
- la Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT);
- la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS);
- Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS).

Gli elaborati cartografici e la struttura dati della Microzonazione Sismica seguono gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica - Versione 4.2 ^[3].

La prima fase del presente lavoro di *approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è consistita nell'acquisizione e valutazione delle indagini puntuali e lineari pregresse: sondaggi geognostici, indagini geotecniche e geofisiche a corredo delle relazioni geologiche e degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2. Sono state reperite informazioni utili alla comprensione più dettagliata possibile dell'area in esame utili a confermare e/o modificare la Carta Geologico Tecnica (CGT) e la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) del livello 1 e 2 degli Studi di Microzonazione Sismica. Sulla base di tali indagini sono state pianificate ulteriori indagini integrative approvate dalla Commissione Tecnica e i Referenti del Servizio Protezione Civile della Regione Marche, durante i vari incontri con i professionisti incaricati.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1. Normativa di Riferimento e Classificazione sismica dell'area di studio

Con l'entrata in vigore del DM 14/01/2008 (NTC 2008) e del successivo DM 17/01/2018 (NTC 2018) la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio sito dipendente e non più tramite un criterio zona dipendente. L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. Nell'Aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha presentato alla Commissione Grandi Rischi, Sezione Rischio Sismico, una nuova mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata secondo i criteri proposti dall'Ordinanza PCM 3274; si riporta la mappa ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (figura seguente). Nel corso del 2006 una nuova Ordinanza (OPCM 3519/2006) ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale e ha definito i criteri che le Regioni devono seguire per aggiornare le afferenze dei Comuni alle 4 zone sismiche.

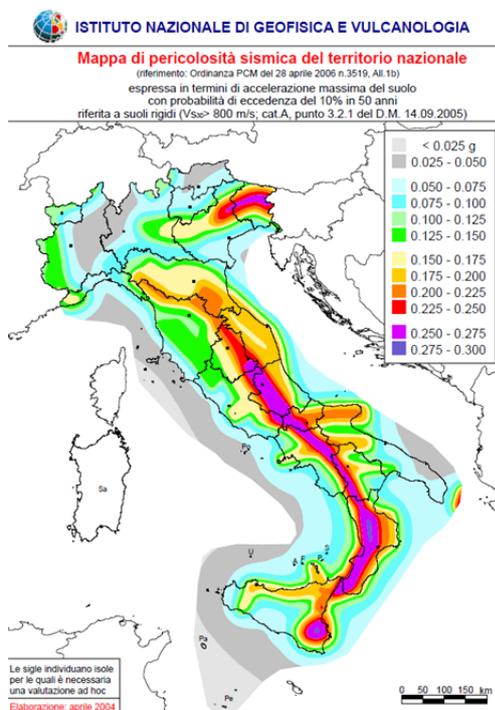


Figura 4 - *Snapshot* Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale [5].

La Giunta Regionale, con la Deliberazione n. 1142 del 19/09/2022, ha approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche della Regione Marche. Il provvedimento è entrato in vigore il trentesimo giorno successivo a quello della sua pubblicazione nel Bollettino Ufficiale della Regione Marche.

In tale quadro normativo, la Regione Marche ha ri-classificato il territorio comunale di San Benedetto del Tronto da zona sismica 3 a zona sismica 2.

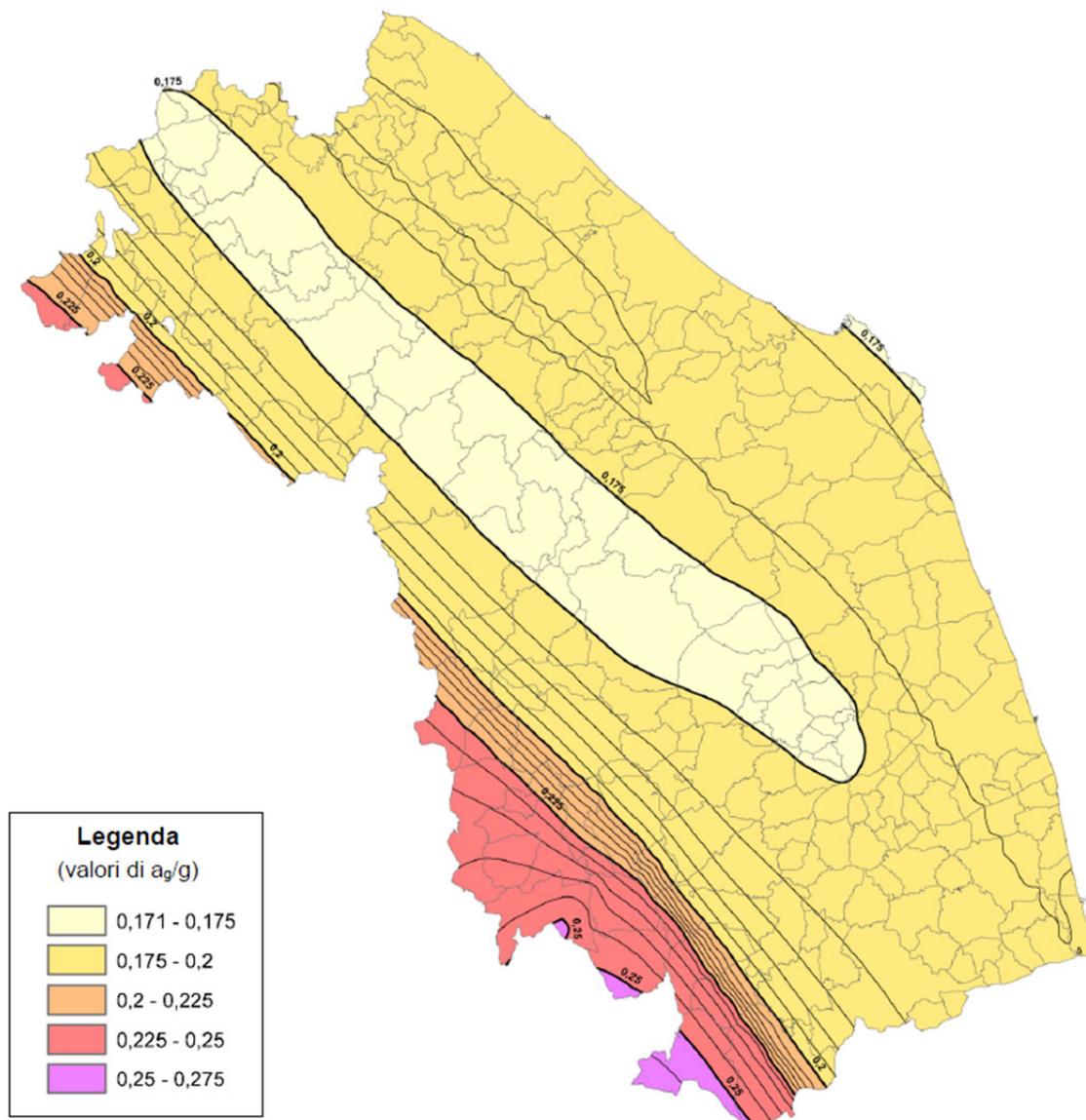


Figura 5 - Snapshot Mappa delle accelerazioni massime del suolo a_g/g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferite a suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s) [6].

Si riportano di seguito alcuni dati estratti dalla *Mappa interattiva di pericolosità sismica a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)*.

Il territorio comunale di San Benedetto del Tronto ricade nell'intervallo min.÷max pari a 0.175÷0.200 g (nodo arancione).

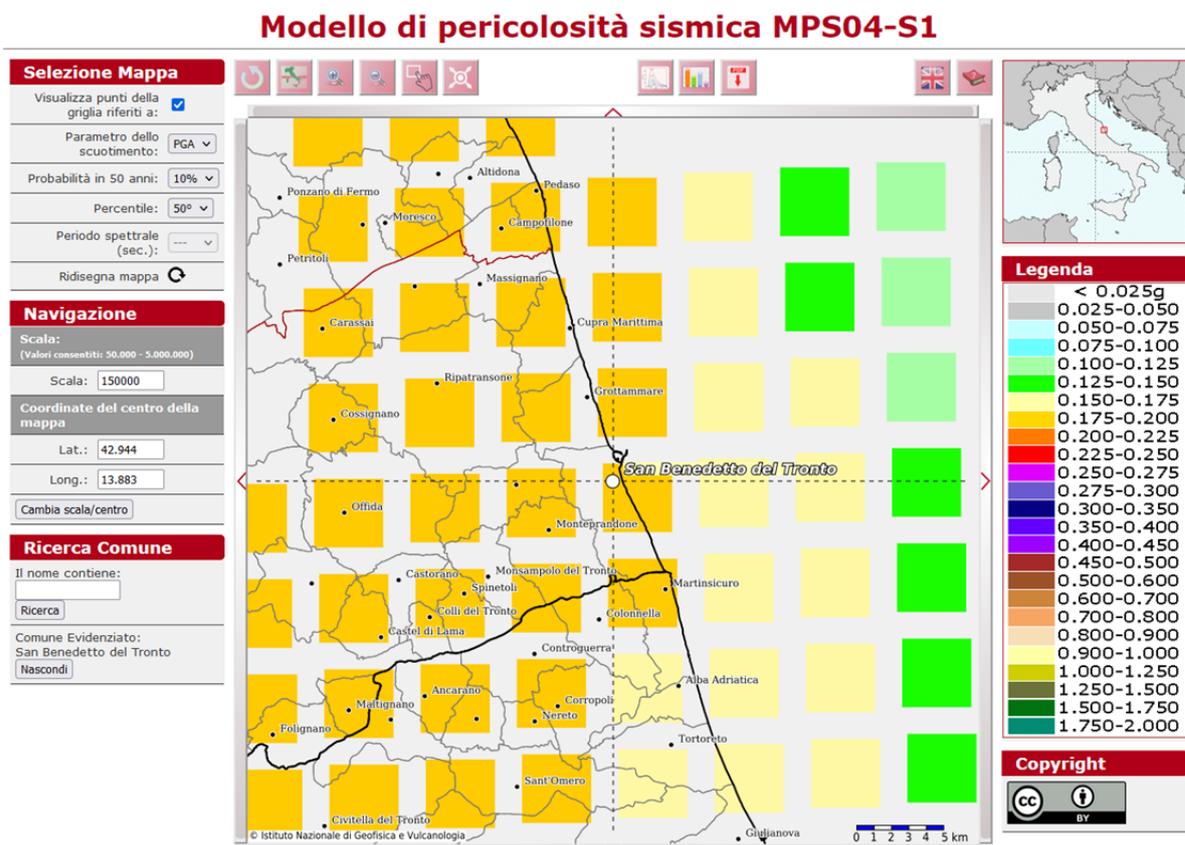


Figura 6 - Mappa interattiva di pericolosità sismica centrata sul comune di San Benedetto del Tronto. Visualizzazione di alcuni punti della griglia posti sul territorio comunale di San Benedetto del Tronto e nei dintorni. Ai punti sono associati i dati di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni [7].

Si riportano di seguito i valori di disaggregazione del valore di $a(g)$ per un nodo della maglia posizionata sul territorio del comune di San Benedetto del Tronto tenendo conto di un'eccedenza del 10% in 50 anni. Generalmente la disaggregazione per sorgente sismica consente di identificare la zona che fornisce il maggior contributo mentre la disaggregazione per magnitudo e distanza consente di identificare il terremoto di scenario.

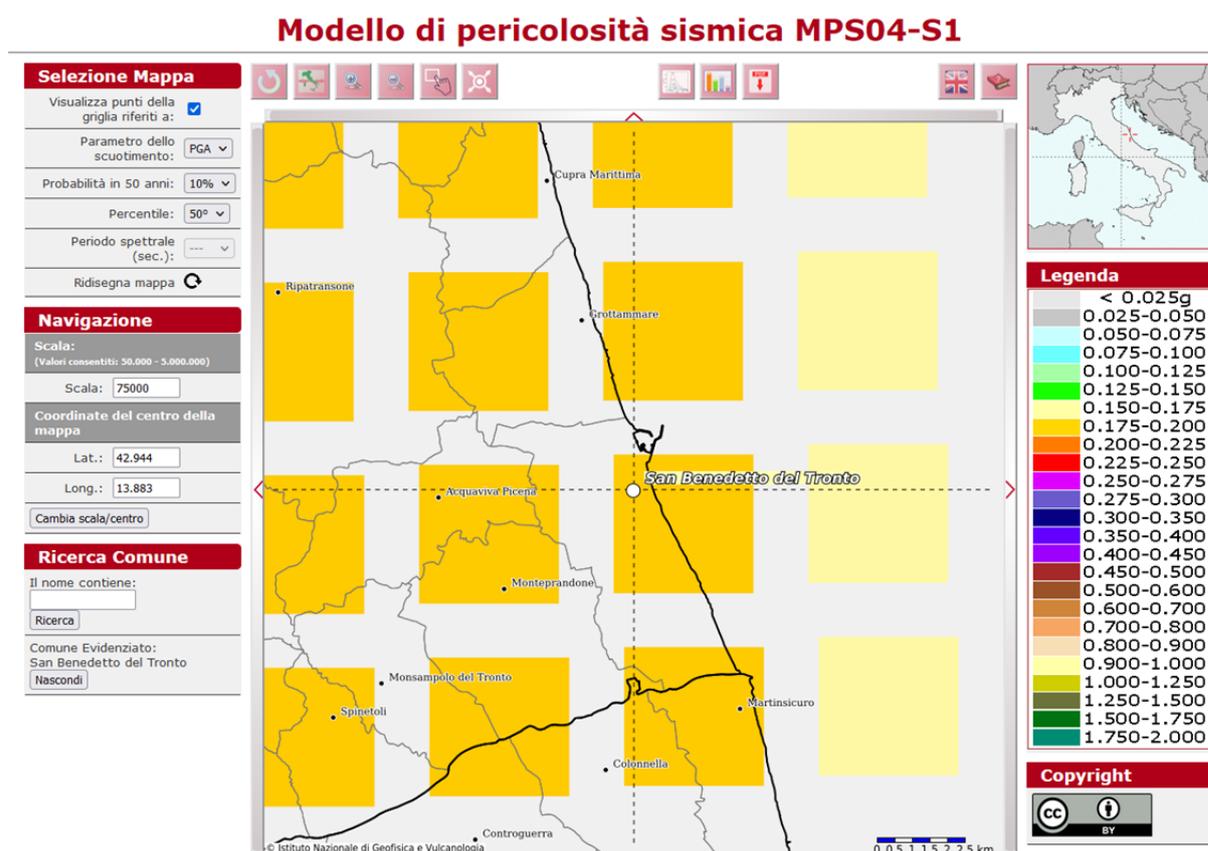


Figura 7 - Mappa interattiva di pericolosità sismica centrata sul comune di San Benedetto del Tronto. Visualizzazione di alcuni punti della griglia posti sul territorio comunale di San Benedetto del Tronto e nei dintorni. Ai punti sono associati i dati di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni [7].

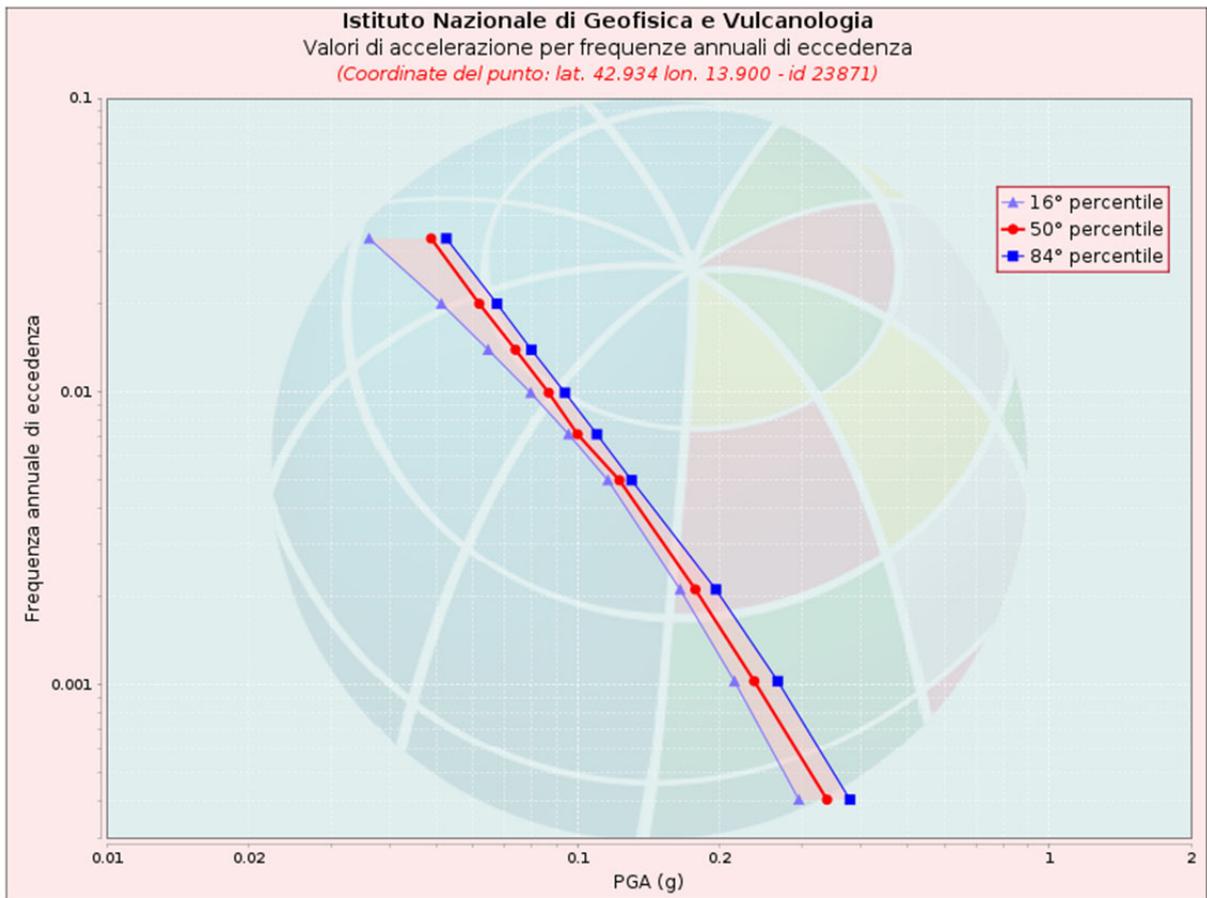


Figura 8 - Valori di $a(g)$ per diverse frequenze annuali di superamento [7].

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 42.934 lon. 13.900 - id 23871)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2945	0.3381	0.3781
0.0010	0.2150	0.2369	0.2656
0.0021	0.1649	0.1777	0.1964
0.0050	0.1159	0.1226	0.1301
0.0071	0.0956	0.0999	0.1098
0.0099	0.0795	0.0868	0.0940
0.0139	0.0645	0.0738	0.0798
0.0199	0.0514	0.0618	0.0674
0.0332	0.0361	0.0489	0.0526

Figura 9 - Frequenza annuale di superamento [7].

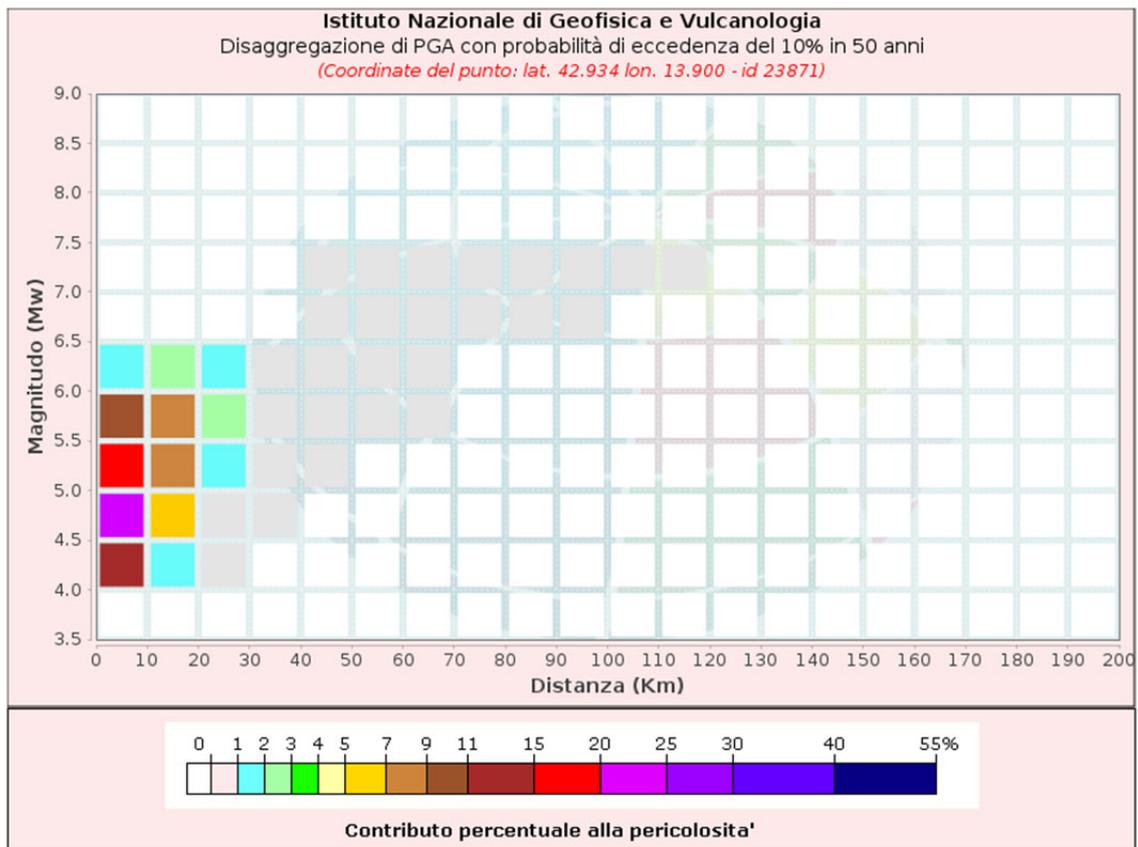


Figura 10 - Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni [7].

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 42.934 lon. 13.900 - id 23871)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	11.5000	24.8000	17.5000	10.6000	1.9200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.7800	6.3300	7.8300	7.5500	2.6600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0106	0.3620	1.2600	2.0100	1.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0010	0.1250	0.5470	0.5040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.1060	0.2270	0.1110	0.1060	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	0.0805	0.1890	0.2120	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0089	0.1010	0.1510	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0321	0.0829	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.0436	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0170	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 11 - Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni [7].

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.16	9.49	0.729

Figura 12 - Valori medi dei dati di disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni [7].

Da un punto di vista della pericolosità sismica si ricava che il maggiore contributo percentuale è fornito da sorgenti sismiche poste ad una distanza \leq a 30 km dall'area di studio. Il valore medio di magnitudo atteso è 5.16 mentre il valore medio della distanza epicentrale è di 9.5 km.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1. Cartografia di riferimento

La cartografia geologica di riferimento per il territorio di studio è a tutt'oggi costituita dalla cartografia alla scala 1:100.000. Per quanto riguarda i fogli alla scala 1:50.000 realizzati nell'ambito del progetto CARG si indica che il comune di San Benedetto del Tronto non è ancora stato rilevato o comunque non è ancora disponibile alcuna cartografia ufficiale come riscontrabile dal sito dell'ISPRA (figura seguente).

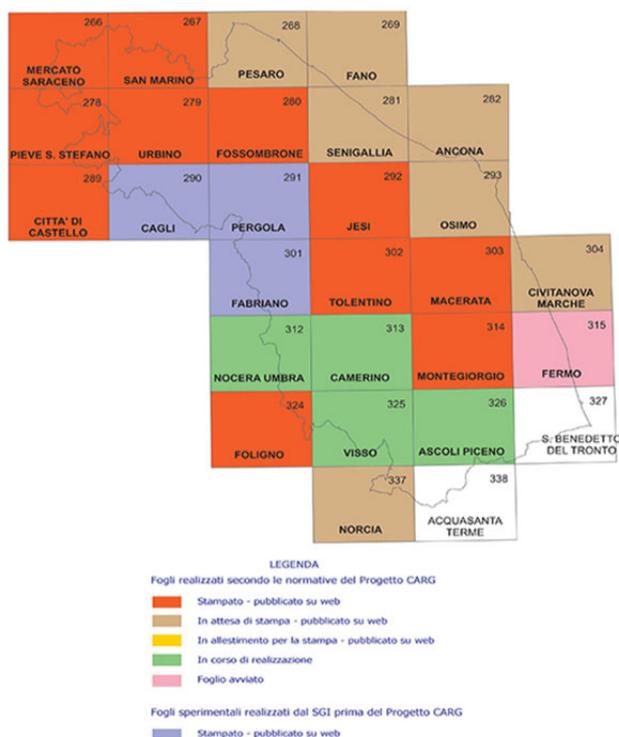


Figura 13 - *Snapshot* Stato di avanzamento del progetto CARG nel territorio regionale delle Marche [8].

Prendendo in considerazione quindi le cartografie geologiche ufficiali in scala 1:100.000, 1:50.000 e 1:10.000 e le carte tematiche degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 si indicano di seguito le tipologie di carte tematiche disponibili:

- ✓ *Structural Model of Italy* scale 1:500.000 ^[9] come inquadramento strutturale generale;
- ✓ *Carta Geologica d'Italia* alla scala 1:100.000, *Foglio F.° 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA* a cura del Servizio Geologico d'Italia (dal Rilevamento Geologico al 25.000);
- ✓ *Schema tettonico del Foglio CARG 339 TERAMO* al fine di confrontare le strutture tettoniche;
- ✓ *Carta Geologica Regionale delle Marche - Sezione N° 327.030 SAN BENEDETTO DEL TORONTO NORD e Sezione N° 327.070 SAN BENEDETTO DEL TORONTO SUD* a cura della Regione Marche;
- ✓ *Carta Geologico - Tecnica* degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e livello 2.

Nel corso del lavoro si è cercato di estrarre il maggior numero di dati possibili da tutte queste cartografie e schemi strutturali. Nelle pagine seguenti si riportano delle miniature delle carte geologiche citate e le relative legende d'interesse.

3.2. Inquadramento geologico e stratigrafico dell'area di studio

Consultando il Foglio F.° 4 dello *Structural Model of Italy scale 1:500.000* si osserva che il sottosuolo dell'area di San Benedetto del Tronto è attraversato dalla strutture di sovrascorrimento di profondità.

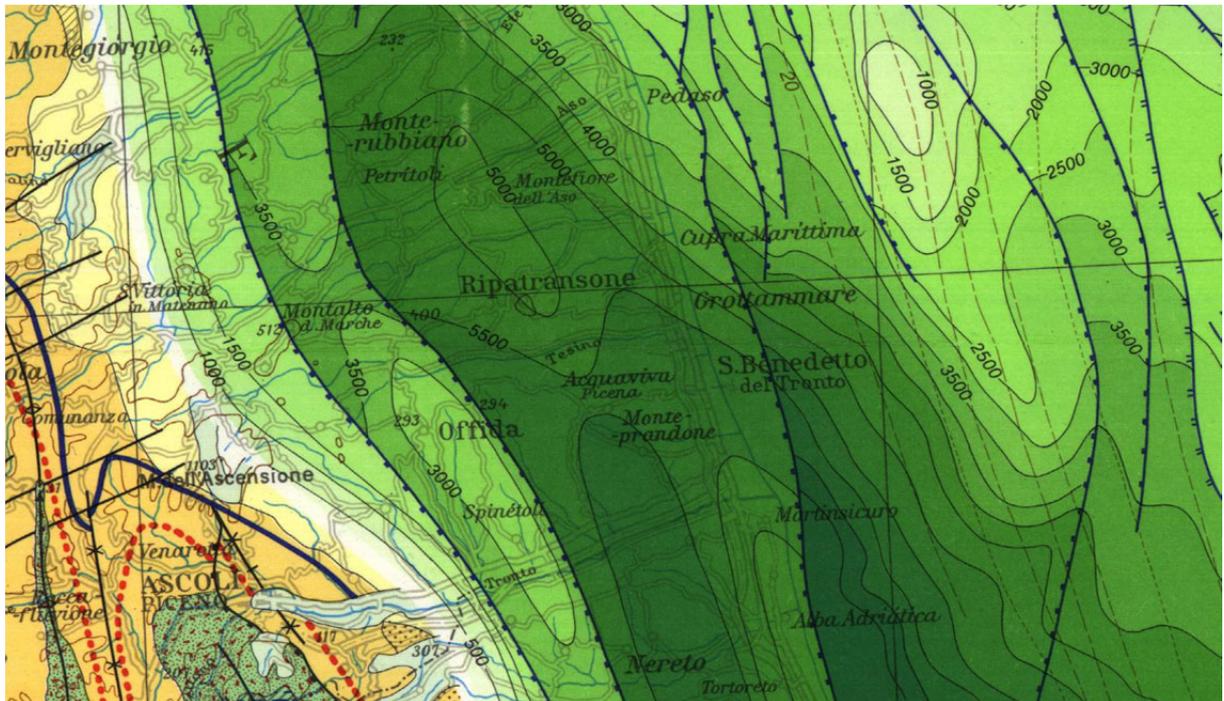


Figura 14 - *Snapshot* Structural Model of Italy [9].

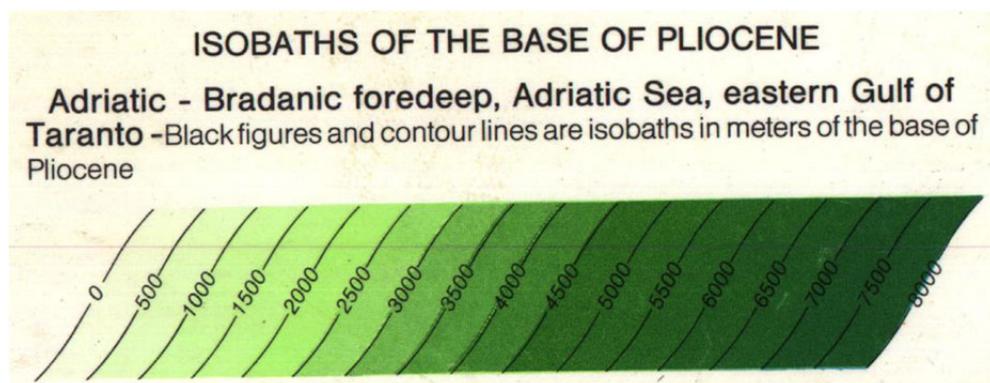


Figura 15 - Legenda d'interesse.

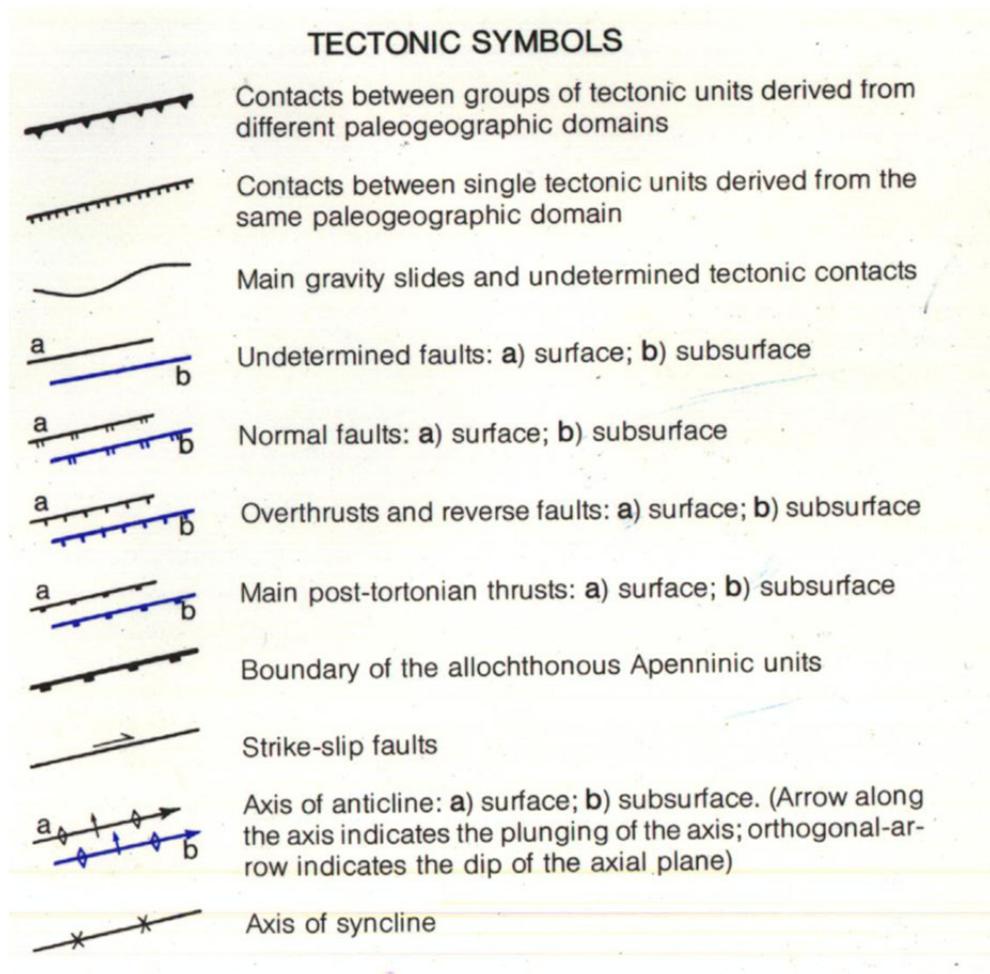


Figura 16 - Legenda d'interesse.

Consultando lo Schema tettonico del Foglio CARG 339 TERAMO si osserva che il comune di San Benedetto del Tronto si colloca all'interno dell'unità tettonica denominata Formazione di Mutignano. L'area di studio è attraversata dalla struttura costiera (SCT) con direzione nord- sud.

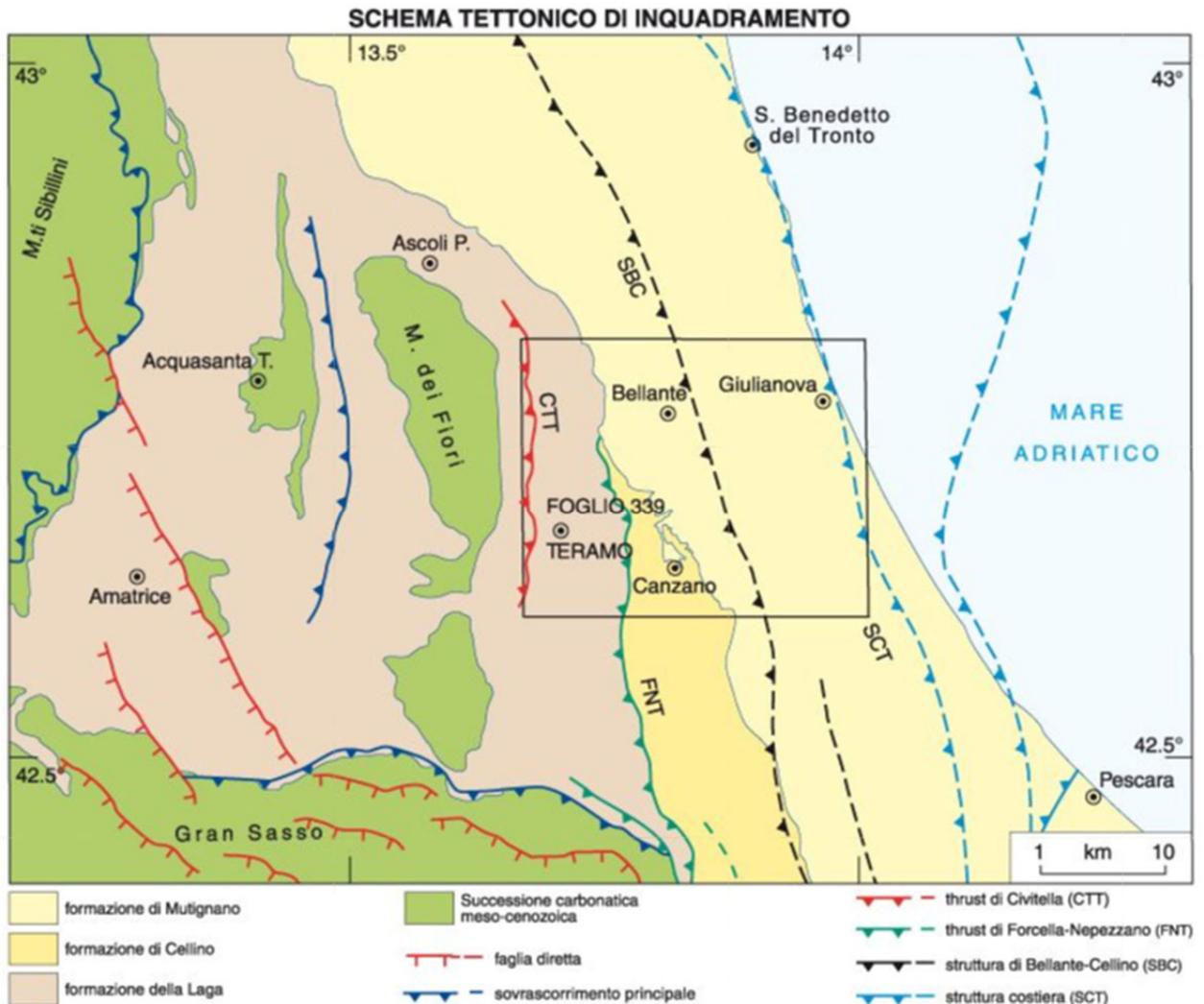


Figura 17 - *Snapshot* Schema tettonico tratto dal Foglio 339 TERAMO (Progetto CARG) [10].

Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA

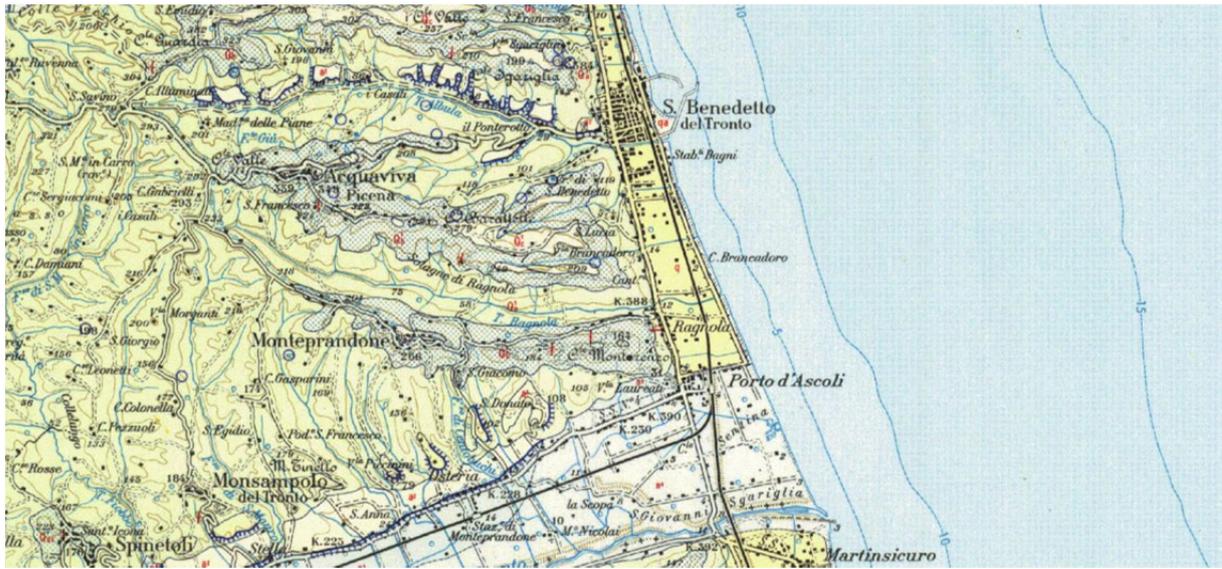


Figura 18 - Snapshot Carta Geologica d'Italia, Foglio 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA a cura del Servizio Geologico d'Italia (II edizione) [11, 12].

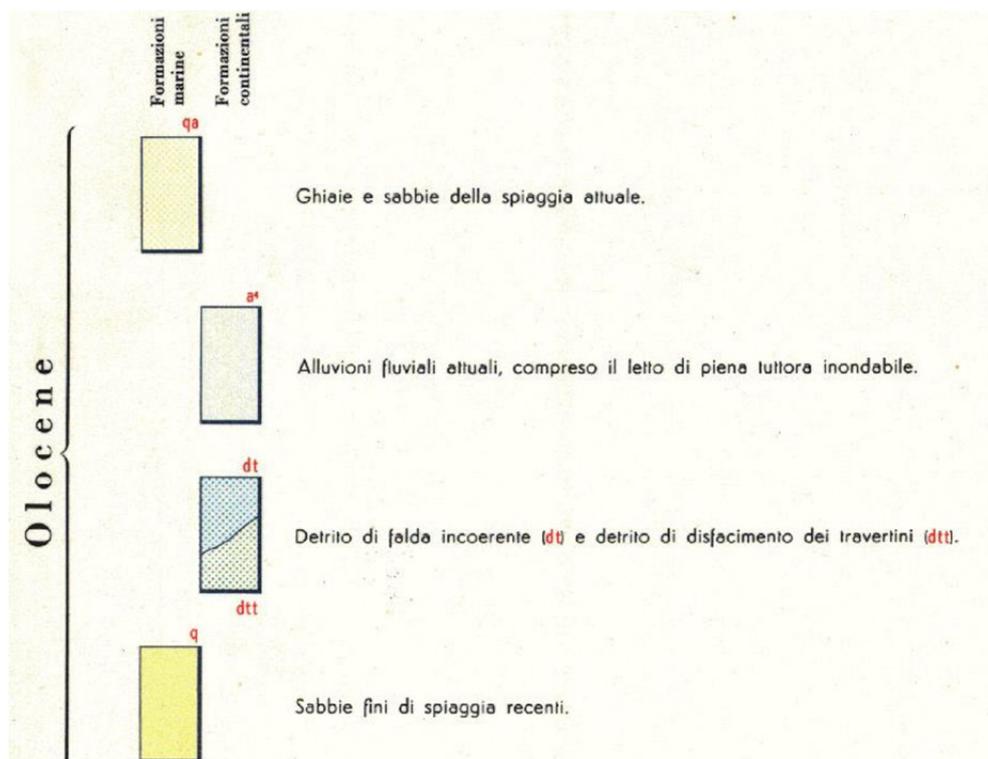


Figura 19 - Legenda delle formazioni continentali affioranti nell'area di studio (Olocene).

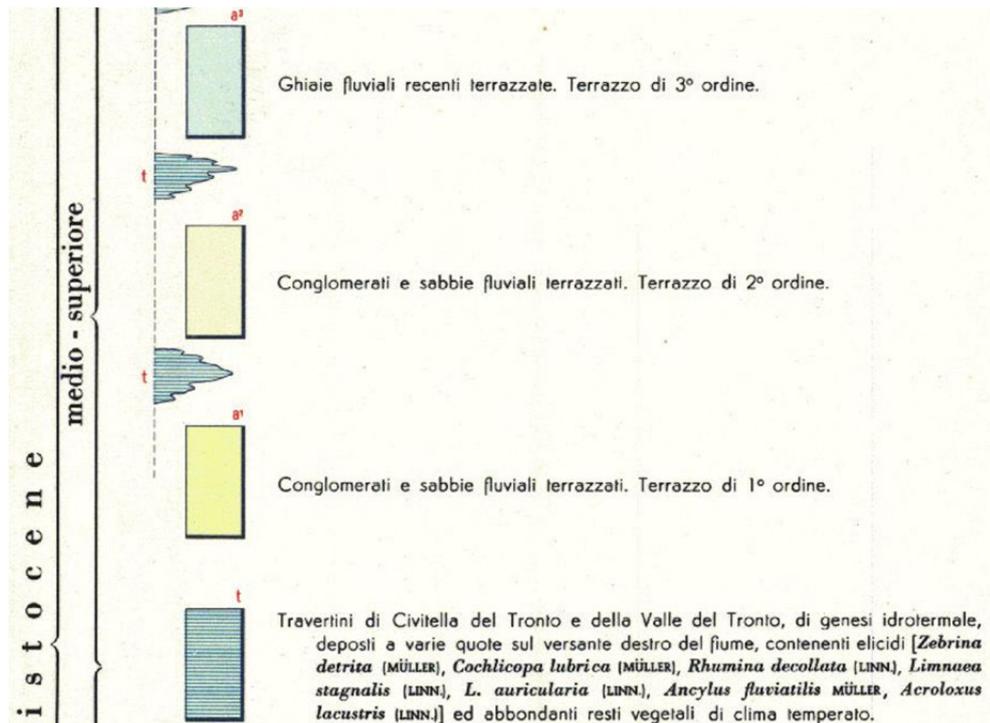


Figura 20 - Legenda delle formazioni continentali affioranti nell'area di studio (Pleistocene medio-superiore).

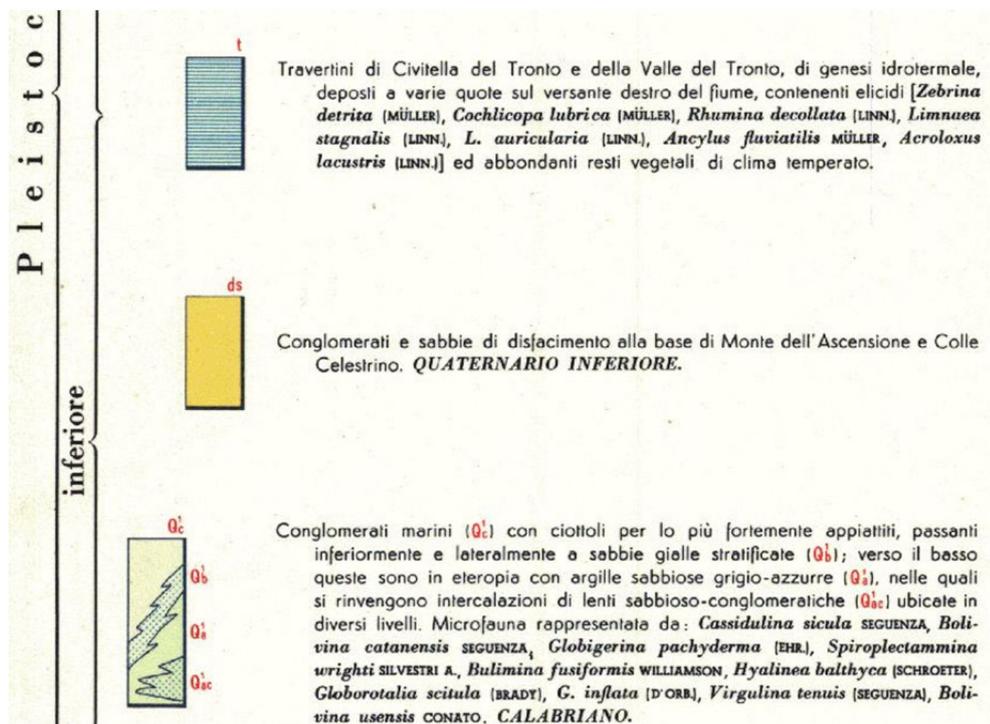


Figura 21 - Legenda delle formazioni marine affioranti nell'area di studio (Pleistocene inferiore).

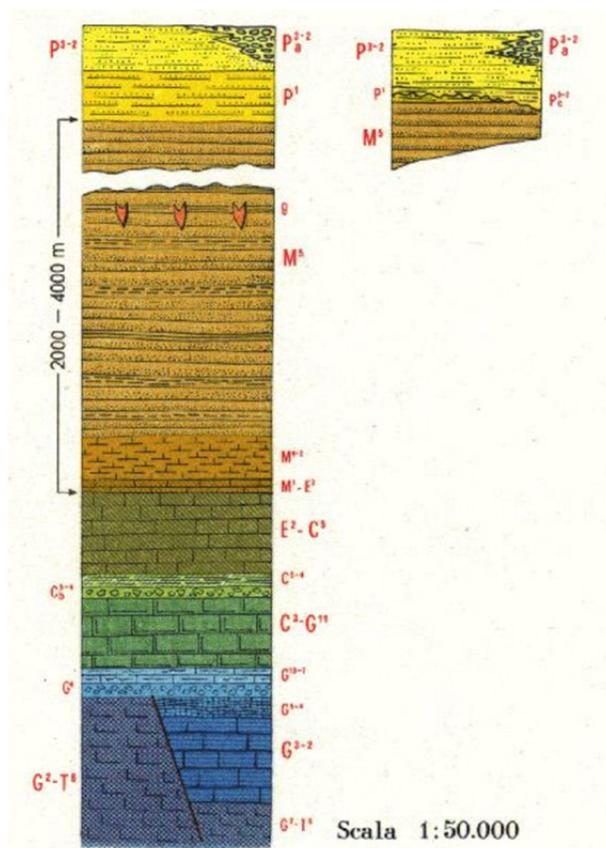


Figura 22 - *Snapshot* Schema dei rapporti stratigrafici delle formazioni marine [11, 12].

Descriviamo brevemente le formazioni marine affioranti nell'area di studio, riportate nella Carta Geologica al 100.000.

Formazione geologica del Pleistocene inferiore dei conglomerati marini: conglomerati marini con ciottoli per lo più fortemente appiattiti (Q^1). La formazione dei conglomerati marini (Q^1) è affiorante nel territorio comunale di San Benedetto del Tronto ma non affiorante nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*.

Formazione geologica del Pleistocene inferiore delle sabbie gialle stratificate: sabbie gialle stratificate (Q^1_b). La formazione delle sabbie gialle stratificate (Q^1_b) è affiorante nel territorio comunale di San Benedetto del Tronto ma non affiorante nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*.

Formazione geologica del Pleistocene inferiore delle Argille sabbiose grigio-azzurre: argille sabbiose grigio-azzurre (Q^1_a) stratificate in assetto strutturale monoclinale con immersione verso Est, Nord-Est e inclinazione sub-orizzontale o inclinata di pochi gradi. La formazione delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q^1_a) non è affiorante.

Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000 - Sezione N° 327.030 San Benedetto del Tronto Nord

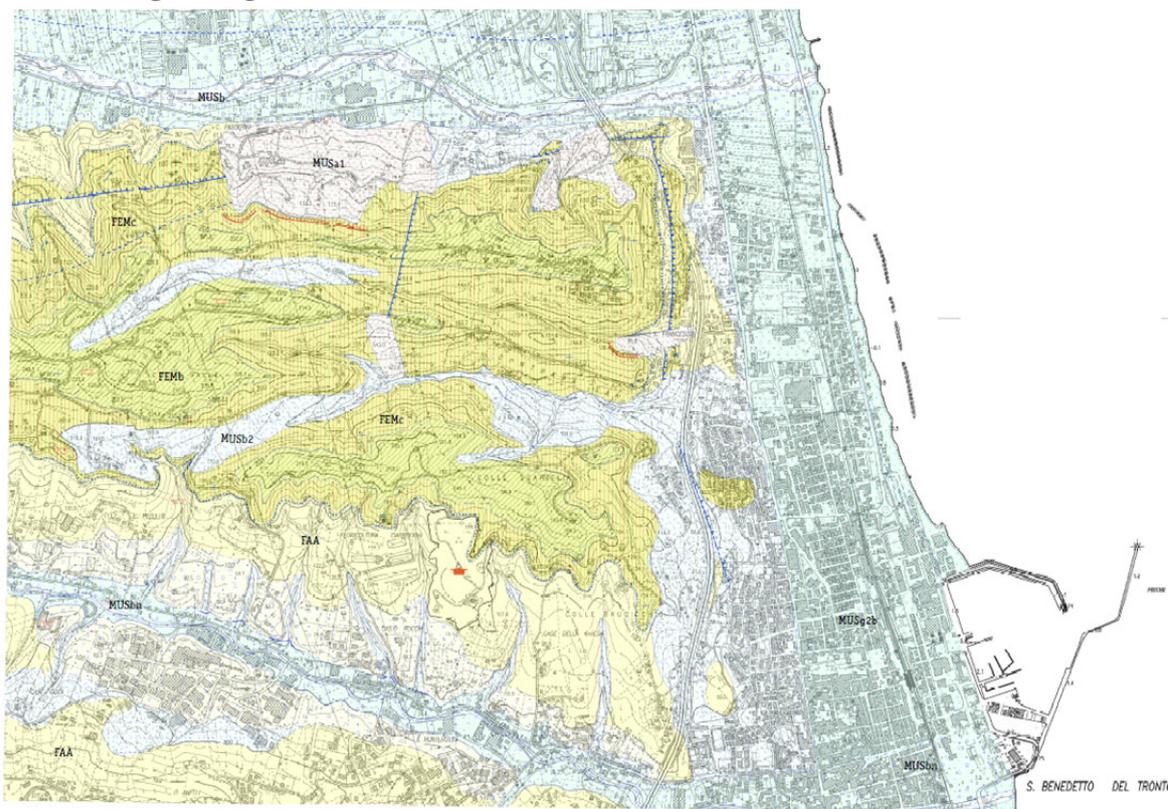


Figura 23 - *Snapshot* Carta Geologica Regionale - Edizione CTR [13].

I movimenti franosi qui denominati “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” e “frana ex-Cava di Argilla” sono cartografati nella *Carta Geologica Regionale, edizione CTR, scala 1:10.000, Sezione 327.070 San Benedetto del Tronto Sud* come frane in evoluzione.

Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000 - Sezione N° 327.070 San Benedetto del Tronto Sud

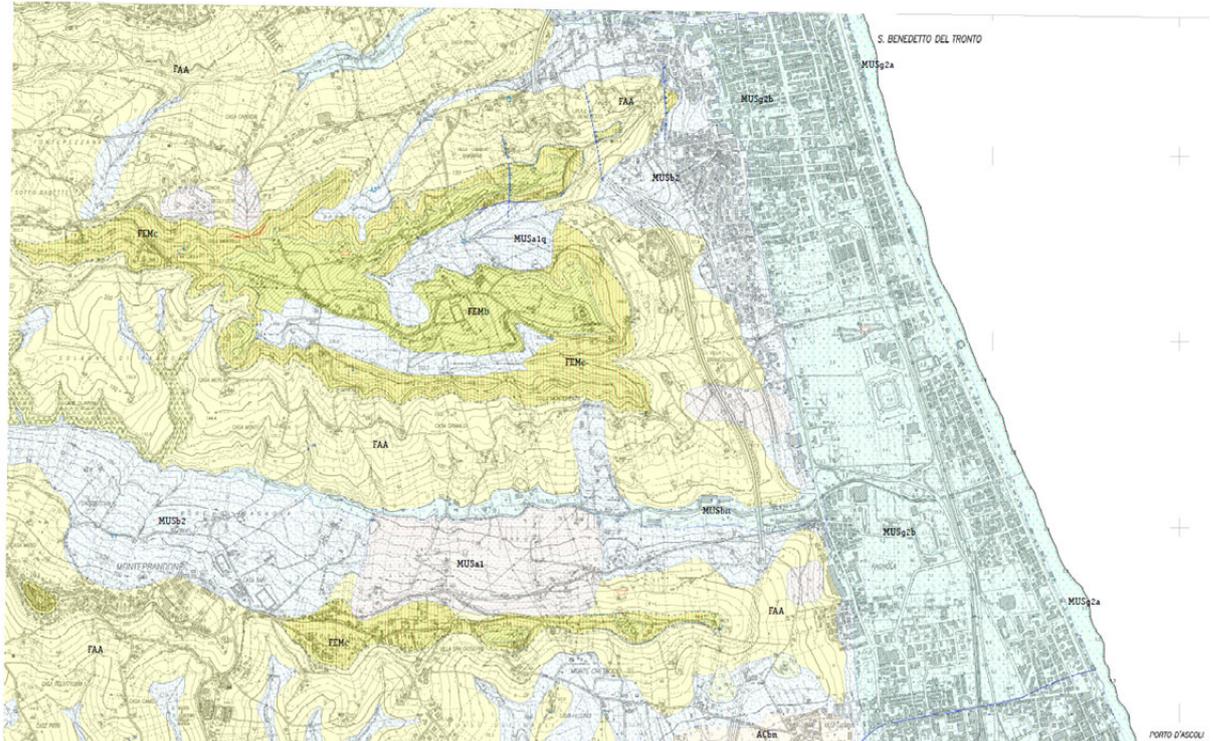


Figura 24 - *Snapshot* Carta Geologica Regionale - Edizione CTR [13]. Porzione settentrionale.

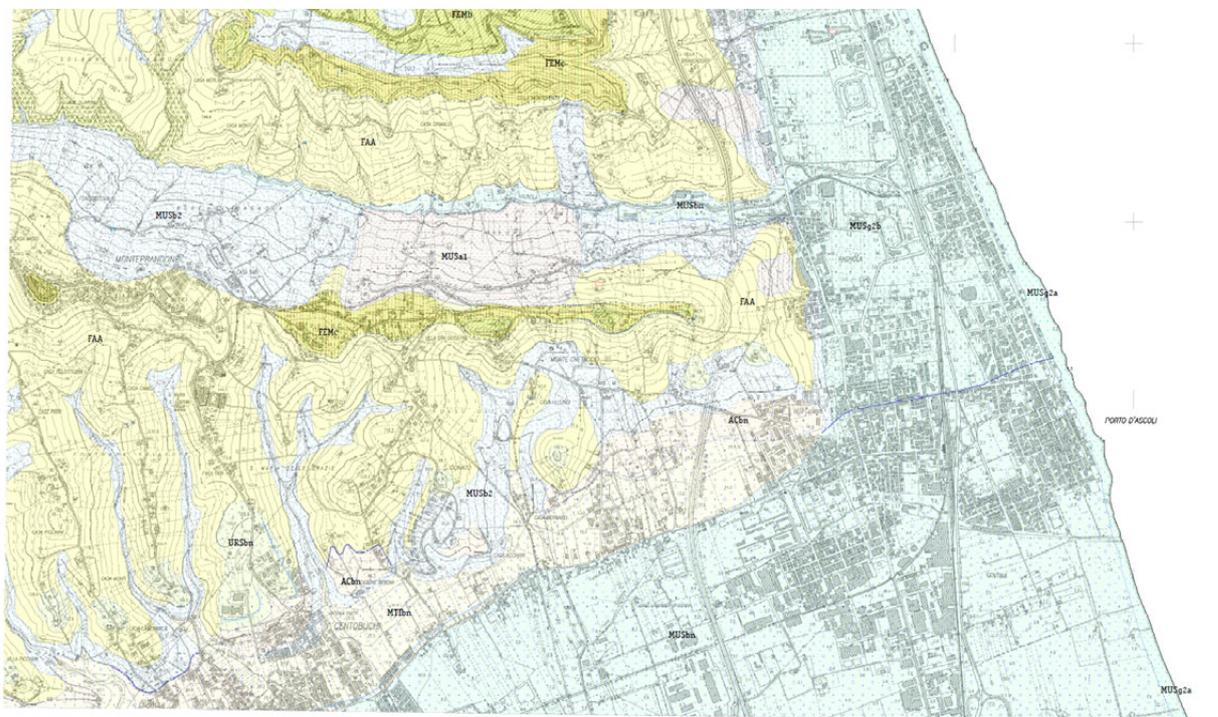
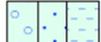


Figura 25 - *Snapshot* Carta Geologica Regionale - Edizione CTR. Porzione meridionale.

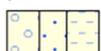
SINTEMA DEL MUSONE

(OLOCENE)

	MUSa1	Frana in evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSb	Depositi alluvionali attuali ghiaie, sabbia, limo
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati ghiaia, sabbia, limo

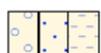
SINTEMA DI MATELICA

(PLEISTOCENE SUPERIORE)

	MTbn	Depositi alluvionali terrazzati ghiaia, sabbia, limo
---	------	---

SUPERSINTEMA COLLE ULIVO COLONIA MONTANI

(PLEISTOCENE MEDIO finale)

	AC	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
---	----	---

SINTEMA DI URBISAGLIA

PLEISTOCENE INFERIORE MEDIO - MEDIO

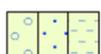
	URSbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
---	-------	---

Figura 26 - Legenda d'interesse dei terreni di copertura.

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

	FEMb	FORMAZIONE DI FERMO Conglomerati Siciliano
	FEMc	FORMAZIONE DI FERMO litofacies arenacea Siciliano
	FEMe	FORMAZIONE DI FERMO litofacies pelitico-arenacea Siciliano
	FEMf	FORMAZIONE DI FERMO litofacies limoso-argillosa Siciliano

SUCCESSIONE PLIOCENICA

	FAA	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore
	FAAe	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Litofacies pelitico-arenacea Zancleano p.p. - Santerniano
	FAAd	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE litofacies arenaceo-pelitica Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore

Figura 27 - Legenda d'interesse delle formazioni geologiche.

	Contatto stratigrafico o litologico
	Contatto stratigrafico o litologico incerto
	Contatto stratigrafico inconforme
	Contatto stratigrafico inconforme incerto
	Faglia incerta o sepolta
	Faglia diretta
	Stratificazione diritta
	Stratificazione orizzontale diritta
	Cava attiva

Figura 28 - Legenda d'interesse.

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 aggiornata al livello 2

Consultando la Carta delle MOPS degli Studi Microzonazione Sismica di livello 1 aggiornata al livello 2 si ricavano informazioni geologico-tecniche per ciascuna delle 20 (venti) zone MOPS individuate.

Per una descrizione dettagliata delle stratigrafie delle *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali* - dalla zona MOPS 2001 alla zona MOPS 2010 - e delle *zone di attenzione per instabilità* - dalla zona MOPS 2011 alla zona MOPS 2020 - si rimanda alla *Relazione Illustrativa di livello 2*.

Si riportano qui le miniature delle suddette carte e delle relative legende delle varie zone MOPS.

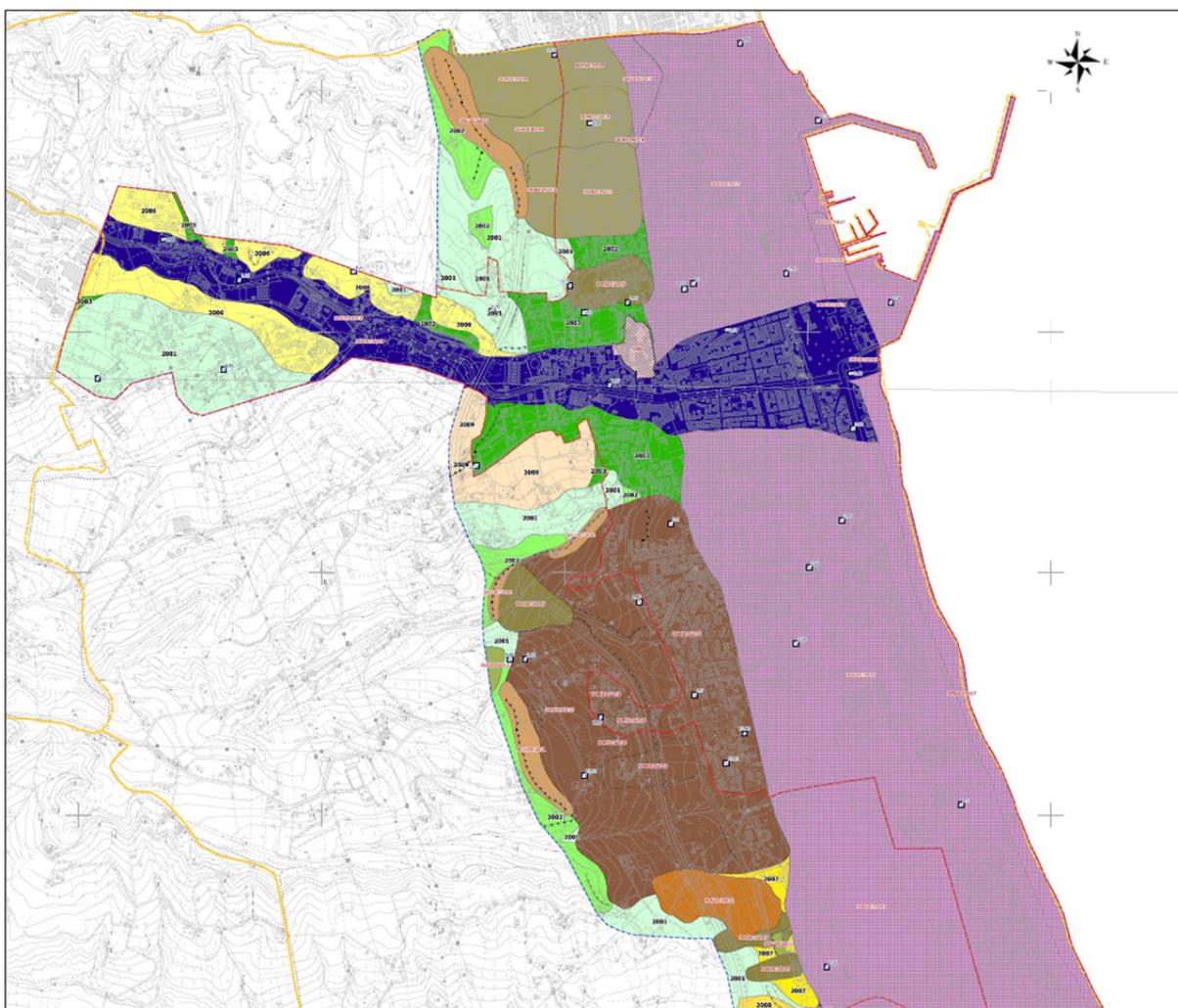


Figura 29 - *Snapshot* Carta delle MOPS ^[14] (1 di 2).

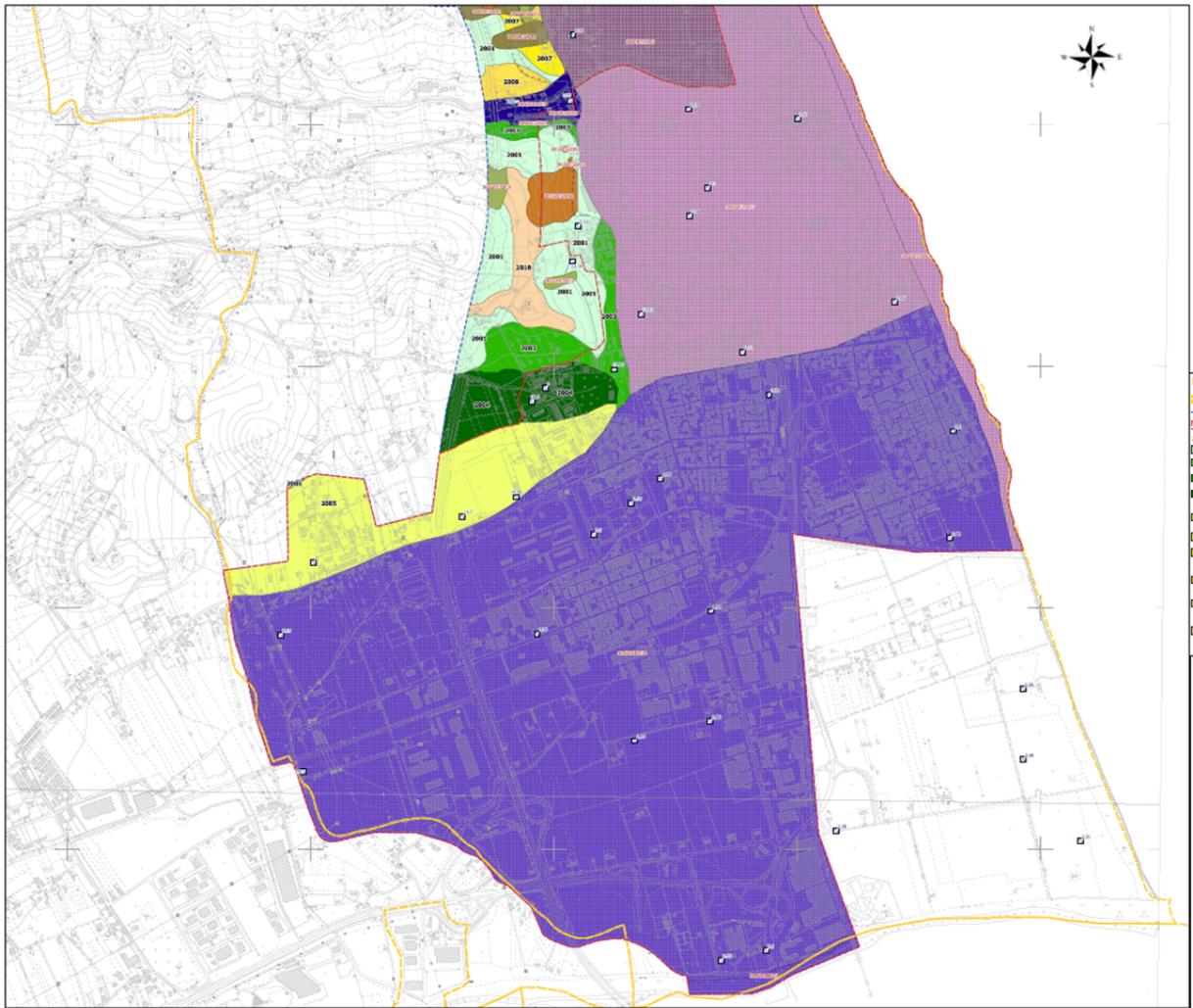


Figura 30 - *Snapshot* Carta delle MOPS ^[14] (2 di 2).

- 
Zona 2001 – Argille e argille limose, da consistenti a molto consistenti, con spessori >> 100 m
- 
Zona 2002 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie, da addensate a debolmente cementate, con spessore medio di circa 20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- 
Zona 2003 – Limi con sabbie e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di 5 ÷ 10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- 
Zona 2004 – Sabbie limose, a tratti, limi sabbiosi addensati, alternate ad argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti, di spessore medio pari a circa 30 m, con intercalazione di un livello, prevalentemente, di ghiaie limose addensate con spessore medio di circa 5 m, su argille e argille limose, da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- 
Zona 2005 – Limi sabbiosi e sabbie fini limose, moderatamente addensati con spessore nell'ordine dei 10 ÷ 15 m, su sabbie ghiaiose e sabbie limose ghiaiose addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- 
Zona 2006 – Sabbie con limi e argille, moderatamente consistenti, con spessore medio di circa 10 ÷ 15 m, su argille e argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
- 
Zona 2007 – Limi, limi sabbiosi, sabbie limose o argillose e limi argillosi moderatamente addensati/consistenti con spessore medio di circa 6 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 3 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al di sopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
- 
Zona 2008 – Sabbie limose a tratti limi sabbiosi addensati con spessore medio di circa 10 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al di sopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
- 
Zona 2009 – Limi sabbiosi e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 5 m su sabbie limose addensate con spessori medi di circa 7 m, su argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con spessore medio di circa 2 m su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m (Il livello limo argilloso posto al di sopra delle argille di base può, a volte, essere assente)
- 
Zona 2010 – Ghiaie sabbiose e miscele di ghiaie e sabbie addensate con spessore medio di circa 10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m

Figura 31 - Legenda d'interesse delle *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*: zone MOPS dalla 2001 alla 2010.

Zone di attenzione per instabilità

-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2011 – Corpo di frana del tipo crollo o ribaltamento attiva
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2012 – Corpo di frana del tipo scorrimento attiva
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2013 – Corpo di frana del tipo scorrimento quiescente
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2014 – Corpo di frana del tipo complessa quiescente
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2015 – Corpo di frana del tipo scorrimento non definita
-  ZA-FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante –
Zona 2016 – Corpo di frana del tipo complessa non definita
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 2017 –
Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore di circa 10÷20 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 2018 –
Limi e limi argillosi limosi, con presenza di lenti a tessitura variabile, poggianti su un livello ghiaioso di 5÷10 m di spessore; a maggiori profondità, comunque prima dei 40 m da p.c. si incontra il substrato, costituito da argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-LQ – Zona di Attenzione per Liquefazioni – Zona 2019 –
Sabbie e sabbie limose, generalmente, a basso grado di addensamento, con spessore medio di circa 5÷10 m, su argille ed argille limose da consistenti a molto consistenti con spessori >> 100 m
-  ZA-CD – Zona di Attenzione per Cedimenti Differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole – Zona 2020 –
(Frana da crollo a rischio R3 da PAI)

Figura 32 - Legenda d'interesse delle zone di attenzione per instabilità: zone MOPS dalla 2011 alla 2020.

3.3. Inquadramento geomorfologico dell'area di studio

Forniamo di seguito un breve inquadramento geografico, topografico e geomorfologico delle aree di studio scelte nel territorio comunale di San Benedetto del Tronto. Infatti, in accordo con le richieste dell'Amministrazione, il presente studio è rivolto a definire le proprietà geologiche e sismiche di due aree in frana:

- un movimento franoso qui denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” avente un'estensione areale di 11.2651 ettari (\approx 11 ha);
- un secondo movimento franoso qui denominato “frana ex-Cava di Argilla” avente un'estensione areale di 2.752575 ettari (\approx 3 ha).

Le aree franose d'interesse sono poste al limite del bacino idrografico del Fiume Tronto dove sono presenti sia cartografie dell'ex-Autorità di Bacino Regionale delle Marche sia cartografie dell'ex-Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Tronto (entrambe assorbite nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale).

Sia nella cartografia vigente del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Marche sia nella cartografia vigente del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Tronto entrambi i movimenti franosi non sono cartografati.

Consultando l'*Inventario dei fenomeni franosi in Italia* - Progetto IFFI - si è ricavato che le due aree di studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante non sono cartografate.

I movimenti franosi sono cartografati invece nella *Carta Geologica Regionale, edizione CTR, scala 1:10.000, Sezione 327.070 San Benedetto del Tronto Sud* come frane in evoluzione.

CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - Tavola RI 74 c

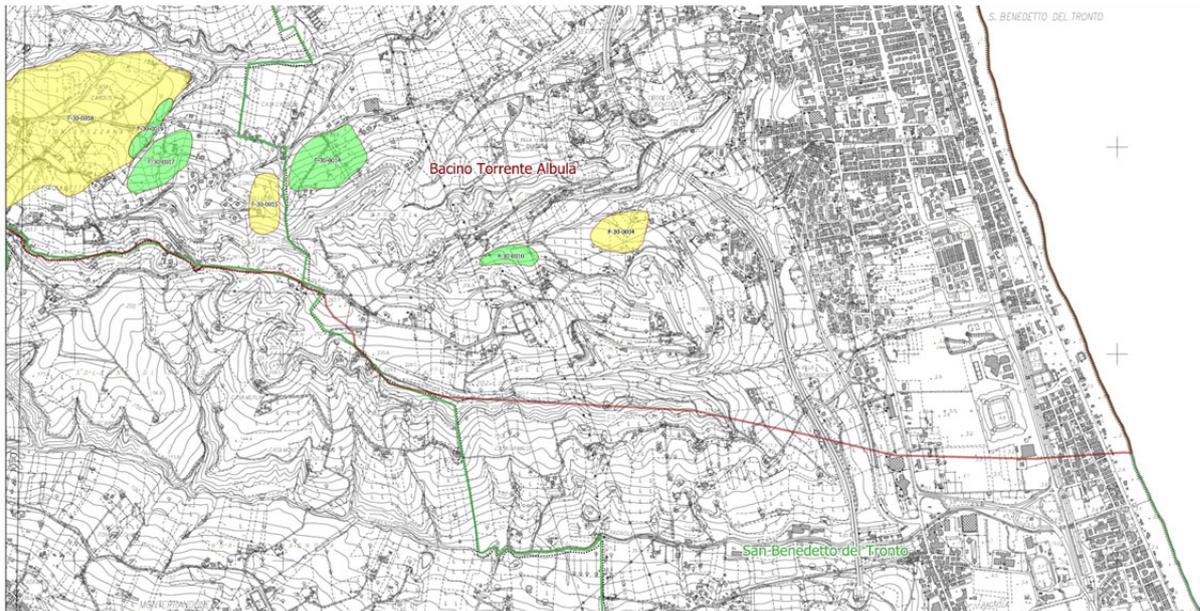


Figura 33 - *Snapshot* CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - Tavola RI 74 c - Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche - Aggiornato al Decreto Segretariale n. 140 del 27 ottobre 2021 [15, 16].



Figura 34 - *Snapshot* CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - Tavola RI 74 c - Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche - Aggiornato al Decreto Segretariale n. 140 del 27 ottobre 2021. Indicazione delle due aree oggetto di approfondimento.



Figura 35 - Legenda d'interesse.

Carta del Dissesto e delle Aree Esondabili (PAI Tronto)



Figura 36 - *Snapshot* Carta del Dissesto e delle Aree Esondabili (PAI Tronto) - Tavola n. 10/09 Sezione n° 327.070 [17].



Figura 37 - *Snapshot* Carta del Dissesto e delle Aree Esondabili (PAI Tronto) - Tavola n. 10/09 Sezione n° 327.070. Indicazione delle due aree oggetto di approfondimento.

Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia

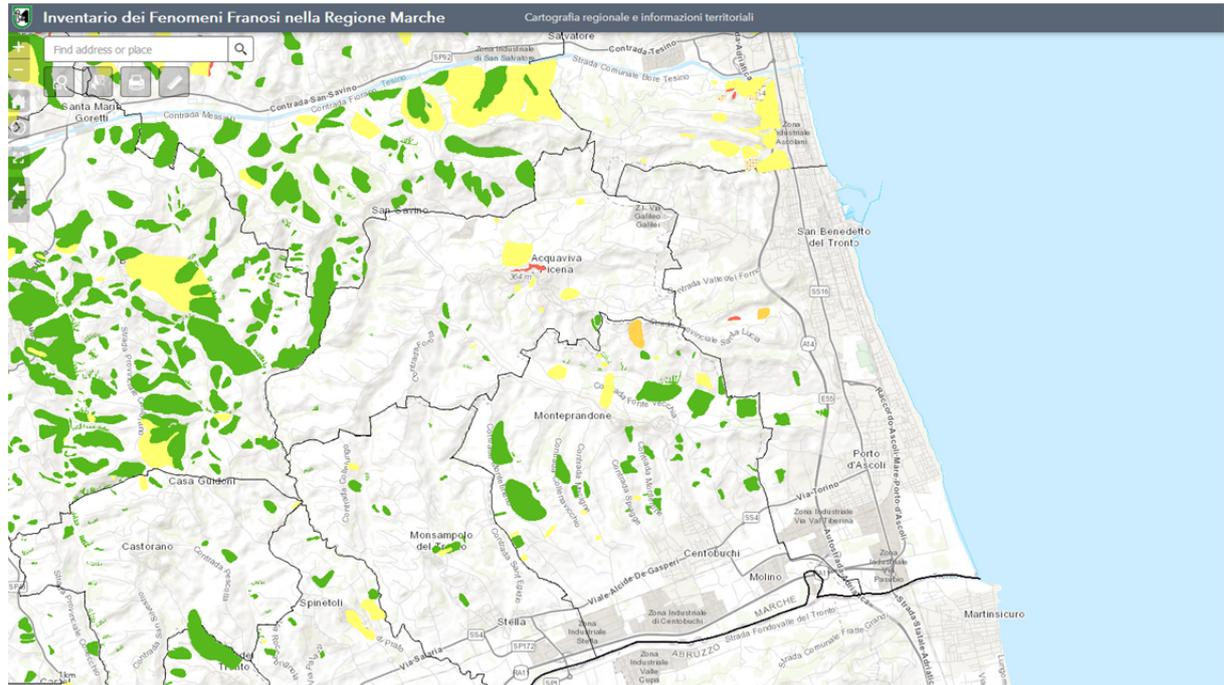


Figura 38 - *Snapshot* Inventario dei Fenomeni Franosi nella Regione Marche - Progetto IFFI [18].

Progetto IFFI

FRANE Individuazione Puntuale

- Crollo/Ribaltamento
- Scorrimento rotazionale/traslattivo
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Complesso
- N.D.

FRANE

- Crollo/Ribaltamento
- Scorrimento rotazionale/traslattivo
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Complesso
- N.D.

DGPV

- DGPV

Figura 39 - Ledenda d'interesse.

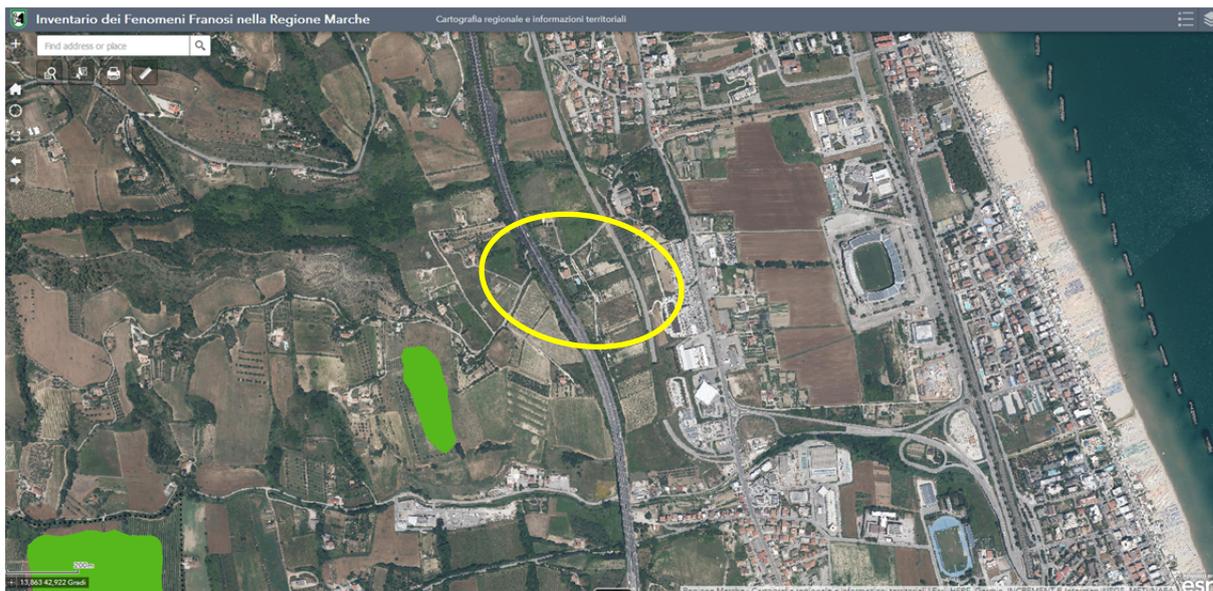


Figura 40 - *Snapshot* Inventario dei Fenomeni Franosi nella Regione Marche - Progetto IFFI [18] su sfondo AGEA 2019. Indicazione dell'area oggetto di approfondimento.

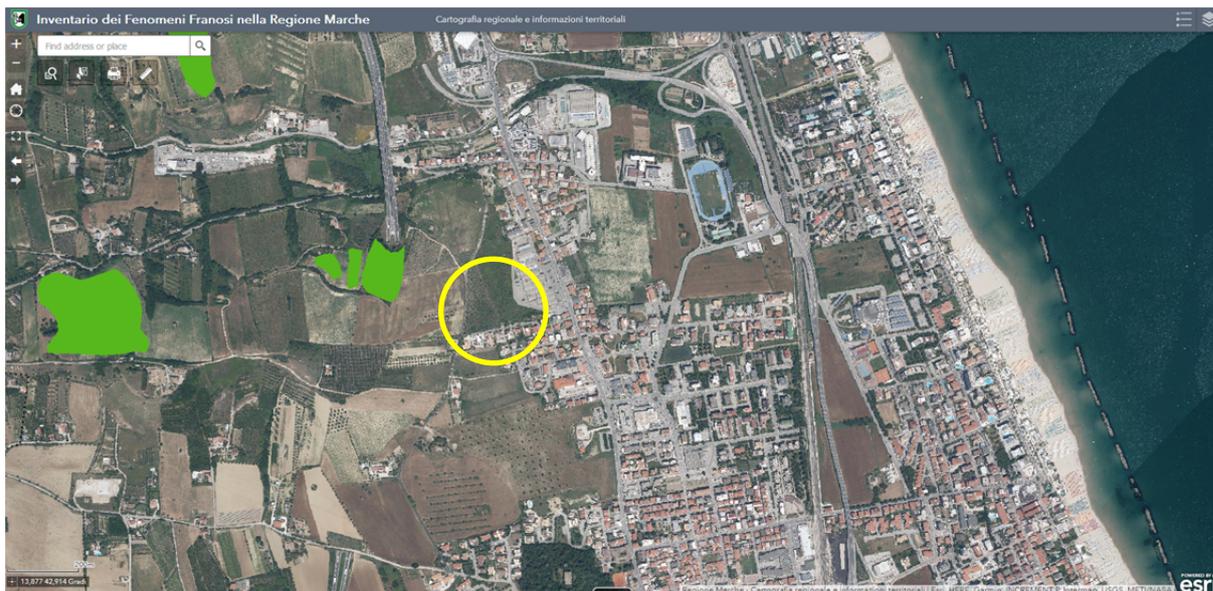


Figura 41 - *Snapshot* Inventario dei Fenomeni Franosi nella Regione Marche - Progetto IFFI su sfondo AGEA 2019. Indicazione dell'area oggetto di approfondimento.

4. Dati geotecnici e geofisici

Nel presente paragrafo vengono presentate le informazioni relative ai terreni di copertura e al substrato geologico presenti nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*. Le informazioni sui parametri sono state desunte da prove geotecniche e geofisiche sia storiche sia realizzate *ex-novo*. Per una descrizione dettagliata dei terreni di copertura e del substrato geologico presenti nell'intero territorio comunale si rimanda alla *Relazione Illustrativa di livello 2*.

4.1. Parametri geotecnici e geofisici da prove in situ

Tenendo conto della Carta Geologica d'Italia al 100.000 - Foglio F°. 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA e della Carta Geologica Regionale al 10.000 - Sezione N° 327.030 SAN BENEDETTO DEL TRONTO NORD e Sezione N° 327.070 SAN BENEDETTO DEL TRONTO SUD - si indica che il substrato geologico dell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è dato dalla Formazione geologica marina delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q¹)^[11, 12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA)^[13] che si presenta inizialmente, per uno spessore di ≈ 6.0 m, alterata e successivamente integra, sovraconsolidata: le rispettive sigle sono SFCOS e COS.

Il substrato geologico non è affiorante ma coperto da una coltre eluvio-colluviale naturale nel caso del un movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” mentre è coperto da una coltre antropica nel caso del movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla”.

Movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”

Si riporta di seguito una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *coltre colluviale, più superficiale, prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limoso derivante dal disfacimento e trasporto della litofacies arenacea della Formazione geologica di Fermo (FEMc)*.

	DPSH P1	DPSH P2	DPSH P3	DPSH P4
Spessore strato geotecnico [m]	2.8	2.2	3.6	3.5
Nspt [-]	6.93	8.70	12.76	11.08
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.43	0.59	0.86	0.75
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	72	90	131	114
Modulo di Young [kg/cm ²]	69	87	127	110
γ [t/m ³]	1.86	1.93	2.03	2.00
γ_{sat} [t/m ³]	1.90	2.12	2.23	2.20

Figura 42 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *coltre eluvio-colluviale limosa argillosa debolmente sabbiosa sottostante*.

	DPSH P1	DPSH P2	DPSH P3	DPSH P4	S1C1	S1C1
Spessore strato geotecnico [m]	7.4	8.0	5.2	6.3		
Nspt [-]	8.65	8.15	7.43	9.15		
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.58	0.55	0.46	0.62		
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	90	84	77	95		
Modulo di Young [kg/cm ²]	86	81	74	91		
γ [t/m ³]	1.92	1.91	1.88	1.94		
γ_{sat} [t/m ³]	2.11	2.10	1.90	2.13		
Profondità di campionamento [m]	-	-	-	-	2.5-3.1	5.5-6.1
c' [KPa] - Taglio diretto	-	-	-	-	7.65	1.96
Φ' [°] - Taglio diretto	-	-	-	-	26.47	24.4
c' [KPa] - Taglio residuo	-	-	-	-	0.40	-
Φ' [°] - Taglio residuo	-	-	-	-	19.01	23.62

Figura 43 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *parte superficiale, alterata, del substrato geologico*.

	DPSH P1	DPSH P2	DPSH P3	DPSH P4
Spessore strato geotecnico [m]	1.4	3.3	1.6	1.6
Nspt [-]	25.32	26.98	26.49	27.89
Coesione non drenata [kg/cm ²]	1.71	1.82	1.79	1.88
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	260	276	271	286
Modulo di Young [kg/cm ²]	253	269	264	278
γ [t/m ³]	2.12	2.13	2.13	2.14
γ_{sat} [t/m ³]	2.23	2.28	2.27	2.31

Figura 44 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *parte integra, sovraconsolidata, del substrato geologico*.

	DPSH P1	DPSH P2	DPSH P3	DPSH P4	044066P212-TD394	044066P243-TD501	044066P202-TD362
Spessore strato geotecnico [m]	≥ 0.6	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.8			
Nspt [-]	48.49	48.03	55.51	54.73			
Coesione non drenata [kg/cm ²]	3.27	3.24	3.75	3.69			
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	496	491	567	560			
Modulo di Young [kg/cm ²]	484	480	555	547			
γ [t/m ³]	2.30	2.30	2.30	2.30			
γ_{sat} [t/m ³]	2.38	2.38	2.38	2.38			
Profondità di campionamento [m]	-	-	-	-	16.0-16.5 da da quota +3.0 slm (via Pasubio)	19.2-19.8 da da quota 0.0 slm (porto)	21.7-22.3 da da quota 0.0 slm (porto)
c' [KPa] - Taglio diretto	-	-	-	-	2.94 0.03 Kg/cm ²	18.0	18.4
Φ' [°] - Taglio diretto	-	-	-	-	22.31	24.0	25.3

Figura 45 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Riportiamo di seguito la stratigrafia derivante dalla perforazione a carotaggio continuo 044066P358SS1091 (ex-S1 nell'archivio di lavoro) realizzata all'interno dell'area di frana. Tutte le indagini puntuali e lineari sono consultabili nella struttura di archiviazione informatica dei dati [3].

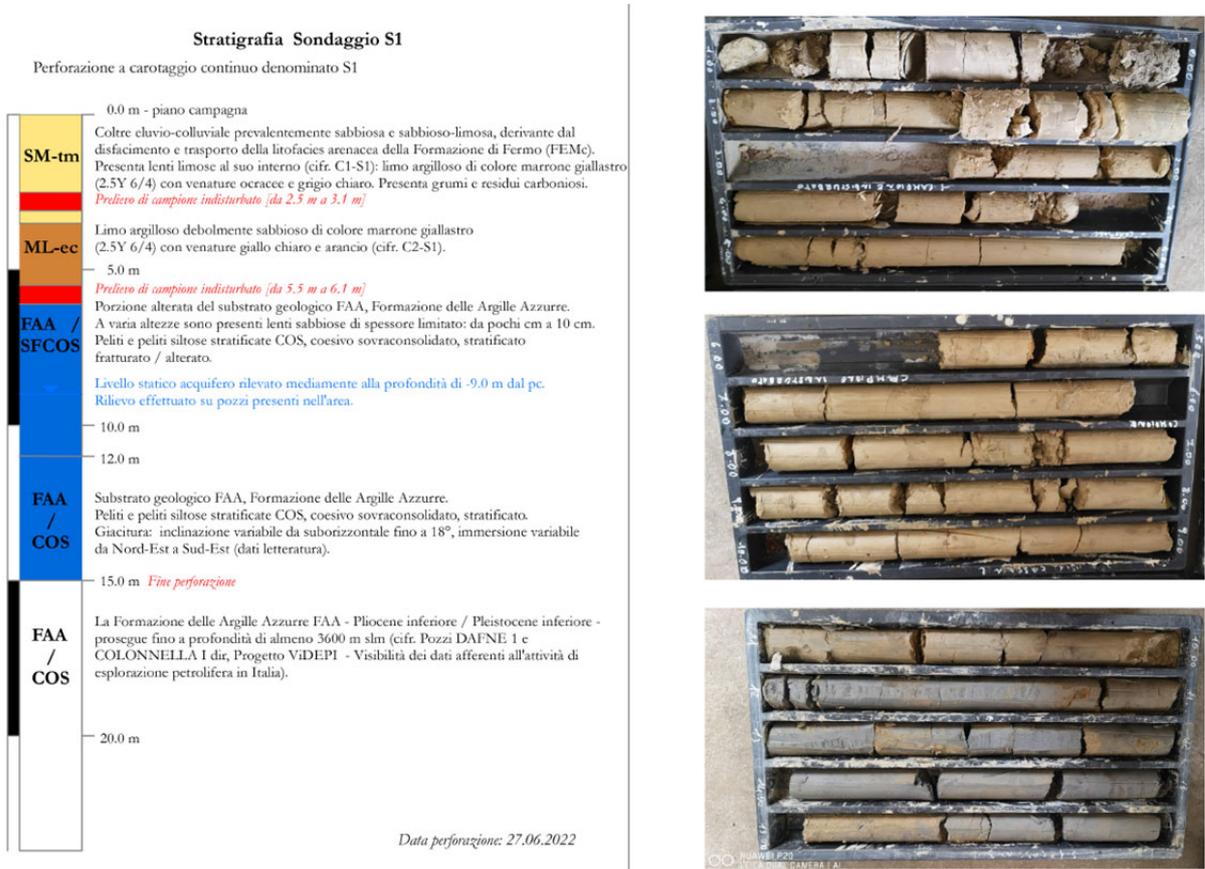


Figura 46 - Indagine puntuale 044066P358SS1091.

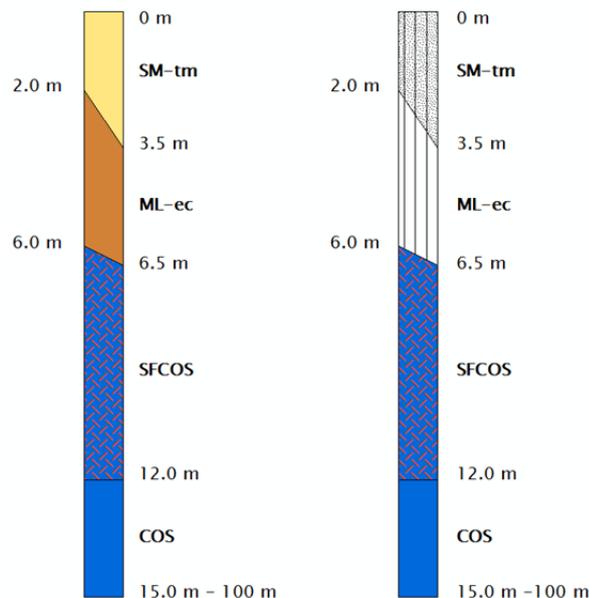


Figura 47 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro". Situazione stratigrafica non cartografabile.

.Movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla”

Si riporta di seguito una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa, e limoso-argillosa, con presenza di sporadici laterizi*.

	DPSH P5	DPSH P6	DPSH P7
Spessore strato geotecnico [m]	4	2.4	0.0
Nspt [-]	17.22	12.26	-
Coesione non drenata [kg/cm ²]	1.16	0.83	-
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	177	126	-
Modulo di Young [kg/cm ²]	172	122	-
γ [t/m ³]	2.09	2.02	-
γ_{sat} [t/m ³]	2.30	2.22	-

Figura 48 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *coltre eluvio-colluviale limoso argillosa debolmente sabbiosa più superficiale*.

	DPSH P5	DPSH P6	DPSH P7
Spessore strato geotecnico [m]	3.2	4.0	3.6
Nspt [-]	6.48	6.97	10.72
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.41	0.44	0.72
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	67	72	111
Modulo di Young [kg/cm ²]	64	69	107
γ [t/m ³]	1.84	1.86	1.99
γ_{sat} [t/m ³]	1.89	1.90	2.19

Figura 49 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la sottostante *coltre eluvio-colluviale limoso argillosa debolmente sabbiosa sottostante*.

	DPSH P5	DPSH P6	DPSH P7	S2C1	S2C1
Spessore strato geotecnico [m]	4.0	3.0	4.6		
Nspt [-]	11.89	9.09	12.26		
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.80	0.61	0.83		
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	123	94	126		
Modulo di Young [kg/cm ²]	118	90	122		
γ [t/m ³]	2.02	1.94	2.02		
γ_{sat} [t/m ³]	2.22	2.13	2.22		
Profondità di campionamento [m]	-	-	-	4.5-4.9	6.5-7.1
c' [KPa] - Taglio diretto	-	-	-	0.03	0.19
Φ' [°] - Taglio diretto	-	-	-	26.34	25.91
c' [KPa] - Taglio residuo	-	-	-	-	-
Φ' [°] - Taglio residuo	-	-	-	22.22	19.83

Figura 50 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *parte superficiale, alterata, del substrato geologico*.

	DPSH P5	DPSH P6	DPSH P7
Spessore strato geotecnico [m]	1.3	2.2	1.4
Nspt [-]	28.06	28.19	30.56
Coesione non drenata [kg/cm ²]	1.89	1.90	2.06
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	287	289	313
Modulo di Young [kg/cm ²]	280	281	305
γ [t/m ³]	2.14	2.14	2.17
γ_{sat} [t/m ³]	2.31	2.32	2.30

Figura 51 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Segue una tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici ricavati dalle indagini penetrometriche per la *parte integra, sovraconsolidata, del substrato geologico*.

	DPSH P5	DPSH P6	DPSH P7	044066P212-TD394	044066P243-TD501	044066P202-TD362
Spessore strato geotecnico [m]	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.6			
Nspt [-]	54.46	49.50	48.99			
Coesione non drenata [kg/cm ²]	3.68	3.34	3.31			
Modulo Edometrico [kg/cm ²]	557	506	501			
Modulo di Young [kg/cm ²]	544	495	489			
γ [t/m ³]	2.30	2.30	2.30			
γ_{sat} [t/m ³]	2.38	2.38	2.38			
Profondità di campionamento [m]	-	-	-	16.0-16.5 da quota +3.0 slm (via Pasubio)	19.2-19.8 da quota 0.0 slm (porto)	21.7-22.3 da quota 0.0 slm (porto)
c' [KPa] - Taglio diretto	-	-	-	2.94 0.03 Kg/cm ²	18.0	18.4
Φ' [°] - Taglio diretto	-	-	-	22.31	24.0	25.3

Figura 52 - Tabella di sintesi dei principali parametri fisico-meccanici e geotecnici.

Riportiamo di seguito la stratigrafia derivante dalla perforazione a carotaggio continuo 044066P359SS1092 (ex-S2 nell'archivio di lavoro) realizzata all'interno dell'area di frana. Tutte le indagini puntuali e lineari sono consultabili nella struttura di archiviazione informatica dei dati [3].

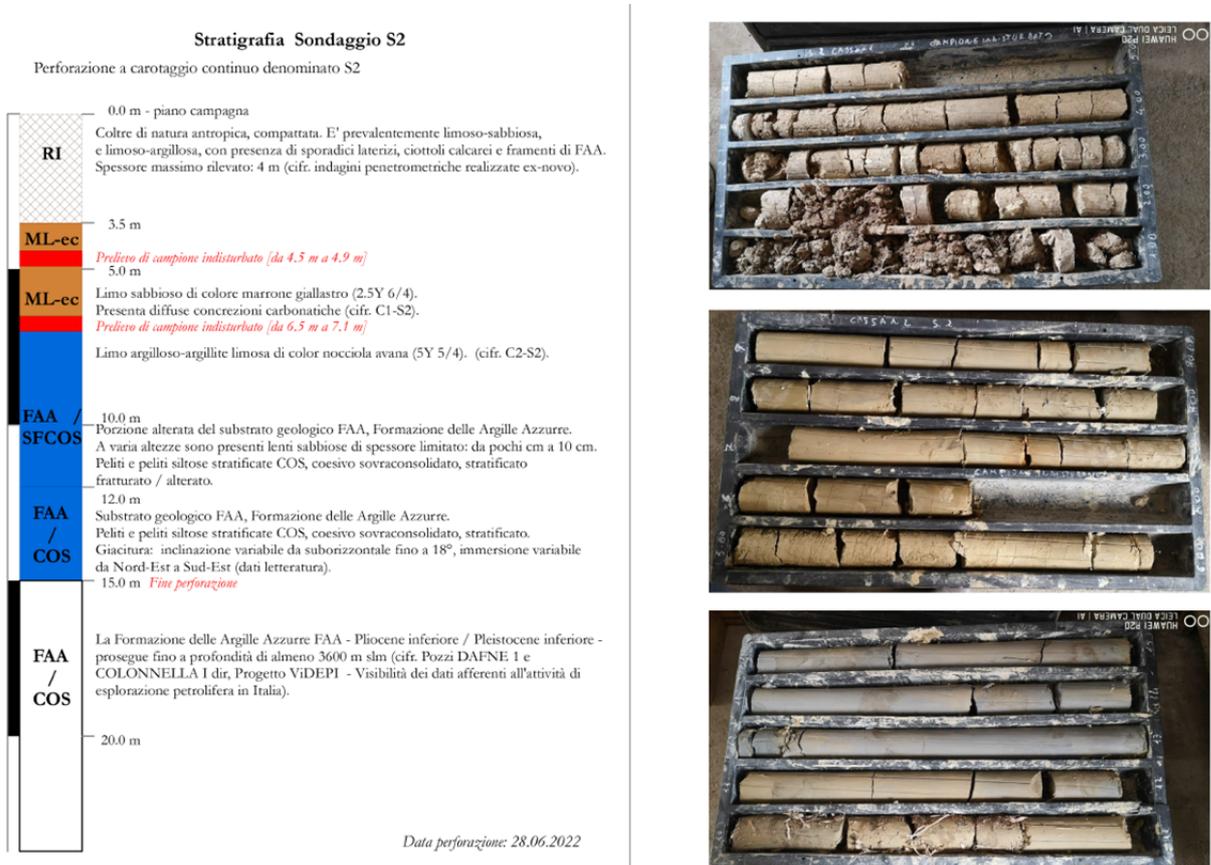


Figura 53 - Indagine puntuale 044066P359SS1092.

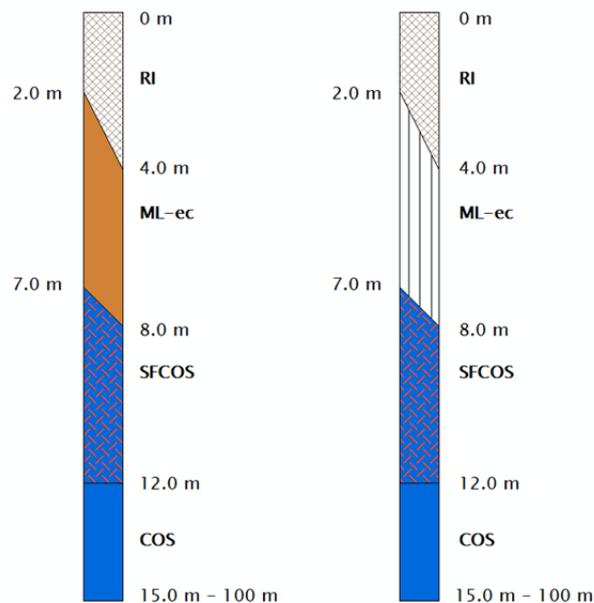


Figura 54 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato "frana ex-Cava di Argilla".

4.2. Misura dei microtremori a stazione singola (HVSR)

Relativamente alle misure dei rumori ambientali sono state eseguite n. 7 (sette) indagini *ex novo* con strumentazione e *software* della MAE - Molisana Apparecchiature Elettroniche: acquirettore Vibralog, sensore di superficie da 2 Hz. L'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è pertanto coperta con n. 7 (sette) misurazioni dei rumori strumentali HVSR uniformemente distribuite:

- per lo studio del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” avente un'estensione areale di 11.2651 ettari (≈ 11 ha) sono state realizzate n. 4 (quattro) misurazioni di microtremori a stazione singola HVSR;
- per lo studio del secondo movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla” avente un'estensione areale di 2.752575 ettari (≈ 3 ha) sono state realizzate n. 3 (tre) misurazioni di microtremori a stazione singola HVSR.

Il metodo di misura di microtremori a stazione singola definito HVSR o H/V è una prospezione sismica basata sull'acquisizione & analisi di 20÷30 minuti del rumore sismico ambientale, ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali, senza dover utilizzare, quindi, alcuna fonte di energizzazione artificiale.

Pur non essendo in grado di fornire il dettaglio stratigrafico di una prova sismica a rifrazione o di una prova sismica *down-hole*, la tecnica HVSR ha trovato fertile campo di applicazione nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica data la rapidità con cui permette di individuare superfici di impedenza sismica, ossia quelle superfici che segnano un cambio di densità tra gli strati, che si traduce fisicamente in una variazione di velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p e V_s). L'HVSR permette di individuare il valore della frequenza fondamentale di vibrazione f_0 , detta anche frequenza di picco. Sapendo che esiste una relazione semplice fra f_0 , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il *bed-rock* sismico) e la velocità media V_s delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato, e quindi, anche alla profondità della superficie di impedenza sopra citata, seguendo specifici abachi come quello della figura seguente.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Figura 55 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza f_0 determinate dalle misure H/V [19].

È importante ricordare che si tratta di un tipo di indagine che permette di fare delle considerazioni sia di tipo qualitativo che di tipo quantitativo. Tale tecnica è stata inoltre scelta per l'applicabilità anche a livello ingegneristico, dal momento che permette di verificare possibili interferenze tra le frequenze di vibrazione del sottosuolo e quelle degli edifici/infrastrutture individuando eventuali fenomeni di risonanza sito/struttura.

I MODI DI VIBRARE DELLE STRUTTURE

Il lettore è già esperto con la misura dei modi di vibrare delle strutture, pertanto in questo capitolo non ce ne occuperemo in dettaglio. Diremo solo che state proposte numerose formule semiempiriche per il calcolo del periodo proprio di una struttura in funzione della sua altezza e della sua tipologia. Tra le varie formule proposte ne consideriamo due entro le quali si colloca la maggior parte delle altre, ovvero quelle proposte rispettivamente da Chopra e Goel (2000) e Hong e Hwang (2000) per strutture in cemento armato:

$$T = 0.0294 A^{0.804} \quad T = 0.067 A^{0.9}$$

Figura 56 - Modi di vibrare delle strutture [19, 20, 21].

A titolo di esempio riportiamo un grafico dei valori max. ÷ min. di frequenza di vibrazione degli edifici in funzione dell'altezza. Tale grafico è utile a individuare eventuali fenomeni di risonanza sito/struttura.

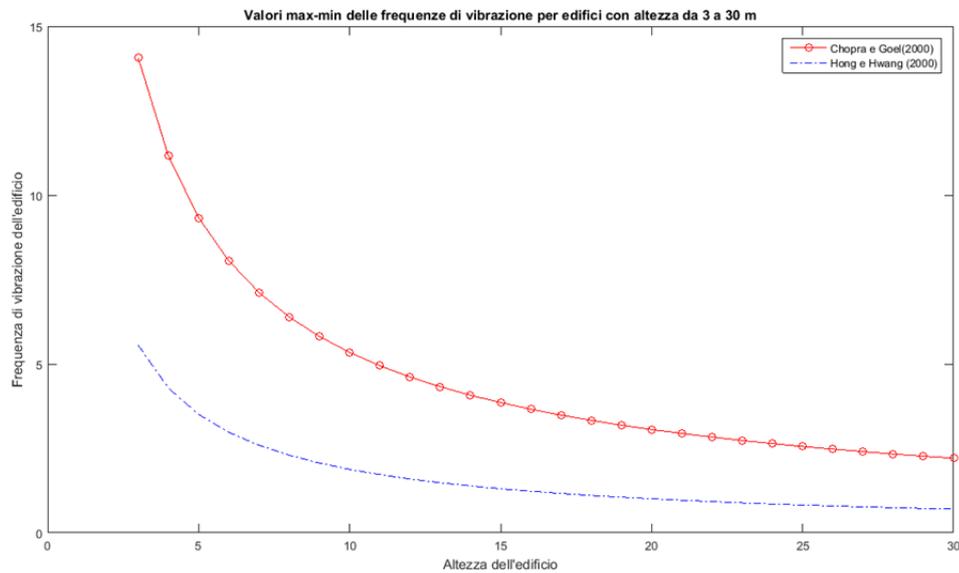


Figura 57 - Relazione esistente tra la frequenza di risonanza di un edificio nei modi fondamentali di vibrazione e l'altezza dello stesso: le due linee indicano i valori max.÷min. di riferimento nella letteratura internazionale [19, 20, 21].

Tutte le indagini sono state condotte con un campo di frequenza fino a 20 Hz, ricordando che ai fini ingegneristici i valori di interesse vanno da 0.1 a 20 Hz, poiché è questo il *range* delle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture antropiche.

Nelle figure seguenti è riportata la frequenza fondamentale di vibrazione f_0 - detta anche frequenza di picco - dalle indagini HVSRs eseguite nelle due aree di studio.

Le misure di vibrazioni ambientali con la tecnica HVSR non hanno messo in evidenza superfici di scorrimento nette così come dall'indagine a rifrazione in onde S non emerge un marcato contrasto di impedenza sismica fino alla massima profondità indagata.

Sulla base dei valori ottenuti è stata sia aggiornata la Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni di livello 2 sia redatta una tavola di dettaglio in scala 1:3.000 delle sole aree di studio di livello 3.

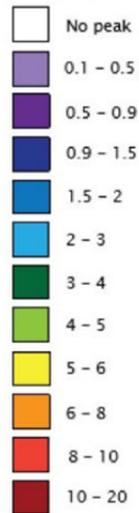
Movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”



Figura 58 - *Snapshot* Carta delle Frequenze naturali dei terreni. Sopra: movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Sotto: movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla”.

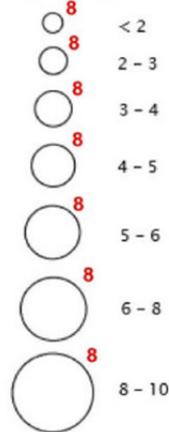
FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

Classi di frequenza (Hz)



FREQUENZA PRINCIPALE E RELATIVO VALORE (Hz)

Ampiezza picco HSVR



8 FREQUENZA SECONDARIA (QUANDO PRESENTE) E RELATIVO VALORE (Hz)

Figura 59 - Legenda d'interesse. Simbolismo della *Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni di livello 2* aggiornata.



Figura 60 - *Snapshot* Carta delle Frequenze naturali dei terreni. Miniatura della tavola di dettaglio in scala 1:3.000 delle sole aree di studio di livello 3.

4.3. Parametri geotecnici e geofisici da prove di laboratorio

E' riportata di seguito una tabella di sintesi delle indagini di laboratorio certificato eseguite sui terreni di copertura affioranti nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*.



LABORATORIO GEOTECNICO
Via Sava, 2 - 65128 Pescara (PE)
TEL. 085 4155618 Fax 0857993874 gealaboratorio@gmail.com



Data: 06/07/2022

N. Commessa: 1460722

Committente:	Geol. Primo Falcioni e Geol. Roberto D'Ambrosio
Cantiere:	S1 Frana Strada Panoramica S2 Frana Ex Cava San Benedetto del Tronto AP

S o n d a g g i o	C a m p i o n e	Profondità m.	POCKET P. Min/ Max Kg/cm ² Da / A	W %	Yn g/cm ³	Ys g/cm ³	LIMITI		GRANULOMETRIA				TAGLIO DIRETTO		TAGLIO RESIDUO		E.L.L.	TRX UU	TRX CD / CU		EDO Ed		
							LL %	LP %	G %	S %	L %	A %	C' Kpa	φ °	C' Kpa	φ °	Cu Kpa	Cu Kpa	C' Kpa	φ °	Cu operat. Kpa	Min: Max Mpa	
1	1	2,5-3,1	3-4,4	20,26	1,942	2,534	35,78	19,69		8,8	59	32,2	7,65	26,47	0,4	19,01							
1	2	5,5-6,1	0,9-3,6	20,98	1,958	2,66	N.D.	N.D.	2,7	29,1	47,7	20,5	1,96	24,4		23,62							
2	1	4,5-4,9	5,0-6,5	11,78	1,955	2,681	32,26	14,57	3,5	19,1	46,5	30,9	3,22	26,34		22,22							
2	2	6,5-7,1	3,1-6,5	21,2	2,044	2,67	35,10	18,73	0,2	1,9	58,7	39,2	18,99	25,91		19,83							

Figura 61 - Tabella di sintesi delle indagini di laboratorio certificato.

Per ciascuna delle due aree di approfondimento sono state realizzate dapprima le indagini penetrometriche per determinare l'eventuale presenza di superfici di scorrimento e valutare la profondità di campionamento dei terreni sui quali condurre prove di laboratorio certificato. Sono state poi effettuate misure di microtremori su ciascun punto di indagine penetrometrica e sono state realizzate due indagini sismiche MASW (una per ciascuna area d'indagine) e una rifrazione sismica in onde S nel movimento franoso denominato "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro".

Una volta realizzate tutte queste indagini sono state effettuare due perforazioni a carotaggio continuo e prelevati, a varie profondità, all'interno dei terreni di copertura delle due aree, n. 4 campioni di terreno per indagini di laboratorio geotecnico certificato.

Per il movimento franoso denominato "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro" sono stati prelevati i seguenti campioni di terreno:

- campione 1/sondaggio 1, prelevato dalla profondità di 2.50 m alla profondità di 3.10 m dal piano di campagna attuale;
- campione 2/sondaggio 1, prelevato dalla profondità di 5.50 m alla profondità di 6.10 m dal piano di campagna attuale.

Per il movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla” sono stati prelevati i seguenti campioni di terreno:

- campione 1/sondaggio 2, prelevato dalla profondità di 4.50 m alla profondità di 4.90 m dal piano di campagna attuale;
- campione 2/sondaggio 2, prelevato dalla profondità di 6.50 m alla profondità di 7.10 m dal piano di campagna attuale.

Per una consultazione completa delle indagini si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

5. Modello del sottosuolo

5.1. Progetti di ricerca di riferimento

Sono stati consultati i seguenti progetti di ricerca di riferimento per la comprensione del modello del sottosuolo:

- Progetto ViDEPI - *Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia* ^[22];
- *World Stress Map Project* ^[23, 24];
- *Database of Individual Seismogenic Sources DISS version 3.3.0.* ^[25].

Consultando il Progetto ViDEPI - *Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia* - si è ricavato che all'interno del territorio comunale di San Benedetto del Tronto non sono disponibili alla consultazione stratigrafie di pozzi profondi. Tuttavia al confine fra San Benedetto del Tronto, Montepreandone (AP) e Colonnella (TE) è presente il pozzo denominato "Colonnella I DIR" che è rappresentativo del sottosuolo dell'area.

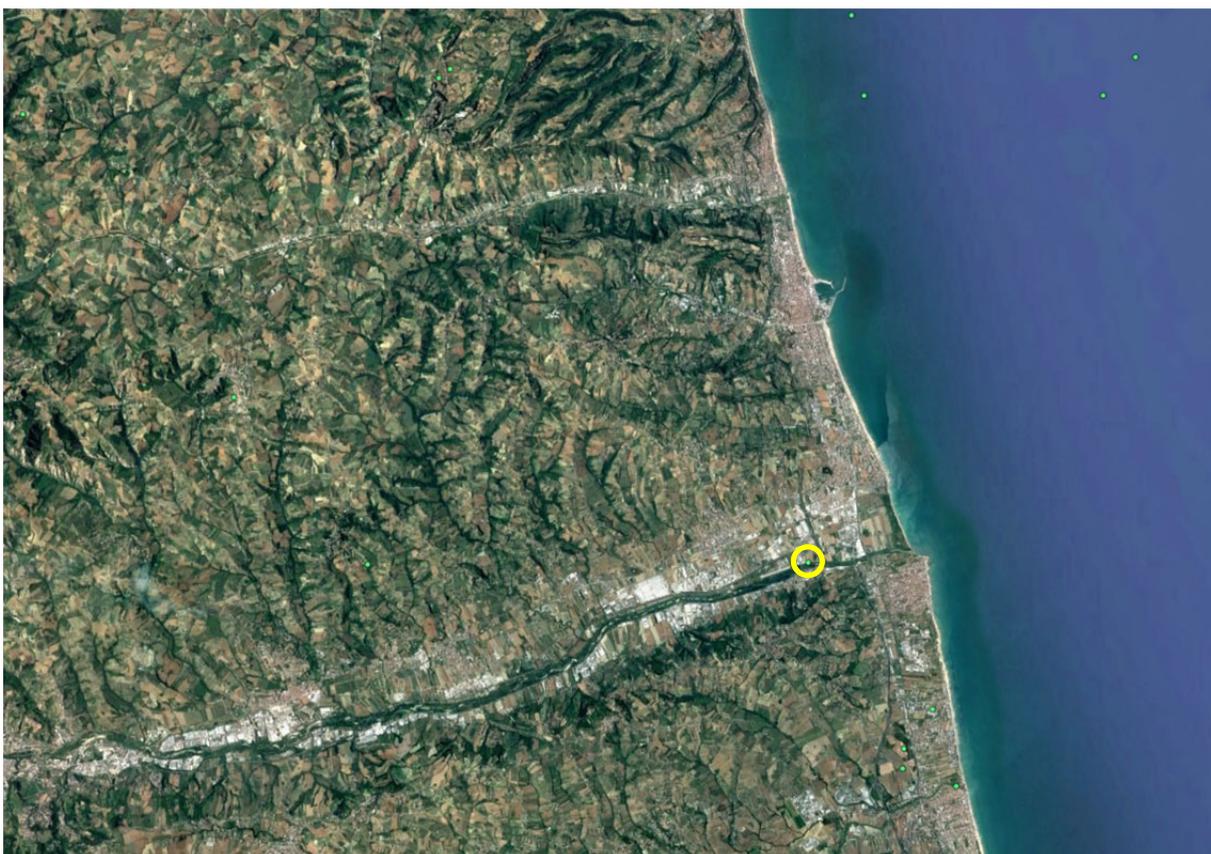


Figura 62 - *Snapshot* Immagine satellitare con ubicazione dei pozzi del Progetto ViDEPI .

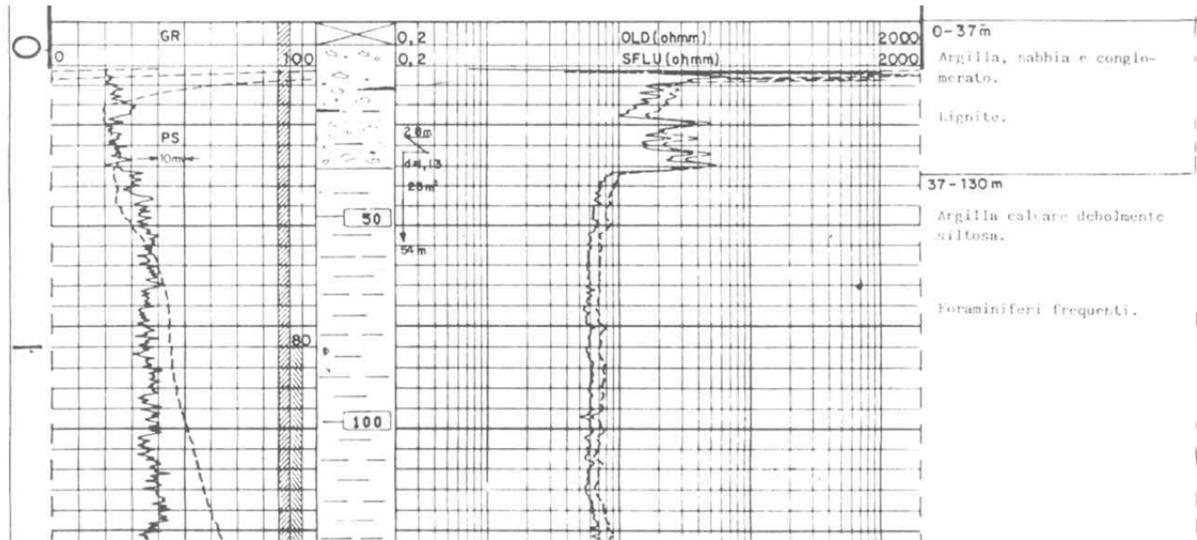


Figura 63 - Snapshot Stratigrafia fino a 130 m di profondità del pozzo "Colonnella I DIR" del Progetto ViDEPI.

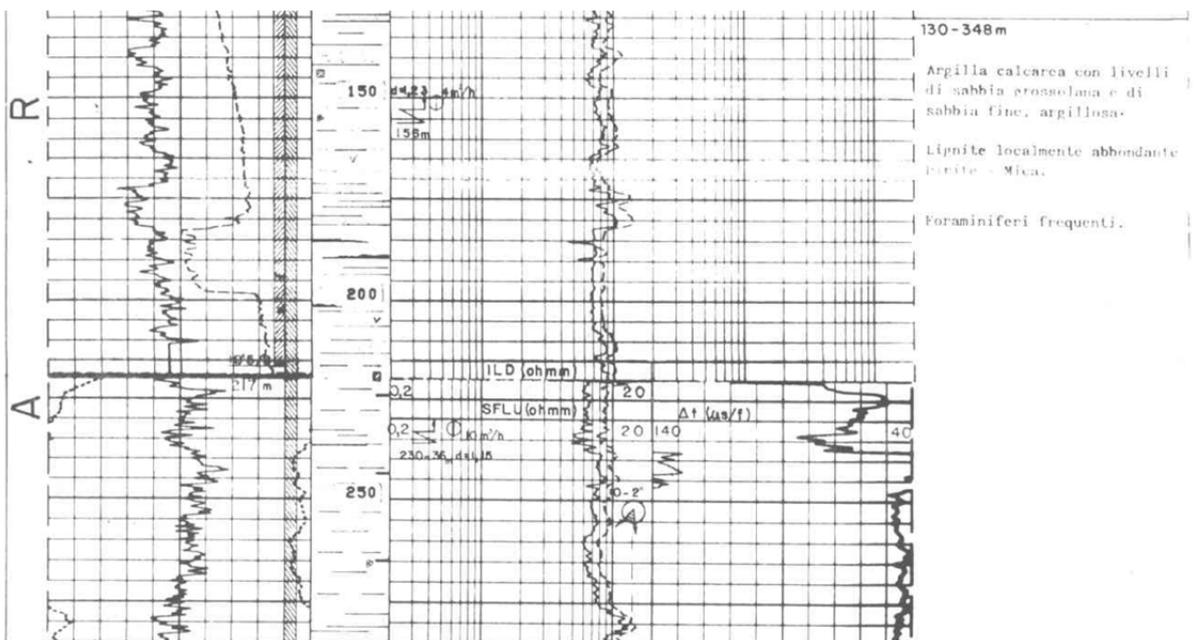


Figura 64 - Snapshot Stratigrafia da 130 m a 348 m di profondità del pozzo "Colonnella I DIR" del Progetto ViDEPI.

Consultando il Progetto *World Stress Map Project* ^[23, 24] - *Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia* - si è ricavato che in prossimità del territorio comunale di San Benedetto del Tronto sono disponibili alcuni valori di stress tettonico.

Nel Progetto *World Stress Map Project* sono presenti vari tipi di indicatori di stress tettonico:

Types of stress indicators

In the World Stress Map different types of stress indicators are used to determine the tectonic stress orientation. They are grouped into four categories:

- Earthquake focal mechanisms
- Well bore breakouts and drilling-induced fractures
- In-situ stress measurements (overcoring, hydraulic fracturing, borehole slotter)
- Young geologic data (from fault-slip analysis and volcanic vent alignments)

Figura 65 - Tipi di indicatore di stress tettonico. Nell'area di interesse sono presenti vari tipi di indicatori di stress tettonico derivanti da *earthquake focal mechanisms* e *well bore breakouts and drilling-induced fractures*.

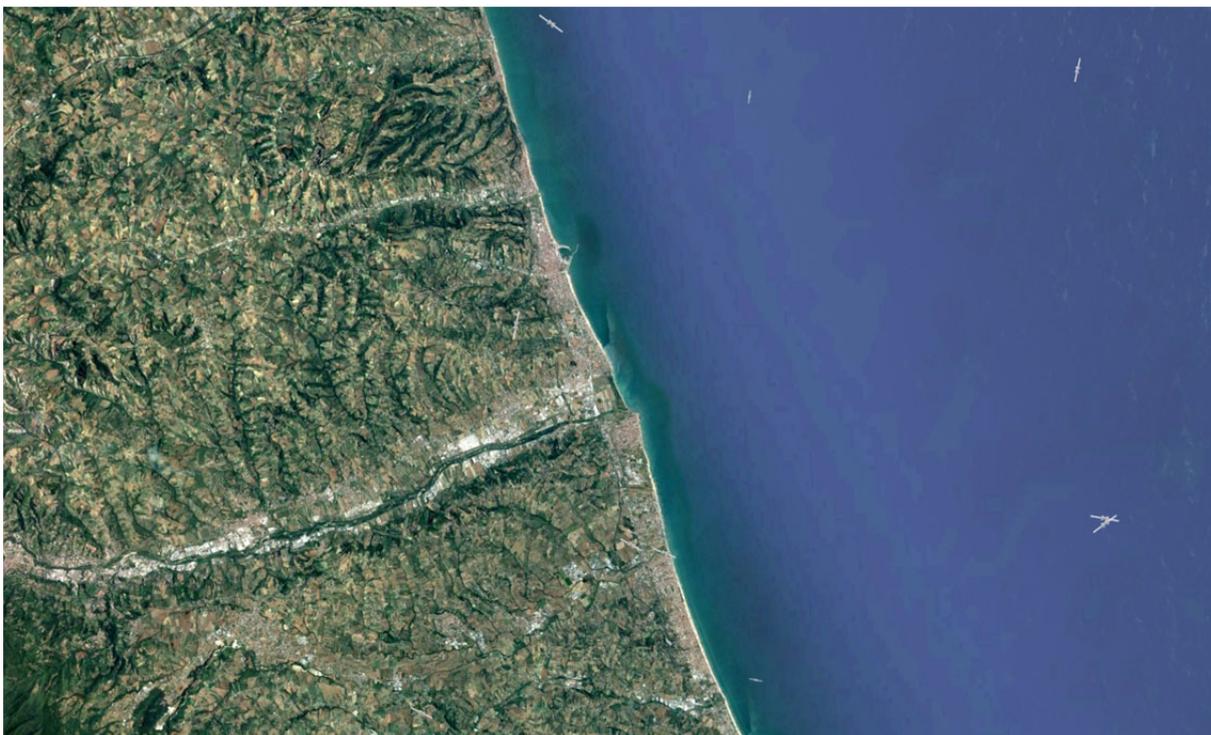


Figura 66 - *Snapshot* Immagine satellitare *GoogleEarth* tratta da *World Stress Map Project* con ubicazione dei dati di stress tettonico.

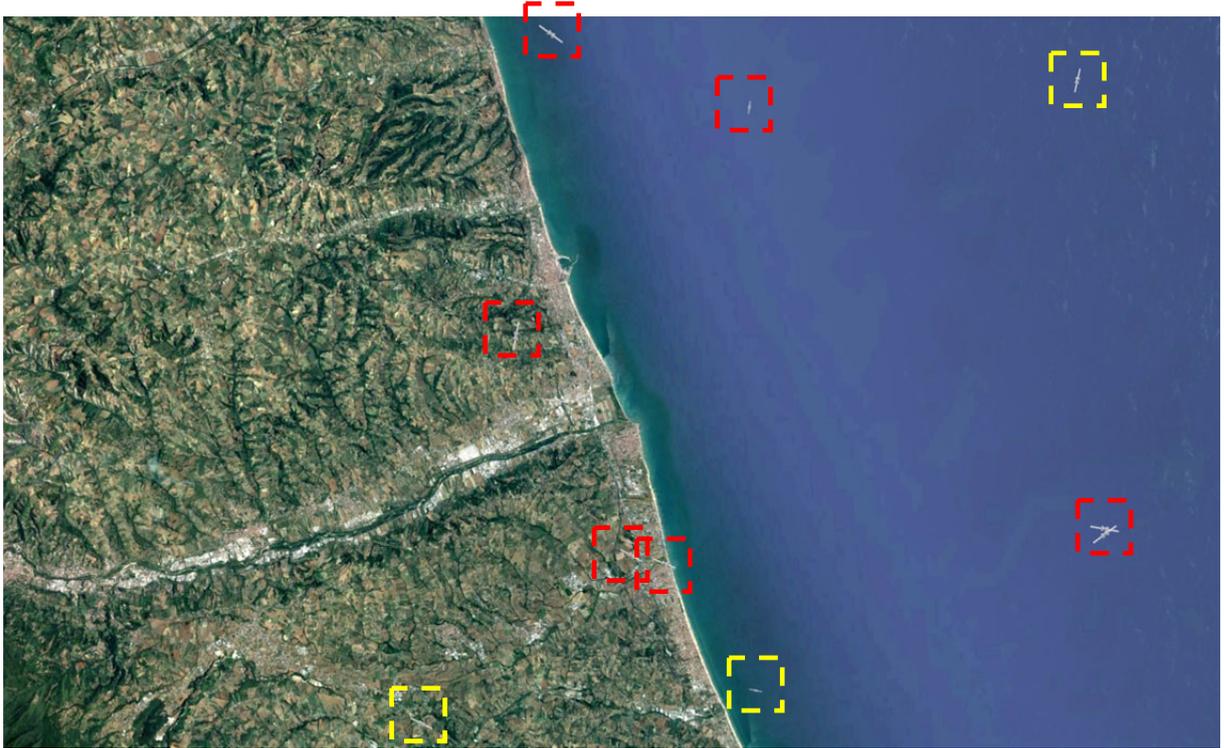


Figura 67 - *Snapshot* Immagine satellitare *GoogleEarth* tratta da *World Stress Map Project* con ubicazione degli indicatori di stress tettonico più prossimi (riquadri rossi) all'area di studio.

Gli indicatori di stress tettonico presi in esame, e che rappresentano il quadro tettonico dell'area, permettono di definire per l'area di interesse un regime tettonico compressivo (TF) e compressivo-traslato (TS).

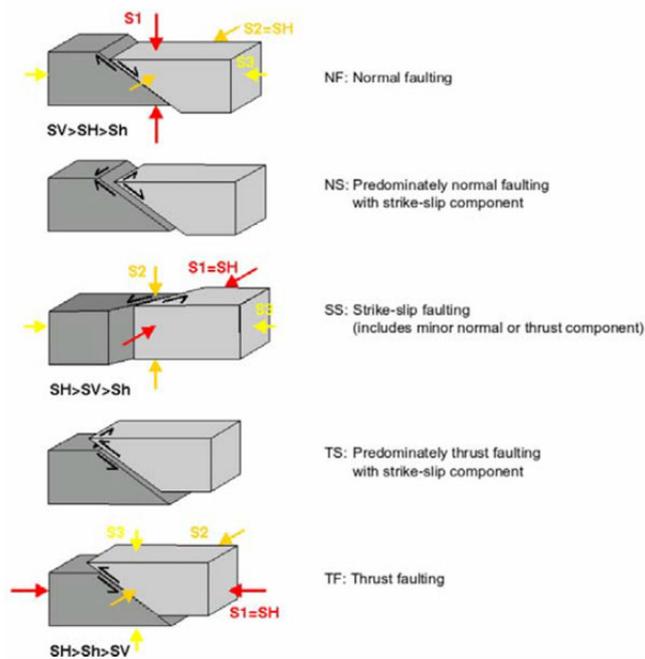


Figura 68 - *Snapshot* Illustrazione schematica dei regimi tettonici e orientazione dei principali assi di stress tettonico [26].

Consultando il *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS 3.3.0) [29] emerge che l'area d'interesse non ricade all'interno di sorgenti sismogeniche pur trovandosi nelle immediate vicinanze di alcune di esse: la sorgente *Southern Marche* [ITCS020], la sorgente *Offida* [ITIS070], la sorgente *Conrad* [ITCS156], la sorgente *S. Benedetto - Giulianova offshore* [ITCS159], la sorgente *Roseto degli Abruzzi* [ITCS134]. Prese nel loro insieme queste sorgenti sismogeniche sono in grado di generare terremoti di massima magnitudo momento $M_{W,max}$ pari a $5.5 \div 6.9$ ad una profondità massima di 15 km.

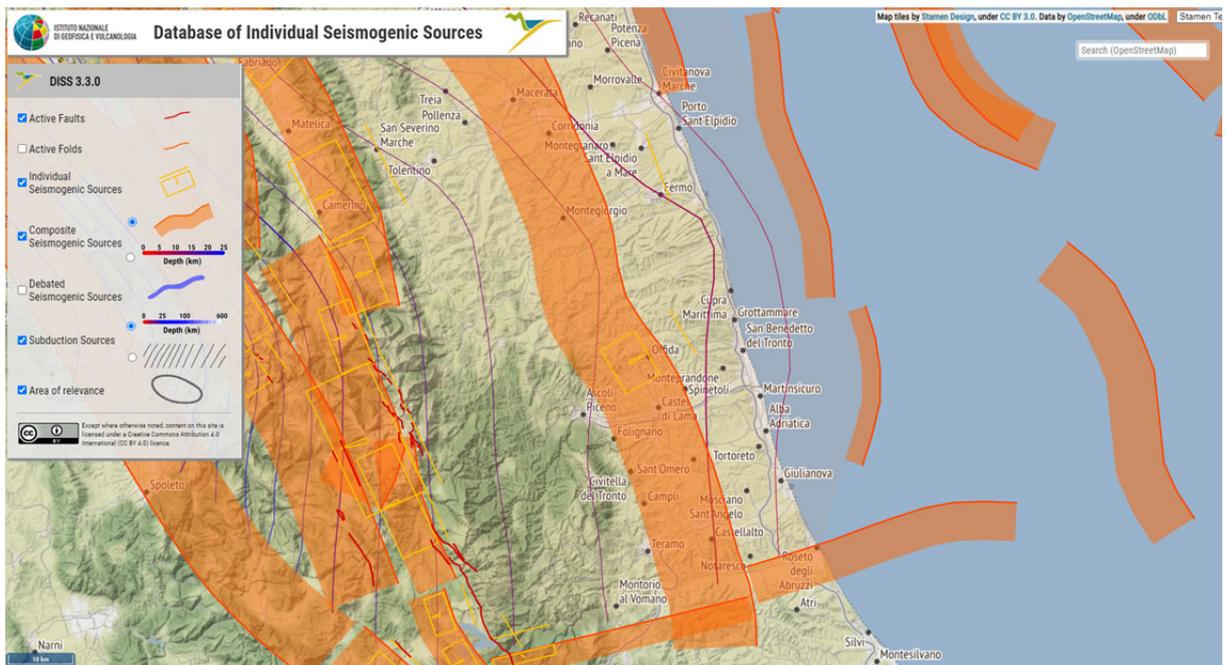


Figura 69 - *Snapshot* Database of Individual Seismogenic Sources DISS version 3.3.0.

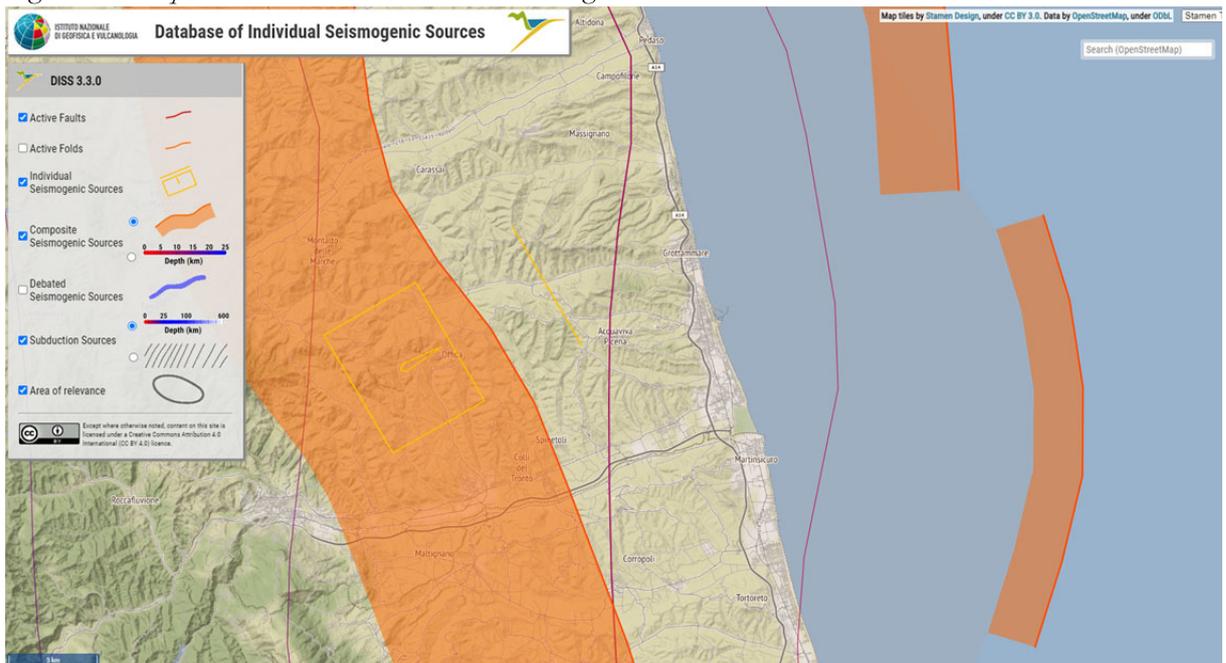


Figura 70 - *Snapshot* Database of Individual Seismogenic Sources DISS version 3.3.0.

5.2. Sezioni Geologico - Tecniche

Lo studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante prevede tra i vari servizi contrattati con l'ente comunale anche l'aggiornamento delle Carte di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 esistenti e dei file necessari alla loro realizzazione, sulla base dei risultati del presente studio (Carta delle Indagini, Carta Geologico-Tecnica, Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Carte di Microzonazione), da effettuarsi secondo gli standard tecnici nazionali e regionali di riferimento di cui all'Art. 2, nella loro versione più aggiornata disponibile alla data del primo incontro di coordinamento ed allineamento metodologico. In particolare, tutte le aree che, alla luce dei nuovi studi, non risultino più classificate come instabili per frana, verranno suddivise in MOPS in base ai criteri di MS di livello 3 e ad esse verranno attribuiti i rispettivi fattori di amplificazione (FA) mediante analisi di risposta sismica locale.

A tal proposito si indica che la Carta delle Sezioni Geologico-Tecniche riferita al livello 1 e livello 2 non è stata modificata mentre le sezioni geologico-tecniche rappresentative delle aree *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* sono allegate alla presente relazione.

Per una consultazione della Carta delle Sezioni Geologico-Tecniche di livello 1 e 2 si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

Movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”

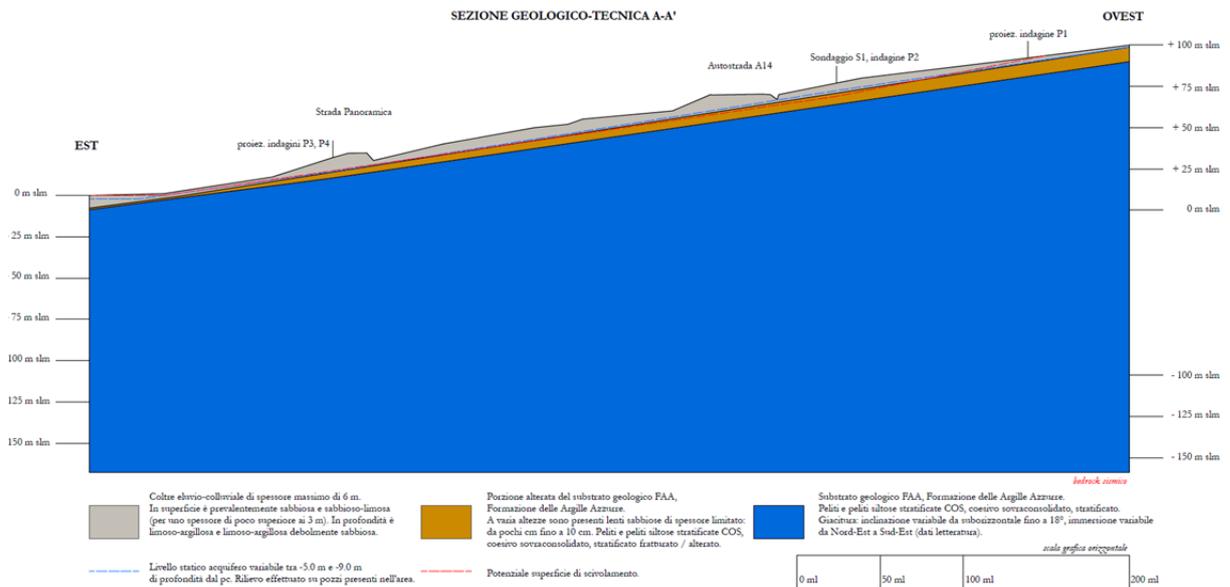


Figura 71 - Snapshot Sezione Geologico-Tecnica A-A'.

In quest'area si segnala la presenza di aree con coperture di spessore inferiore a 3.0 m e non cartografabili. Si indica infatti che dopo i vari incontri con la Commissione Tecnica e i Referenti del Servizio Protezione Civile della Regione Marche si è ritenuto opportuno - in linea gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2, pag. 50* - non cartografare la porzione di *coltre colluviale più superficiale, prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa, derivante dal disfacimento e trasporto della litofacies arenacea della Formazione geologica di Fermo (FEMc)* in quanto gli spessori di detta coltre sono generalmente inferiori a 3.0 m e non cartografabili.

Pertanto i terreni rappresentati sotto con sigla SM-tm sono stati accorpati alla coltre eluvio-colluviale avente sigla ML-ec.

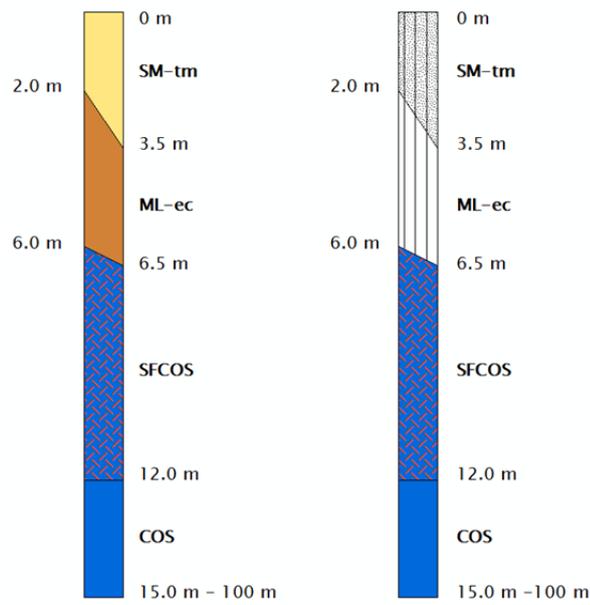


Figura 72 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Situazione stratigrafica non cartografabile.

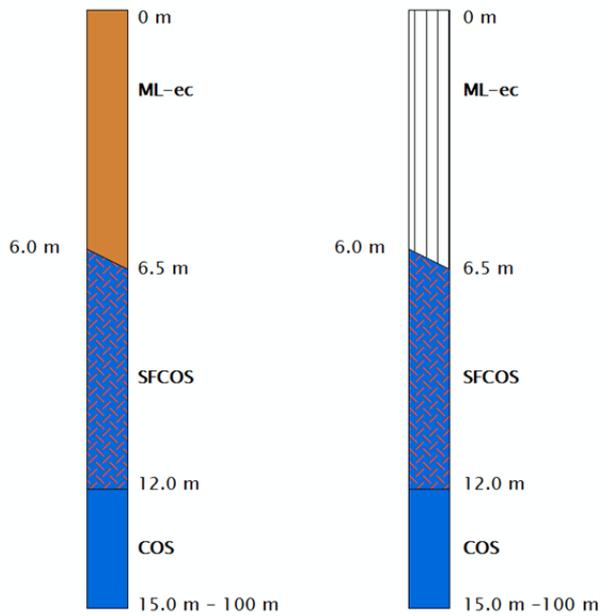


Figura 73 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Situazione stratigrafica cartografata.

Movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla”

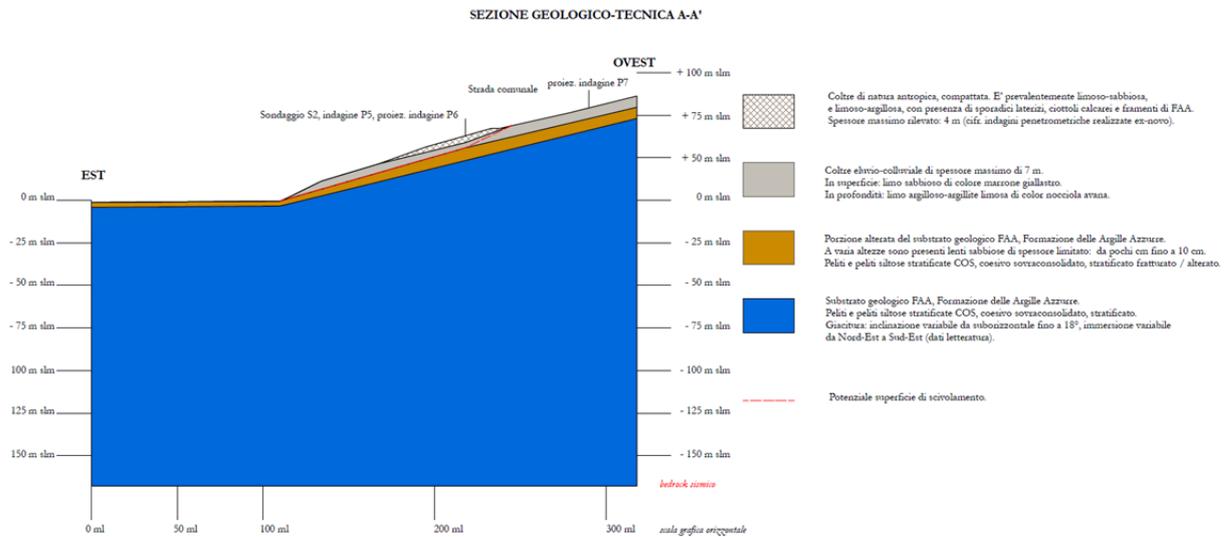


Figura 74 - Snapshot Sezione Geologico-Tecnica A-A'.

In quest'area si segnala la presenza di aree con coperture di spessore inferiore a 3.0 m e non cartografabili. Si tratta della *coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa, e limoso-argillosa, con presenza di sporadici laterizi* che risulta avere spessori variabili: localmente fino a 4 m ma generalmente inferiori a 3.0 m e non cartografabili.

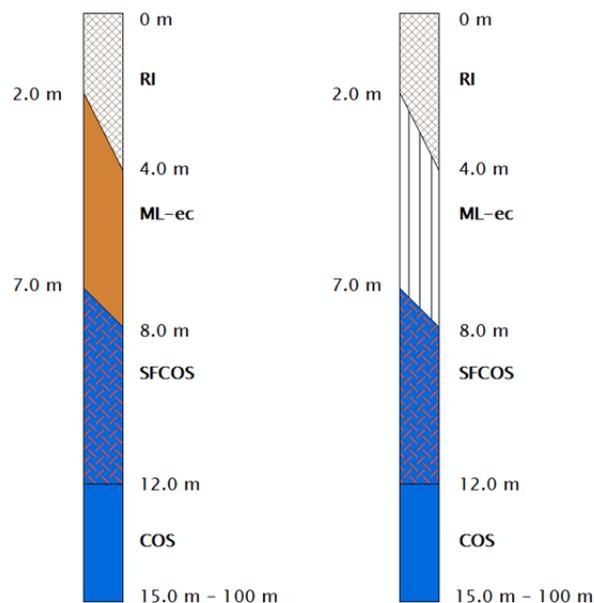


Figura 75 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Situazione stratigrafica non cartografabile.

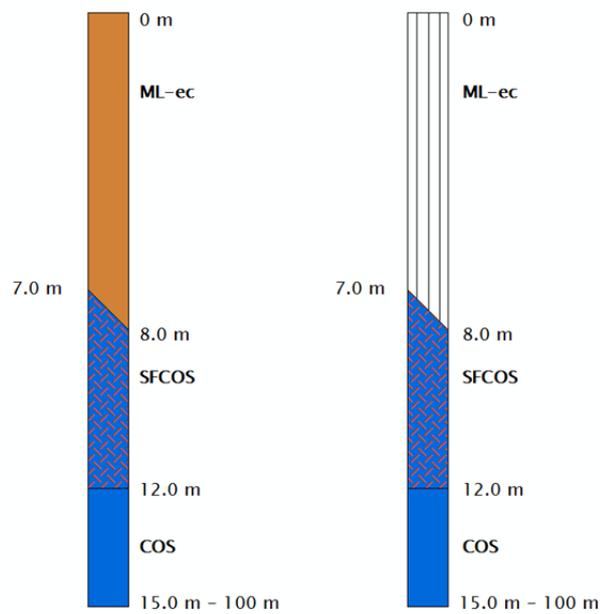


Figura 76 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Situazione stratigrafica cartografata.

5.3. Unità geologico-tecniche

La suddivisione dei litotipi in classi geologico-tecniche predefinite permette di individuare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazioni locali o di instabilità. La descrizione delle litologie si basa sull'*Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985), che classifica i litotipi mediante l'utilizzo di due sigle; inoltre vengono associati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura.

Per quanto riguarda la rappresentazione in base agli *Standard* di Rappresentazione e Archiviazione Informatica degli Studi di Microzonazione Sismica ^[3] nella Carta CGT vengono distinte due tipologie di unità geologico-tecniche: i terreni di copertura e il substrato geologico. Per le tipologie di terreni di copertura affioranti nell'intero territorio comunale si rimanda alle Relazioni Illustrative di livello 1 e livello 2.

Nell'area di studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante denominata movimento franoso "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro" affiorano terreni di copertura riconducibili alle seguenti categorie:

- ✓ *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di terrazzo marino (SM-tm); come detto in precedenza la coltre colluviale più superficiale, prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limoso, derivante dal disfacimento e trasporto della litofacies arenacea della Formazione geologiche di Fermo (FEMc) non è cartografabile in quanto gli spessori sono generalmente inferiori a 3.0 m; pertanto i terreni rappresentati sotto con sigla SM-tm sono stati accorpati alla coltre eluvio-colluviale avente sigla ML-ec;*
- ✓ *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di eluvi/colluvi (ML-ec).*

Nel sottosuolo è presente il seguente substrato geologico non sismico:

- ✓ il substrato geologico è riconducibile al substrato *coesivo sovraconsolidato, stratificato (COS)*;
- ✓ il substrato geologico (COS) si presenta inizialmente, per uno spessore di ≈ 6.0 m, alterato (SFCOS).

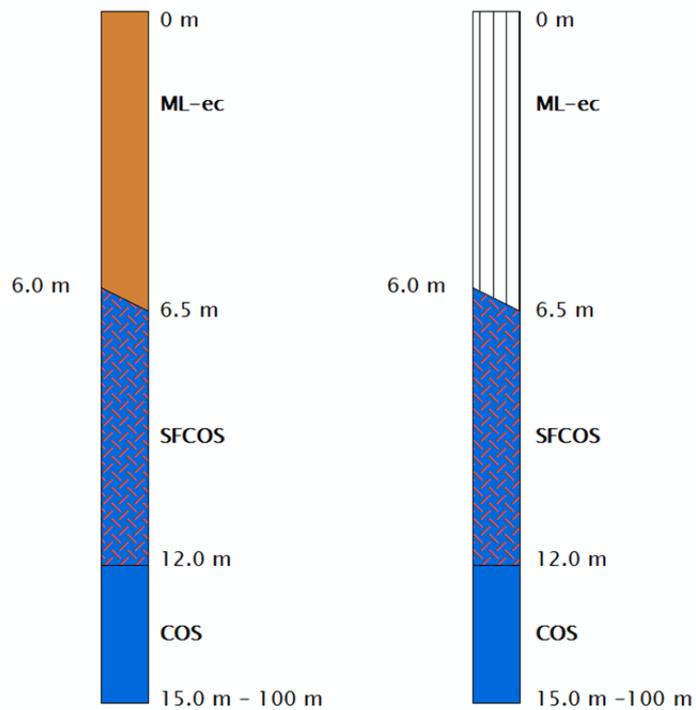


Figura 77 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Zona MOPS 2021.

Nell'area di studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante denominata movimento franoso "frana ex-Cava di Argilla" affiorano terreni di copertura riconducibili alle seguenti categorie:

- ✓ Terreni contenenti resti di attività antropica (RI); come detto in precedenza la coltre antropica non è cartografabile in quanto gli spessori sono generalmente inferiori a 3.0 m; pertanto i terreni rappresentati sotto con sigla RI sono stati accorpati alla coltre eluvio-colluviale avente sigla ML-ec;
- ✓ Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di eluvi/colluvi (ML-ec).

Nel sottosuolo è presente il seguente substrato geologico non sismico:

- ✓ il substrato geologico è riconducibile al substrato *coesivo sovraconsolidato, stratificato* (COS);
- ✓ il substrato geologico (COS) si presenta inizialmente, per uno spessore di ≈ 6.0 m, alterato (SFCOS).

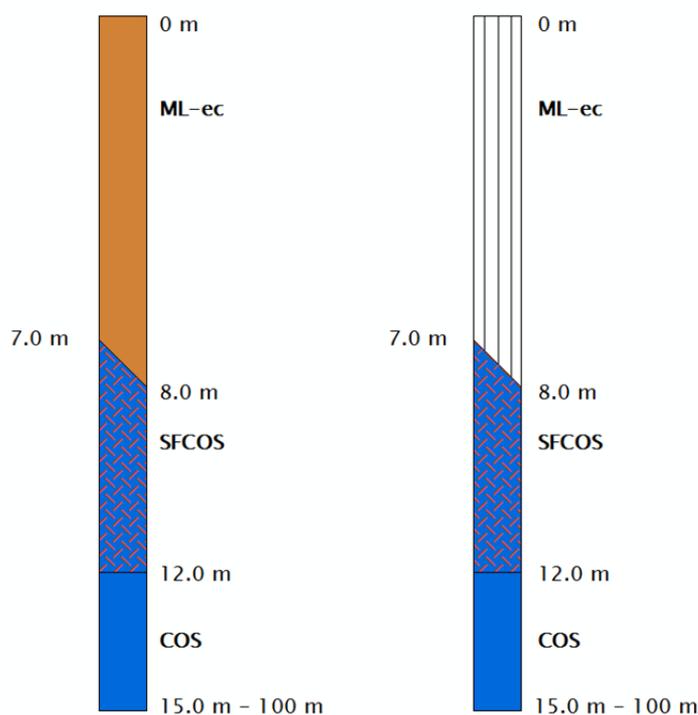


Figura 78 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro". Zona MOPS 2022.

6. Interpretazioni e incertezze

Dopo aver reperito la struttura dati informatica degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 è stata effettuata una ricerca delle pratiche edilizie private presso gli uffici dell'Amministrazione Comunale di San Benedetto del Tronto. Da tale ricerca non è stata individuata alcuna nuova indagine realizzata nelle due aree di studio e non è stata individuata, tra le indagini storiche, nessun'altra indagine rappresentativa utile alla modellazione del sottosuolo.

Si è proceduto quindi alla stesura del Piano di Indagini concordandolo con la Commissione Tecnica e con i Referenti del Servizio Protezione Civile della Regione Marche.

La profondità del substrato sismico è stata considerata “non certa” ed è stata quindi svolta un'analisi di RSL 1D con parametri variabili impostando le profondità del substrato tra i valori minimum e maximum di 65 m e 250 m. Pertanto sono state eseguite 100 simulazioni di RSL per ciascun segnale. Le analisi con STRATA sono state condotte separatamente per ciascun segnale in modo da restituire separatamente, per ciascun segnale, la media e la dev. st. log. dello spettro in superficie e dell'intensità di Arias alla profondità del bedrock. Per la scelta dei valori dell'intensità di Arias (IA), tra i valori calcolati, si indica che la profondità di riferimento è di 6.0 m (come evidenziato in giallo nelle tabelle Excel di riferimento).

Gli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 non hanno messo in evidenza la presenza del substrato geologico alterato “SFCOS - Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato/alterato”. Invece lo *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* ha permesso di rilevare uno spessore di ≈ 6.0 m di formazione alterata “SFCOS” sopra alla formazione sovraconsolidata (COS) delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q^1_a) [11, 12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA) [13]. Sono state assegnate due nuove zone MOPS: la zona 2021 e la zona 2022.

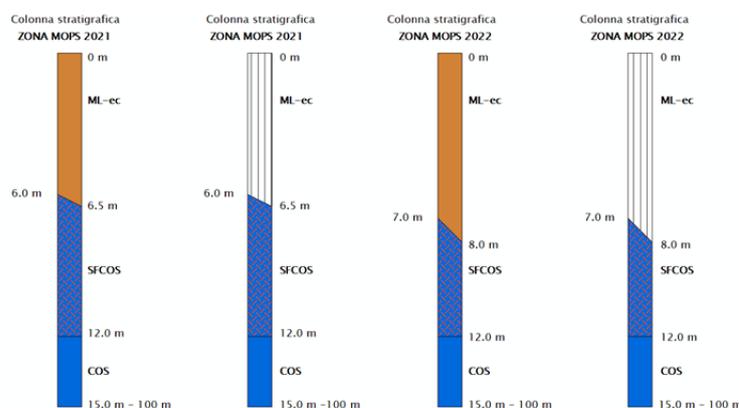


Figura 79 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”. Zone MOPS 2021 e 2022.

6.1. Interpretazioni relative all'aggiornamento dei Livelli 1 e 2

Come già indicato in precedenza una delle fasi dello *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* è consistita nell'aggiornare i livelli 1 e 2 degli Studi di Microzonazione Sismica.

Tutti gli aggiornamenti sono archiviati nella struttura di archiviazione informatica dei dati.

6.1.1. Aggiornamento degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2

Per quanto concerne l'aggiornamento delle aree oggetto dello Studio di Microzonazione Sismica di livello 1 e livello 2 si indica che tutti i poligoni posti nell'intorno delle due aree di approfondimento - "*frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro*" e "*frana ex-Cava di Argilla*" - hanno subito delle modifiche sotto vari aspetti. Gli shapefile instab, stab e geotec di livello 1 e 2 hanno subito cambiamenti nella geometria e/o negli attributi. I cambiamenti hanno interessato nel dettaglio i tre ambiti: 1) geometria, 2) FA e 3) sismoinducibilità.

I poligoni assegnati rappresentanti le due zone instabili da analizzare, a seguito dell'analisi geomorfologia e geotecnica condotta hanno subito delle modifiche nella sua geometria e sono stati soggetti ad allargamenti e suddivisioni. I movimenti franosi sono stati ri-perimetrati sulla base del rilevamento geomorfologico. La nuova perimetrazione/area risulta lievemente ridotta rispetto alla precedente.

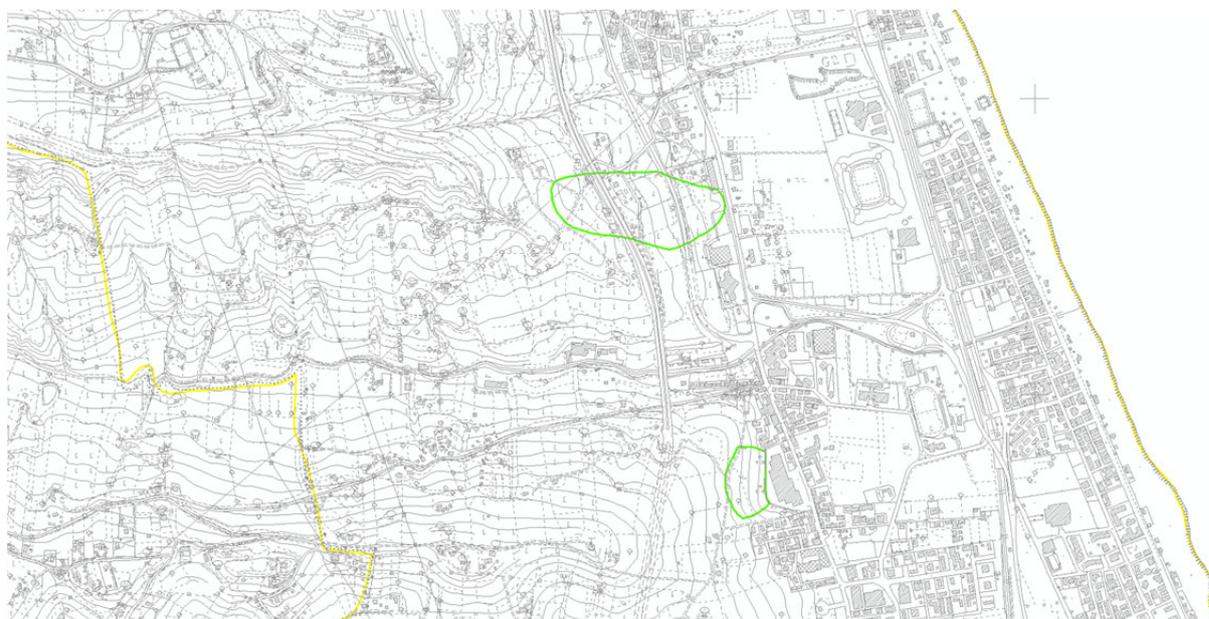


Figura 80 - Nuova perimetrazione (poligoni in verde) delle due aree di *studio di approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*.

I poligoni originari sono stati modificati (suddivisi e/o allargati) sulla base dei rilievi e delle interpretazioni svolte. Nello shapefile "instab" MS1 sono state riportate le suddivisioni e allargamenti mantenendo tuttavia i poligoni instabili provenienti dai vari cataloghi (PAI, IFFI, CARG) e ripresi nella MS di livello 2. Per lo shapefile "instab" MS23 sono state riportate le suddivisioni e allargamenti e inoltre si è tenuto conto anche di quanto indicato in merito ai fattori di amplificazione FA e alla sismoinducibilità. Sono stati interessati dalle modifiche, e quindi cambiati anche gli shapefile "geotec" e "stab" MS1 e "stab" MS23.

Le modellazioni 1D effettuate hanno prodotto una nuova terna di fattori di amplificazione per i poligoni indagati, diversi da quelli attribuiti ai poligoni instabili tramite gli abachi nella MS di Livello 2.

In particolare, l'area di *studio di approfondimento di livello 3* denominata movimento franoso "*frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro*" si ricorda che l'area non ricade all'interno dell'area di studio di MS di livello 2 e pertanto non è presente una terna di fattori di amplificazione da poter confrontare: è stato pertanto utilizzato l'FA ricavato dallo studio di RSL ed è stata istituita una nuova zona da assegnare all'area oggetto di studio (cambiando le ultime 4 cifre del codice Tipi_i del poligono instabile sia nello shapefile instab MS1 che instab MS23).

Le analisi di RSL sui poligoni di *studio di approfondimento di livello 3* del movimento franoso "*frana ex-Cava di Argilla*" hanno prodotto FA con valori superiori / inferiori di 0.3 rispetto a quelli degli abachi nella MS di Livello 2: è stato pertanto utilizzato l'FA ricavato dallo studio di RSL ed è stata istituita una nuova zona da assegnare all'area oggetto di studio (cambiando le ultime 4 cifre del codice Tipi_i del poligono instabile sia nello shapefile instab MS1 che instab MS23). Nella Carta GT non è cambiato nulla mentre nella Cart MOPS è cambiato anche il colore di fondo con cui viene rappresentata la zona di attenzione. Nelle Carte di MS l'area è rappresentata con il colore di fondo dell'intervallo a cui appartengono i nuovi FA e con il soprassetto derivante dal valore di FRT.

A seguito delle verifiche di stabilità in condizioni dinamiche, è risultato quanto segue. Il valore di FRT è risultato inferiori ad 1 cm e pertanto - seguendo anche le indicazioni fornite dalla Commissione Tecnica - lo spostamento è da considerare trascurabile.

Comune	Frana	Spostamento medio [cm]	Note
S. Benedetto del Tronto	ex cava argilla	0.65	-
	strada panoramica	0.01	-

Figura 81 - Valore dello spostamento del blocco di Newmark ottenuto dalla media dei valori calcolati per tutti e 8 gli accelerogrammi (cifr. analisi numerica fornita dalla Commissione Tecnica).

Le analisi di livello 3 non confermano le frane - sia la “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro” sia la “frana ex-Cava di Argilla” - come sismicamente attivabili ($FRT = 0$). Le aree oggetto di approfondimento MS3 rimangono come zone di attenzione nella Carta GT e in quella MOPS. Nelle Carte di MS le aree indagate sono diventate delle zone stabili amplificabili (sono state quindi eliminate dallo shapefile instab MS23 e integrate invece nello shapefile stab MS23). I poligoni suddivisi rispetto ai poligoni originali assegnati e corrispondenti alle parti non studiate sono rimasti inalterati anche nelle Carte di MS come zone di attenzione, come nel livello 2 di MS.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

Il livello 3 degli Studi di Microzonazione Sismica - *Studi di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* - costituisce uno studio di approfondimento rispetto al livello 1 e 2 e si concretizza con la realizzazione di più elaborati cartografici quali:

- la Carta delle indagini;
- la Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni;
- la Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS);
- la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS);
- Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS).

Le indagini preesistenti e quelle appositamente realizzate per questo studio sono state archiviate in una banca dati attraverso l'utilizzo del *software* SoftMS, proposto dal Dipartimento di Protezione Civile, al fine di catalogare le informazioni seguendo un criterio di omogeneità; le informazioni presenti nella banca dati sono confluite nella Carta delle Indagini, nella quale vengono rappresentate, mediante specifica simbologia, le indagini utilizzate nello studio, indicandone la tipologie e le coordinate geografiche nel sistema di riferimento UTM WGS84 fuso 33N.

Per una consultazione delle carte di livello 3 si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

8. Elaborati cartografici

8.1. Carta delle indagini

La Carta delle Indagini, realizzata a scala 1:5.000, rappresenta le indagini preesistenti e le indagini eseguite *ex-novo* nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* del comune di San Benedetto del Tronto.

Per la realizzazione della Carta delle Indagini si procede prima all'acquisizione e catalogazione dei dati attraverso l'utilizzo del *Software* SoftMS_v4_2_0. Alle indagini puntuali e lineari pre-esistenti sono state aggiunte le seguenti indagini realizzate *ex-novo* appositamente per questo lavoro:

- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo che hanno raggiunto il substrato geologico delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q_a^1) ^[11,12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA) ^[13];
- n. 4 prelievi di campioni indisturbati per prove di laboratorio geotecnico certificato;
- N. 4 analisi di laboratorio geotecnico con analisi granulometrica, limiti di Atterberg e taglio diretto per determinazione parametri di picco, post-picco e residui;
- n. 7 misure di microtremori a stazione singola - HVSR;
- n. 7 prove penetrometriche dinamiche di tipo super pesante - *Dynamic Probing Super Heavy*;
- n. 2 indagini sismiche di tipo MASW;
- n. 1 indagine sismica a rifrazione in onde S.

8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)

La Carta Geologico-Tecnica, realizzata alla scala 1:5.000, deriva da un processo di integrazione di dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico e delle caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche dell'area (elementi tettonico strutturali, elementi geologici ed idrogeologici, instabilità di versante e forme di superficie) ed è finalizzata ad una caratterizzazione del sottosuolo, funzionale alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Nell'area di *studio di approfondimento di livello 3* denominata movimento franoso “*frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro*” affiorano terreni di copertura riconducibili alle seguenti categorie:

- ✓ *sabbie limose, miscela di sabbia e limo di terrazzo marino (SM-tm); è una coltre colluviale più superficiale, prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limoso, derivante dal disfacimento e trasporto della litofacies arenacea della Formazione geologiche di Fermo (FEMc); non è cartografabile in quanto gli spessori sono generalmente inferiori a 3.0 m; pertanto i terreni rappresentati con sigla SM-tm sono stati accorpati alla coltre eluvio-colluviale avente sigla ML-ec;*
- ✓ *limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di eluvi/colluvi (ML-ec); è una coltre eluvio-colluviale limoso argilloso debolmente sabbiosa, derivante dal disfacimento e trasporto delle formazioni geologiche affioranti e non.*

Nel sottosuolo è presente il seguente substrato geologico non sismico:

- ✓ *il substrato geologico è riconducibile al substrato *coesivo sovraconsolidato, stratificato* (COS); è la formazione geologica delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q_a^1) ^[11, 12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA) ^[13]; il substrato geologico non è affiorante nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* ed è caratterizzato da velocità delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s; l'andamento di V_s all'interno del substrato argilloso è stato assunto come debolmente crescente con la profondità; i valori misurati sono \leq a 450 m/s fino alla profondità investigata; l'andamento di V_s nel substrato argilloso è stato determinato estrapolando le misure disponibili e il tetto del bedrock sismico è stato assunto alla profondità a cui risulta $V_s = 600 \div 800$ m/s.*
- ✓ *il substrato geologico (COS) si presenta inizialmente, per uno spessore di ≈ 6.0 m, alterato (SFCOS).*

Per una lettura dettagliata della Carta Geologico-Tecnica si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

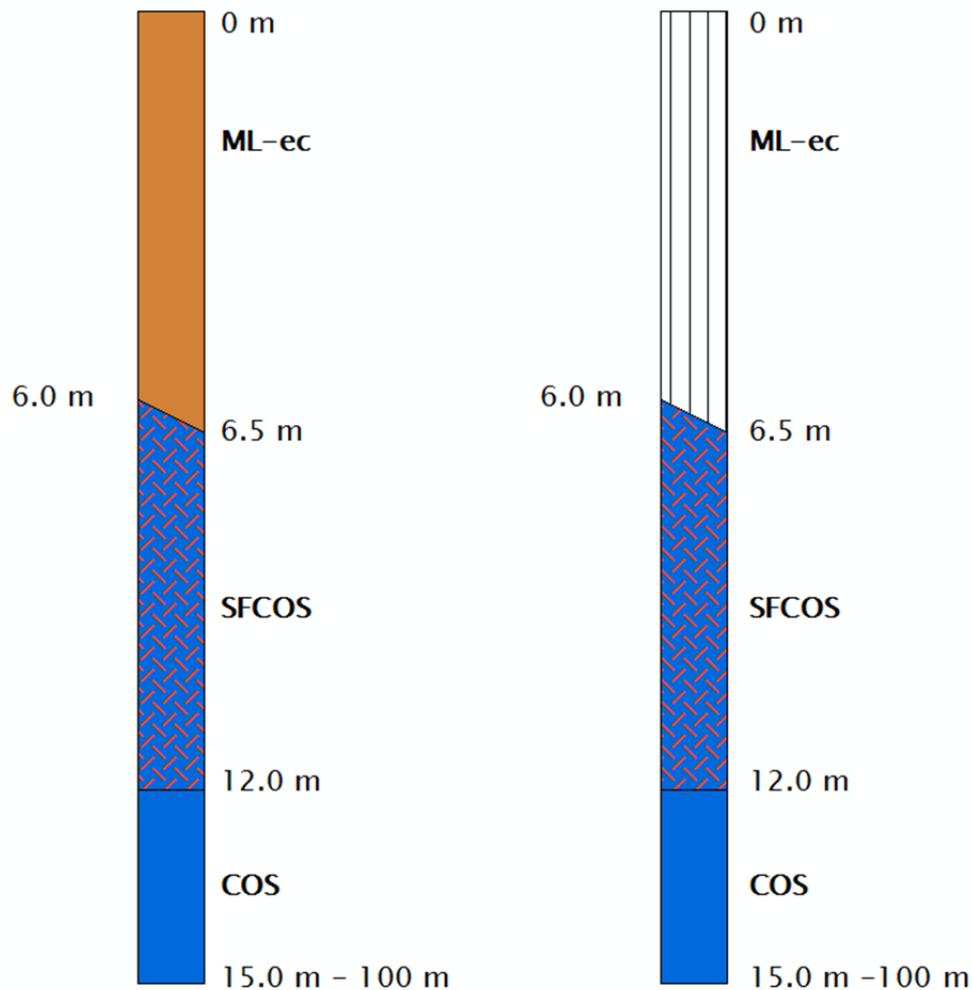


Figura 82 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”.

In pianta, la frana è perimetrata all’interno dei terreni eluvio-colluviali affioranti che sono prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi in superficie (nei primi 2.5÷3.5 m, spessore al limite del cartografabile secondo gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2, pag. 50*) e sono prevalentemente limosi e limoso argillosi debolmente sabbiosi più in profondità. Lo spessore massimo dei depositi eluvio-colluviali è di ≈ 6.0 m come risultato dalla perforazione a carotaggio continuo 044066P358SS1091 (ex-S1) realizzata a monte dell’Autostrada A14.

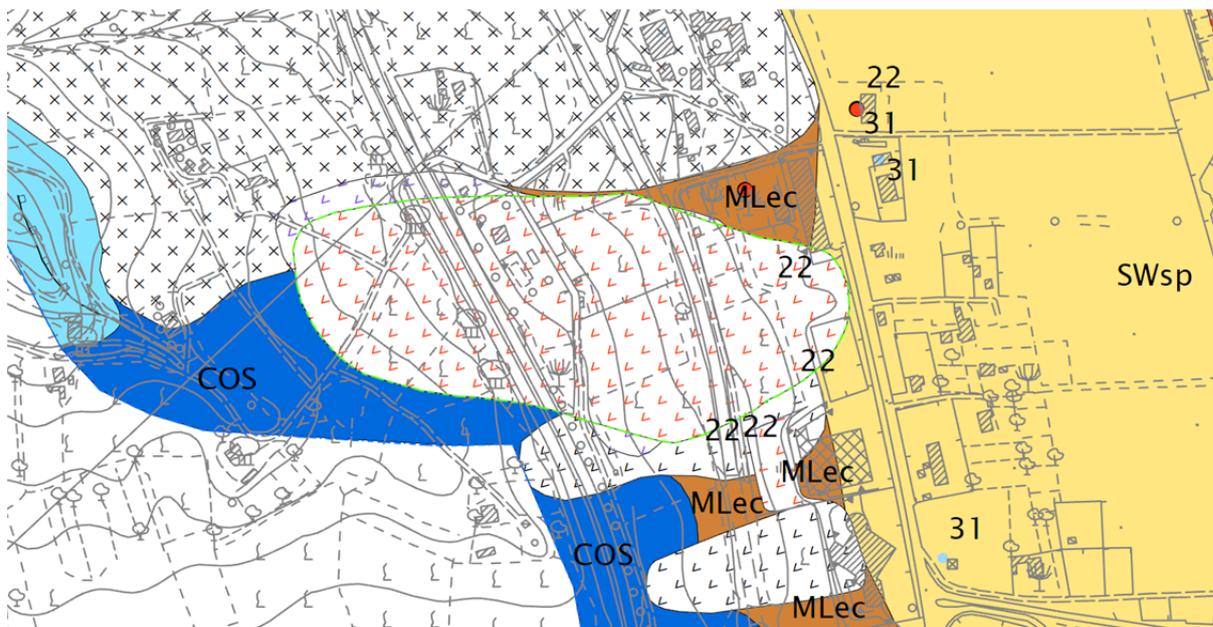


Figura 83 - Snapshot Carta CGT relativa al movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”.

La frana si sviluppa, in senso longitudinale, da Ovest ad Est partendo dalla quota topografica di ≈ 100 m slm alla quota topografica di ≈ 10 m slm; può essere convenzionalmente distinta in due porzioni rispetto all'Autostrada A14 che la attraversa scorrendo in direzione Nord-Sud.

Nella porzione di frana che sta a monte dell'Autostrada A14 sono state realizzate le seguenti indagini:

- N. 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti spinte fino al raggiungimento della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA*;
- N. 1 perforazione a carotaggio continuo fino a 15 m di profondità (spinta fino al raggiungimento della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA*) con prelievo di N. 2 campioni indisturbati, entrambi prelevati, a varie altezze, all'interno della coltre eluvio-colluviale;
- N. 2 analisi di laboratorio geotecnico con analisi granulometrica, limiti di Atterberg e taglio diretto per determinazione parametri di picco, post-picco e residui;
- N. 2 misure di microtremori a stazione singola HVSRs;
- N. 1 indagine sismica lineare MASW;
- N. 1 indagine sismica lineare di tipo Rifrazione in onde SH (stesso array della MASW);
- varie letture del livello statico e dinamico della falda acquifera tramite N. 2 pozzi presenti nell'area.

Nella porzione di frana posta a valle dell'Autostrada A14 sono state realizzate le seguenti indagini:

- N. 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti spinte fino al raggiungimento della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA*;
- N. 2 misure di microtremori a stazione singola HVSRs;
- varie letture del livello statico e dinamico della falda acquifera tramite N. 1 pozzo presente nell'area.

La verifica di stabilità è stata effettuata con il “*software slope*” considerando un modello basato su N. 3 unità geotecniche (UG):

- coltre eluvio-colluviale (UG2) di spessore di ≈ 6.0 m;
- porzione alterata della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA* (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m;
- *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA* (UG1a).

Sono stati utilizzati i parametri efficaci c' e ϕ' derivanti da prove di laboratorio di taglio diretto. Per l'unità geotecnica “UG2” sono stati calcolati - in occasione dell'ultimo incontro, del 20.09.2022, fra la Commissione Tecnica e i professionisti - i valori dei parametri efficaci c' e ϕ' post-picco derivanti dall'interpolazione delle N. 4 prove di taglio dei campioni prelevati nella coltre eluvio-colluviale (delle N. 2 frane di San Benedetto del Tronto). Dall'interpolazione sono risultati i seguenti valori: $c' = 3.0$ KPa, ϕ' post-picco = 26.6° .

Per l'unità geotecnica “UG1b” sono stati presi parametri efficaci c' e ϕ' di picco derivanti da indagini di laboratorio storiche: $c' = 3.0$ KPa, ϕ' picco = 22.31° .

Per l'unità geotecnica “UG1a” sono stati presi parametri efficaci c' e ϕ' di picco derivanti da indagini di laboratorio storiche: $c' = 18.0$ KPa, ϕ' picco = 24.0° .

Sono state ricercate superfici di rottura vincolando rispetto alle zone di ingresso e uscita in superficie (per uno e due punti), vincolando per rette tangenti passanti al contatto tra le unità geotecniche (UG) e infine valutando in modo automatico superfici di forma qualunque, vincolate. Sono state quindi selezionate N. 2 superfici di scivolamento ritenute significative, che tengono conto del modello realizzato in carta e in sezione: una passante al contatto fra il substrato geologico alterato (UG1b) e il substrato geologico integro (UG1a); una seconda superficie di scivolamento, individuata in prossimità del rilevato stradale Strada Panoramica,

sempre passante al contatto fra il substrato geologico alterato (UG1b) e il substrato geologico integro (UG1a).

La falda acquifera è libera, non in pressione, e contenuta all'interno dei depositi eluvio-colluviali e, in minor misura, nella porzione alterata della Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA (all'interno delle lenti e degli strati sabbiosi spessi da pochi cm fino a poche decine di cm). La falda acquifera è limitata, in termini d'importanza, ed è dipendente della quantità di piogge. Inoltre è fortemente influenzata dai prelievi antropici. Durante le misure effettuate nei pozzi sono state rilevati sia il livello statico sia vari livelli dinamici. Nell'analisi di stabilità si è considerato il massimo livello statico rilevato pari a $\approx 4.5 \div 5.0$ m di profondità dal piano campagna (soggiacenza).

E' stato utilizzato il metodo di Bishop (1955), in condizioni drenate. E' risultato quanto segue:

- Caso 1, con superficie di scivolamento passante al contatto fra il substrato geologico alterato e il substrato geologico integro: $F_s = 2.65$ (Analisi statica); $K_c = 0.254$ (Analisi statica); $F_s = 2.41$ (Analisi pseudo-statica);
- Caso 2, con superficie di scivolamento passante, in prossimità del rilevato stradale Strada Panoramica, al contatto fra il substrato geologico alterato e il substrato geologico integro: $F_s = 2.31$ (Analisi statica); $K_c = 0.243$ (Analisi statica); $F_s = 2.12$ (Analisi pseudo-statica).

Sono stati infine inviati alla Commissione Tecnica gli accelerogrammi calcolati nel baricentro delle N. 2 superfici di scorrimento (posto a 6 m). La profondità del substrato sismico è stata considerata "non certa" ed è stata quindi svolta un'analisi di RSL 1D con parametri variabili impostando le profondità del substrato tra i valori minimum e maximum di 65 m e 250 m.

Per la scelta dei valori dell'intensità di Arias (IA), tra i valori calcolati, si indica che la profondità di riferimento è di 6.0 m (come evidenziato in giallo nelle tabelle Excel di riferimento).

Nell'area di *studio di approfondimento di livello 3* denominata movimento franoso “*frana ex-Cava di Argilla*” affiorano terreni di copertura riconducibili alle seguenti categorie:

- ✓ *Terreni contenenti resti di attività antropica (RI); è una coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa, e limoso-argillosa, con presenza di sporadici laterizi.*
- ✓ *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di eluvi/colluvi (ML-ec); è una coltre eluvio-colluviale limoso argillosa debolmente sabbiosa, derivante dal disfacimento e trasporto delle formazioni geologiche affioranti e non.*

Nel sottosuolo è presente il seguente substrato geologico non sismico:

- ✓ il substrato geologico è riconducibile al substrato *coesivo sovraconsolidato, stratificato* (COS); è la formazione geologica delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q¹_a) ^[11, 12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA) ^[13]; il substrato geologico non è affiorante nell'area di *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* ed è caratterizzato da velocità delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s; l'andamento di V_s all'interno del substrato argilloso è stato assunto come debolmente crescente con la profondità; i valori misurati sono \leq a 450 m/s fino alla profondità investigata; l'andamento di V_s nel substrato argilloso è stato determinato estrapolando le misure disponibili e il tetto del bedrock sismico è stato assunto alla profondità a cui risulta $V_s = 600\div 800$ m/s.
- ✓ il substrato geologico (COS) si presenta inizialmente, per uno spessore di ≈ 6.0 m, alterato (SFCOS).

Per una lettura dettagliata della Carta Geologico-Tecnica si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

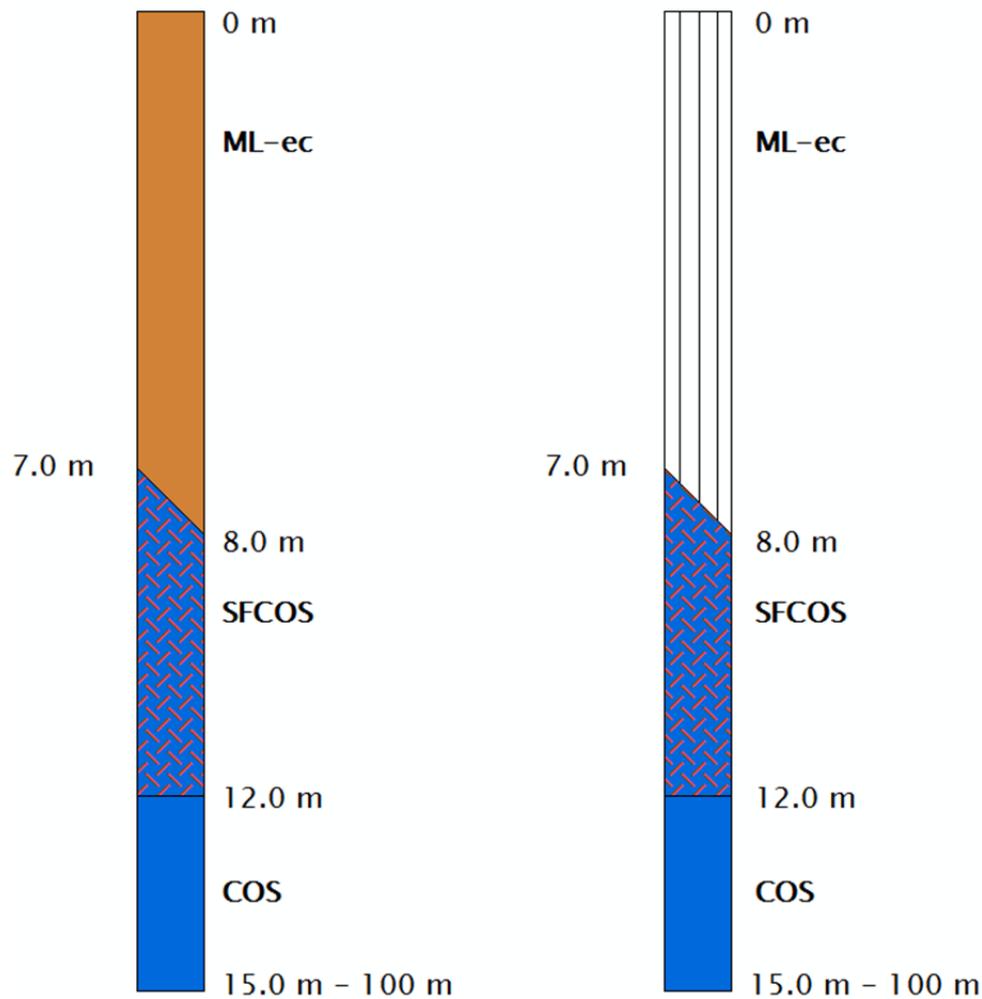


Figura 84 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato “frana ex-Cava di Argilla”.

In pianta, la frana è perimetrata per lo più all'interno dei terreni di natura antropica, compattati, prevalentemente limoso-sabbiosi e limoso-argillosi con presenza di sporadici laterizi, ciottoli calcarei e frammenti di FAA. Lo spessore massimo è di ≈ 4.0 m. Seguono depositi eluvio-colluviali prevalentemente limosi e limoso argillosi debolmente sabbiosi. Lo spessore massimo dei terreni antropici e dei depositi eluvio-colluviali è di $\approx 7.0\div 8.0$ m come risultato dalla perforazione a carotaggio continuo 044066P359SS1092 (ex- S2) realizzata nella porzione centrale del poligono assegnato.

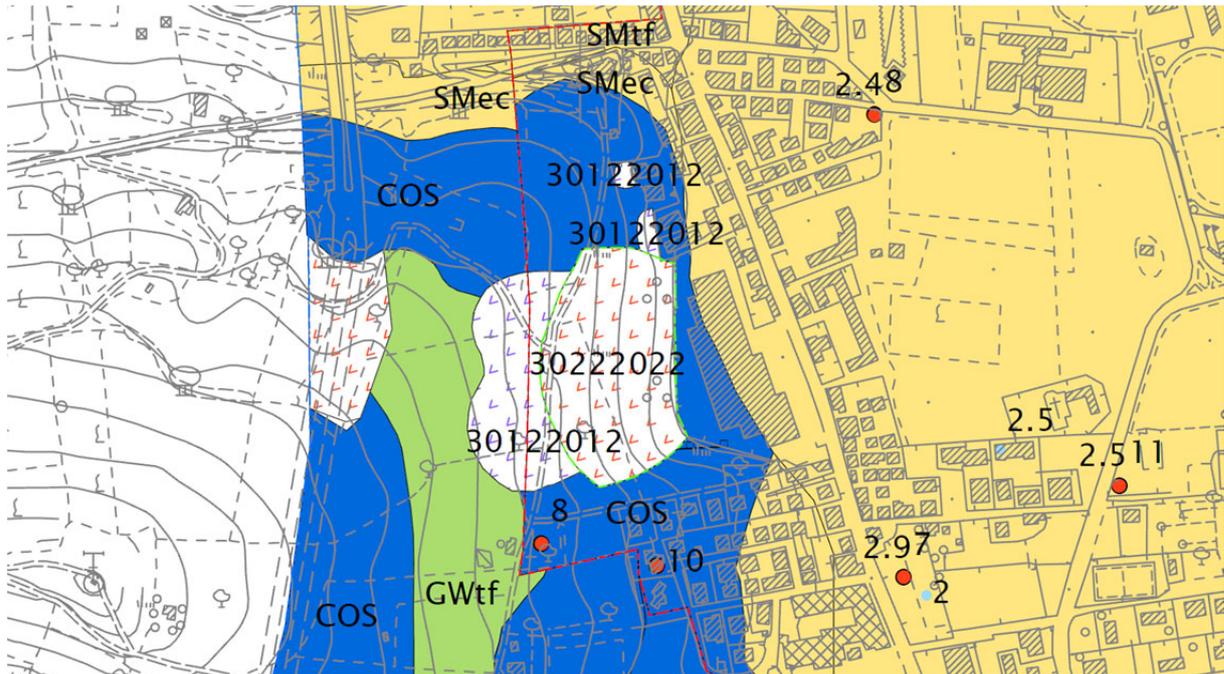


Figura 85 - Snapshot Carta CGT relativa al movimento franoso denominato "frana ex-cava di Argilla".

La frana si sviluppa, in senso longitudinale, da Ovest ad Est partendo dalla quota topografica di ≈ 50 m slm alla quota topografica di ≈ 10 m slm; nell'area di frana e nelle zone esterne più prossime sono state realizzate le seguenti indagini:

- N. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti spinte fino al raggiungimento della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA*;
- N. 1 perforazione a carotaggio continuo fino a 15 m di profondità (spinta fino al raggiungimento della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA*) con prelievo di N. 2 campioni indisturbati, entrambi prelevati, a varie altezze, all'interno della coltre eluvio-colluviale;
- N. 2 analisi di laboratorio geotecnico con analisi granulometrica, limiti di Atterberg e taglio diretto per determinazione parametri di picco, post-picco e residui;
- N. 3 misure di microtremori a stazione singola HVSRs;
- N. 1 indagine sismica lineare MASW.

La verifica di stabilità è stata effettuata con il "software slope" considerando un modello basato su N. 4 unità geotecniche (UG):

- coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa e limoso-argillosa con presenza di sporadici laterizi, ciottoli calcarei e frammenti di FAA di spessore massimo di ≈ 4.0 m (UG3);

- coltre eluvio-colluviale (UG2) prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa, di spessore di ≈ 3.0 m;
- porzione alterata della *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA* (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m;
- *Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA* (UG1a).

Sono stati utilizzati i parametri efficaci c' e ϕ' derivanti da prove di laboratorio di taglio diretto. Per l'unità geotecnica "UG2" sono stati calcolati - in occasione dell'ultimo incontro, del 20.09.2022, fra la Commissione Tecnica e i professionisti - i valori dei parametri efficaci c' e ϕ' post-picco derivanti dall'interpolazione delle N. 4 prove di taglio dei campioni prelevati nella coltre eluvio-colluviale (delle N. 2 frane di San Benedetto del Tronto). Dall'interpolazione sono risultati i seguenti valori: $c' = 3.0$ KPa, ϕ' post-picco = 26.6° . Gli stessi valori sono stati utilizzati per l'unità geotecnica "UG3", la più superficiale e non interessata dal passaggio di potenziali superfici di scivolamento.

Per l'unità geotecnica "UG1b" sono stati presi parametri efficaci c' e ϕ' di picco derivanti da indagini di laboratorio storiche: $c' = 3.0$ KPa, ϕ' picco = 22.31° .

Per l'unità geotecnica "UG1a" sono stati presi parametri efficaci c' e ϕ' di picco derivanti da indagini di laboratorio storiche: $c' = 18.0$ KPa, ϕ' picco = 24.0° .

Sono state ricercate superfici di rottura vincolando rispetto alle zone di ingresso e uscita in superficie (per uno e due punti), vincolando per rette tangenti passanti al contatto tra le unità geotecniche (UG) e infine valutando in modo automatico superfici di forma qualunque, vincolate. E' stata quindi selezionata N. 1 superficie di scivolamento ritenuta significativa, che tiene conto del modello realizzato in carta e in sezione: è passante al contatto fra il substrato geologico alterato (UG1b) e il substrato geologico integro (UG1a).

Non è stata rilevata alcuna falda acquifera, non sono presenti pozzi.

E' stato utilizzato il metodo di Bishop (1955), in condizioni drenate. E' risultato quanto segue:

- la superficie di scivolamento è passante al contatto fra il substrato geologico alterato e il substrato geologico integro: $F_s = 1.33$ (Analisi statica); $K_c = 0.128$ (Analisi statica); $F_s = 1.26$ (Analisi pseudostatica).

Sono stati infine inviati alla Commissione Tecnica gli accelerogrammi calcolati nel baricentro della superficie di scorrimento (posto a 6 m). La profondità del substrato sismico è stata

considerata “non certa” ed è stata quindi svolta un’analisi di RSL 1D con parametri variabili impostando le profondità del substrato tra i valori minimum e maximum di 65 m e 250 m. Per la scelta dei valori dell’intensità di Arias (IA), tra i valori calcolati, si indica che la profondità di riferimento è di 6.0 m (come evidenziato in giallo nelle tabelle Excel di riferimento).

8.3. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta MOPS)

La carta delle *Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*, realizzata alla scala 1:5.000, è finalizzata ad una suddivisione dell'area investigata in microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici e geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica.

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- zone stabili;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- zone di attenzione per instabilità.

8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono settori del territorio che risultano stabili ma che possono manifestare amplificazioni del moto sismico. Nel territorio comunale sono state individuate n. 10 (dieci) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (cifr. MS livello 2). Per una descrizione dettagliata della stratigrafia delle *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali* - dalla zona MOPS 2001 alla zona MOPS 2010 - si rimanda alla *Relazione Illustrativa di livello 2* (cifr. da pag. 39 a pag 42).

Nell'ambito del presente studio sono state assegnate due nuove zone MOPS: la zona 2021 e la zona 2022.

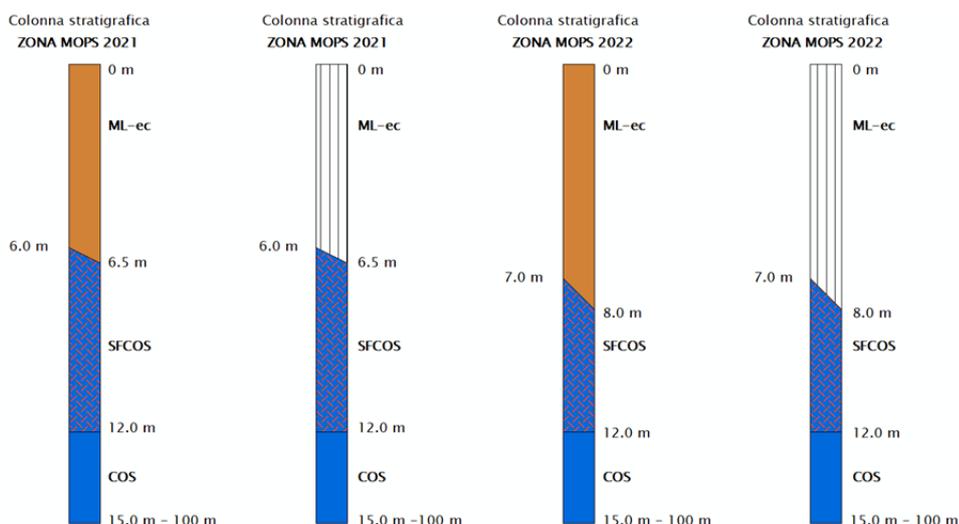


Figura 86 - Colonna stratigrafica rappresentativa del movimento franoso denominato "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro". Zone MOPS 2021 e 2022.

8.3.2. Aree caratterizzate da instabilità di versante

Per una descrizione dettagliata della stratigrafia delle *zone di attenzione per instabilità di versante* - dalla zona MOPS 2011 alla zona MOPS 2019 - si rimanda alla *Relazione Illustrativa di livello 2* (cifr. da pag. 43 a pag 46).

8.3.3. Zone di attenzione per le instabilità

Le zone di attenzione per instabilità rappresentano le porzioni di territorio in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Consultando il Progetto ITHACA^[27] sia la Zonazione Sismogenetica del Territorio Nazionale ed Aree Limitrofe^[28] sia il *Database of Individual Seismogenic Sources*^[29] è emerso che nell'area di studio non sono presenti faglie attive e capaci. Nel corso dello studio non sono state identificate faglie attive e capaci e pertanto si conferma quanto indicato dalla cartografia ufficiale^[27, 28].

Studi di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante - ai sensi della O.C.D.P.C. n. 780 del 20/05/2021 - Comune di San Benedetto del Tronto, Provincia di Ascoli Piceno, Regione Marche - Soggetto realizzatore: Raggruppamento Temporaneo fra i professionisti Geol. Primo FALCIONI [Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria - S.A.G.I. S.R.L.], Geol. Roberto D'AMBROSIO e Geol. Junior Massimiliano MARCHETTI - Data: 15 Gennaio 2023

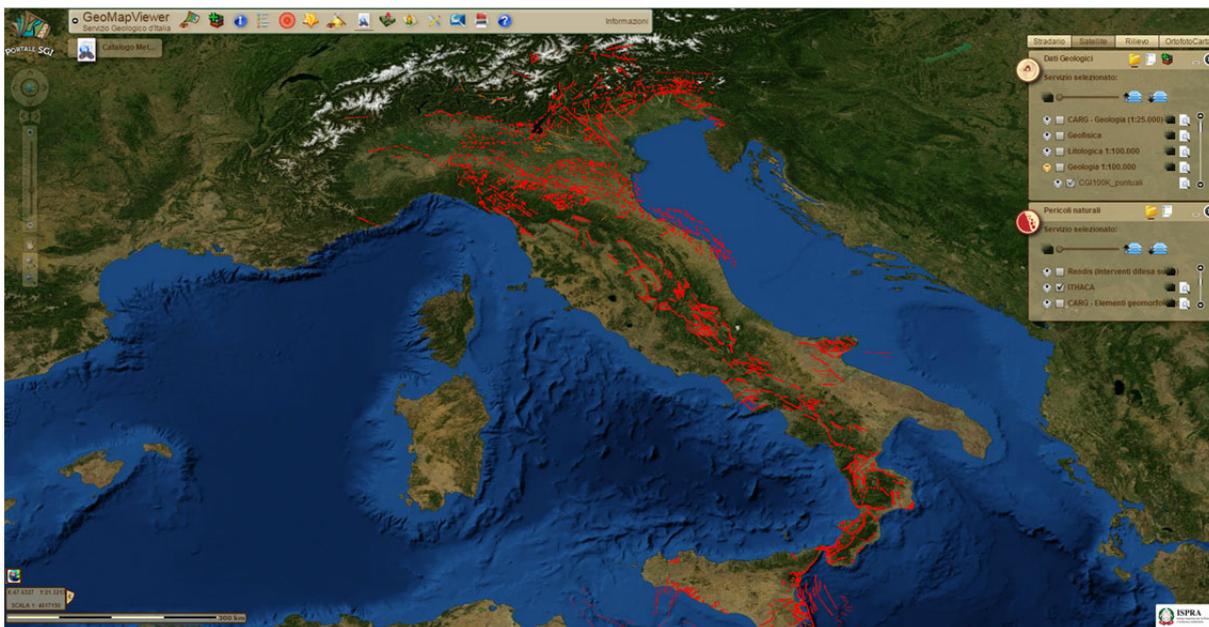


Figura 87 - *Snapshot* ITHACA - Catalogo delle faglie capaci. ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia.

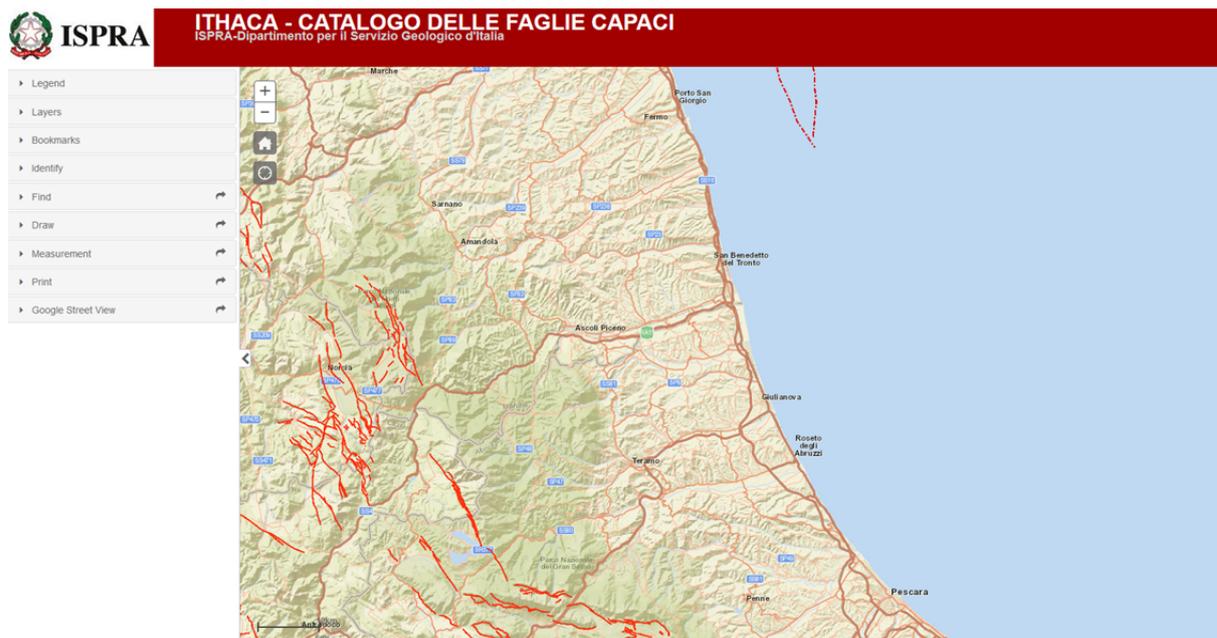


Figura 88 - *Snapshot* ITHACA - Catalogo delle faglie capaci. ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia.

Si riporta di seguito lo schema della Zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed aree limitrofe [28]. Si ricava che l'area di studio all'interno del Comune di San Benedetto del Tronto è posto nella fascia sismogenetica padano-adriatica in compressione (2.1) dove sono attesi meccanismi di fagliazione di tipo *thrust* e *strike-slip*.

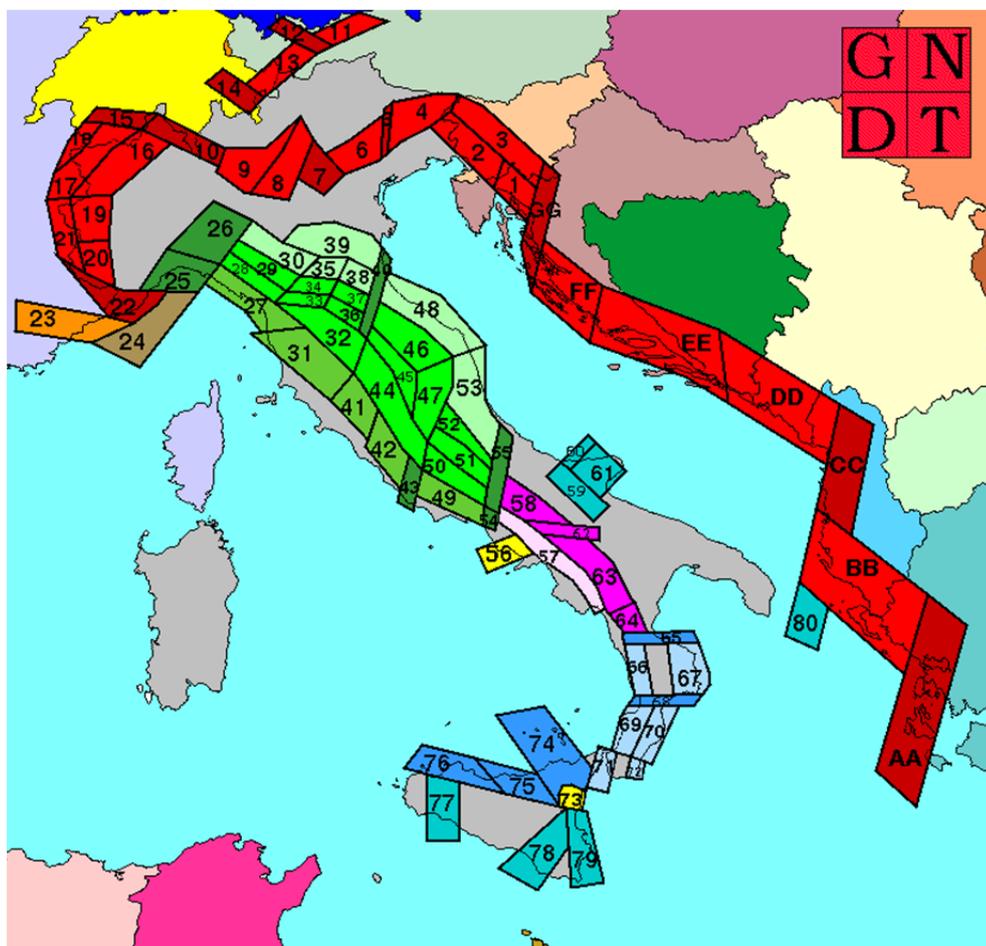


Figura 89 - Snapshot Zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed aree limitrofe.

- B. Zone legate al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica.**
- 2.1. Fascia padano-adriatica in compressione. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip
 - 2.2. Fascia intermedia. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip
 - 2.3. Fascia tirrenica in distensione. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip
 - 2.4. Zone di svincolo (transfer). Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.
- Non è ancora definitivamente chiarito se l'Arco Calabro appartiene a questo gruppo o al gruppo 3. Nella prima ipotesi:*
- 2.5.a. Fasce sismogenetiche longitudinali. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip
 - 2.5.b. Zone di svincolo. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip

Figura 90 - Legenda d'interesse.

8.4. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)

Si riportano di seguito degli estratti delle tre carte di MS con la stima dei valori del fattore di amplificazione calcolati sugli spettri in pseudoaccelerazione negli intervalli di integrazione 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.



Figura 91 - *Snapshot* Carta MA FA 01-05 s s relativa al movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”.

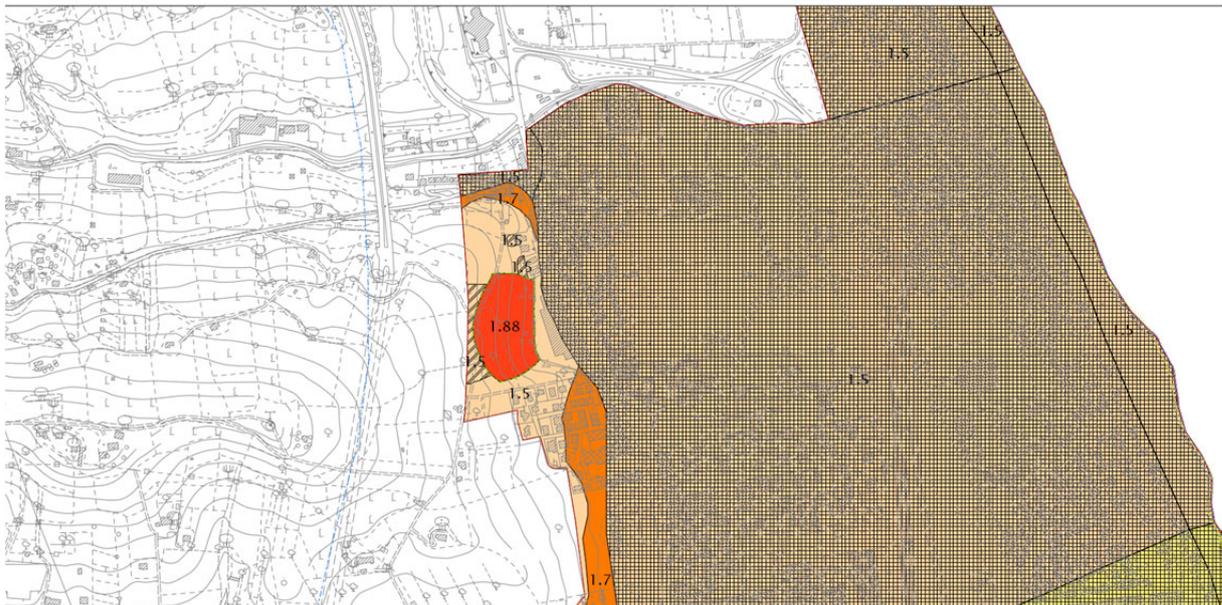


Figura 92 - *Snapshot* Carta MA FA 01-05 s s relativa al movimento franoso denominato “frana ex-cava di Argilla”.

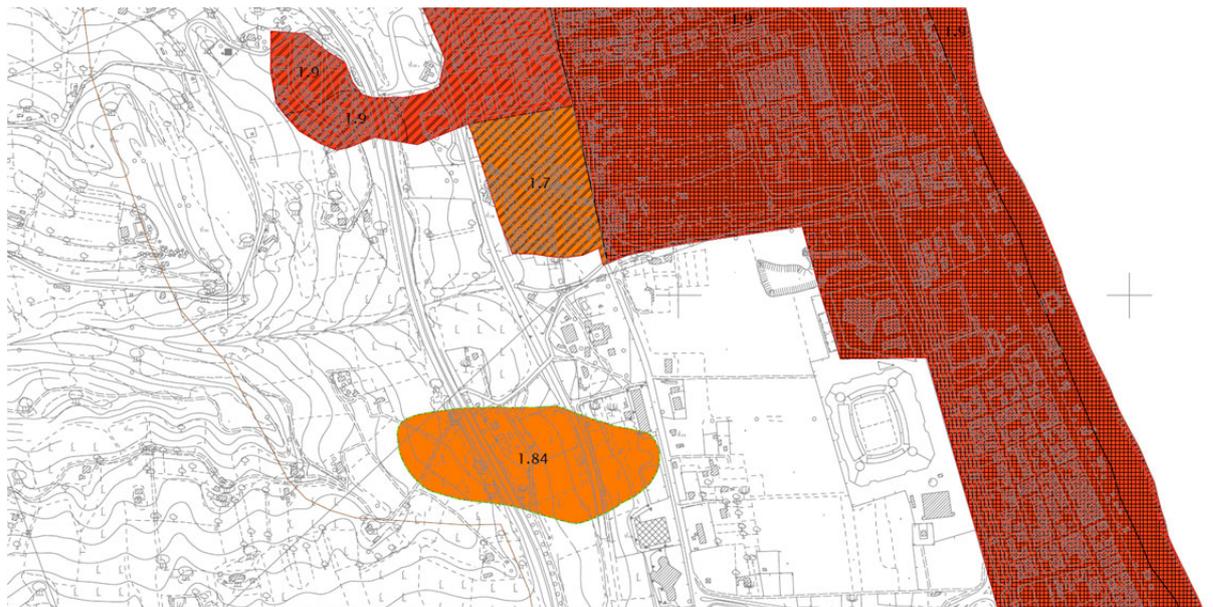


Figura 93 - *Snapshot* Carta MA FA 04-08 s s relativa al movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”.

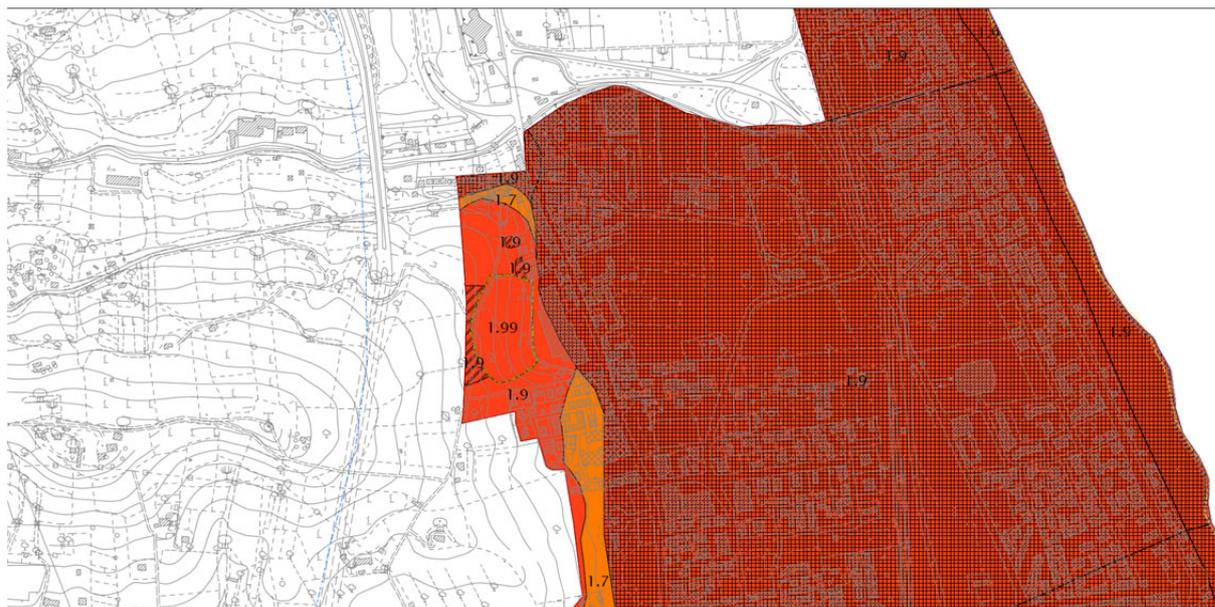


Figura 94 - *Snapshot* Carta MA FA 04-08 s s relativa al movimento franoso denominato “frana ex-cava di Argilla”.

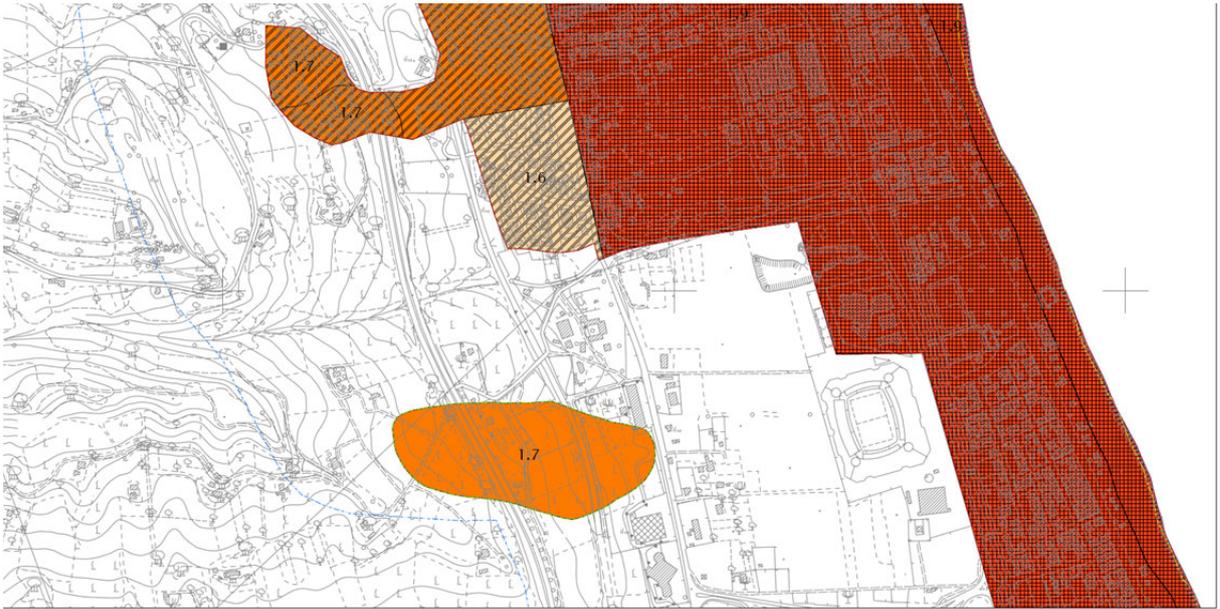


Figura 95 - *Snapshot* Carta MA FA 07-11 s s relativa al movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”.

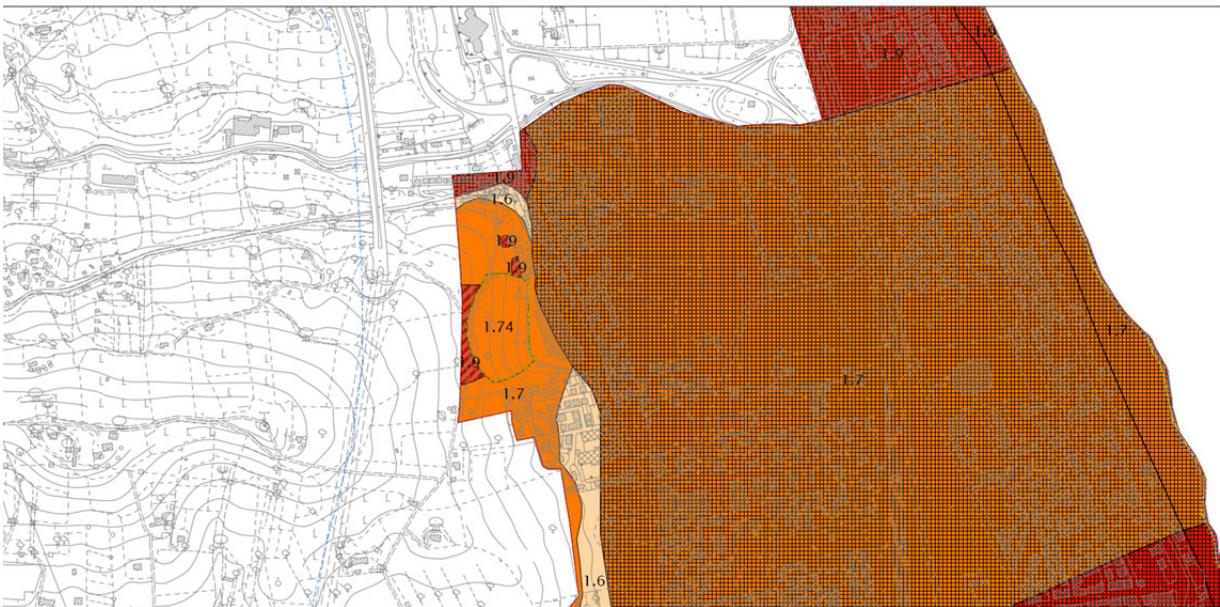


Figura 96 - *Snapshot* Carta MA FA 07-11 s s relativa al movimento franoso denominato “frana ex-cava di Argilla”.

Come indicato in precedenza, l'area di studio di approfondimento di livello 3 denominata movimento franoso "frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro" non ricade all'interno dell'area di studio di MS di livello 2 e pertanto non è presente una terna di fattori di amplificazione da poter confrontare: è stato utilizzato l'FA ricavato dallo studio di RSL.

Le analisi di RSL sui poligoni di studio di approfondimento di livello 3 del movimento franoso "frana ex-Cava di Argilla" hanno prodotto FA con valori superiori / inferiori di 0.3 rispetto a quelli degli abachi nella MS di Livello 2: è stato pertanto utilizzato l'FA ricavato dallo studio di RSL.

A seguito delle verifiche di stabilità in condizioni dinamiche, è risultato quanto segue: il valore di FRT è inferiore ad 1 cm e pertanto - seguendo anche le indicazioni fornite dalla Commissione Tecnica - lo spostamento è da considerare trascurabile.

Comune	Frana	Spostamento medio [cm]	Note
S. Benedetto del Tronto	ex cava argilla	0.65	-
	strada panoramica	0.01	-

Figura 97 - Valore dello spostamento del blocco di Newmark ottenuto dalla media dei valori calcolati per tutti e 8 gli accelerogrammi (cifr. analisi numerica fornita dalla Commissione Tecnica).

Le analisi di livello 3 non confermano le due aree di frana come sismicamente attivabili (FRT = 0). Le aree oggetto di approfondimento MS3 restano come zone di attenzione nella Carta GT e in quella delle MOPS. Nelle Carte di MS le aree indagate sono diventate zone stabile amplificabili (è stata quindi eliminata dallo shapefile instab MS23 e integrata invece nello shapefile stab MS23).

I poligoni suddivisi rispetto al poligono originario assegnato, e corrispondenti alle parti non studiate, sono rimaste inalterate anche nelle Carte di MS come zone di attenzione, come nel livello 2 di MS.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con indicazione del parametro di amplificazione derivante dalla RSL 1D e la categoria di sottosuolo, così come definita dalla normativa antisismica vigente, per le varie microzone MOPS 2021 e 2022.

Area di studio/Parametri	ZONA MOPS	FA 0.1-0.5 s	FA 0.4-0.8 s	FA 0.7-11 s	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria di sottosuolo
Frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro	2021	2.00	1.84	1.70	243	C
Frana ex-Cava di Argilla	2022	1.88	1.99	1.74	278	C

Per una consultazione completa degli accelerogrammi calcolati in superficie per diversi punti della zona e per lo spettro di output rappresentativo di ciascuna zona si rimanda alla struttura di archiviazione informatica dei dati.

8.5. Commenti finali e criticità

Dopo aver reperito la struttura dati informatica degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 è stata effettuata una ricerca delle pratiche edilizie private presso gli uffici dell'Amministrazione Comunale di San Benedetto del Tronto. Da tale ricerca non è stata individuata alcuna nuova indagine realizzata nelle due aree di studio e non è stata individuata, tra le indagini storiche, nessun'altra indagine rappresentativa utile alla modellazione del sottosuolo.

Si è proceduto quindi alla stesura del Piano di Indagini concordandolo con la Commissione Tecnica e con i Referenti del Servizio Protezione Civile della Regione Marche.

La profondità del substrato sismico è stata considerata “non certa” ed è stata quindi svolta un'analisi di RSL 1D con parametri variabili impostando le profondità del substrato tra i valori minimum e maximum di 65 m e 250 m. Pertanto sono state eseguite 100 simulazioni di RSL per ciascun segnale. Le analisi con STRATA sono state condotte separatamente per ciascun segnale in modo da restituire separatamente, per ciascun segnale, la media e la dev. st. log. dello spettro in superficie e dell'intensità di Arias alla profondità del bedrock. Per la scelta dei valori dell'intensità di Arias (IA), tra i valori calcolati, si indica che la profondità di riferimento è di 6.0 m (come evidenziato in giallo nelle tabelle Excel di riferimento).

Gli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 non hanno messo in evidenza la presenza del substrato geologico alterato “SFCOS - Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato/alterato”. Invece lo *studio di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante* ha permesso di rilevare uno spessore di ≈ 6.0 m di formazione alterata “SFCOS” sopra alla formazione sovraconsolidata (COS) delle argille sabbiose grigio-azzurre (Q^{1_a}) ^[11, 12] o Formazione geologica delle Argille Azzurre (FAA) ^[13].

Sono state assegnate due nuove zone MOPS: la zona 2021 e la zona 2022.

9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Il territorio regionale delle Marche, in epoche passate, è stato interessato da eventi sismici di varia entità. La distribuzione geografica ed intensità di tali eventi sismici è consultabile tramite cataloghi parametrici e database a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. In questo capitolo ci si propone di evidenziare alcune caratteristiche della storia sismica dell'area di studio.

9.1. Eventi sismici storici

Vengono brevemente presentati alcuni degli eventi sismici storici che hanno interessato il territorio del comune di San Benedetto del Tronto nel recente passato attraverso la consultazione del Database Macrosismico Italiano (DBMI15) e del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) ^[30, 31] a cura dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Il *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15 v4.0* - fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020.

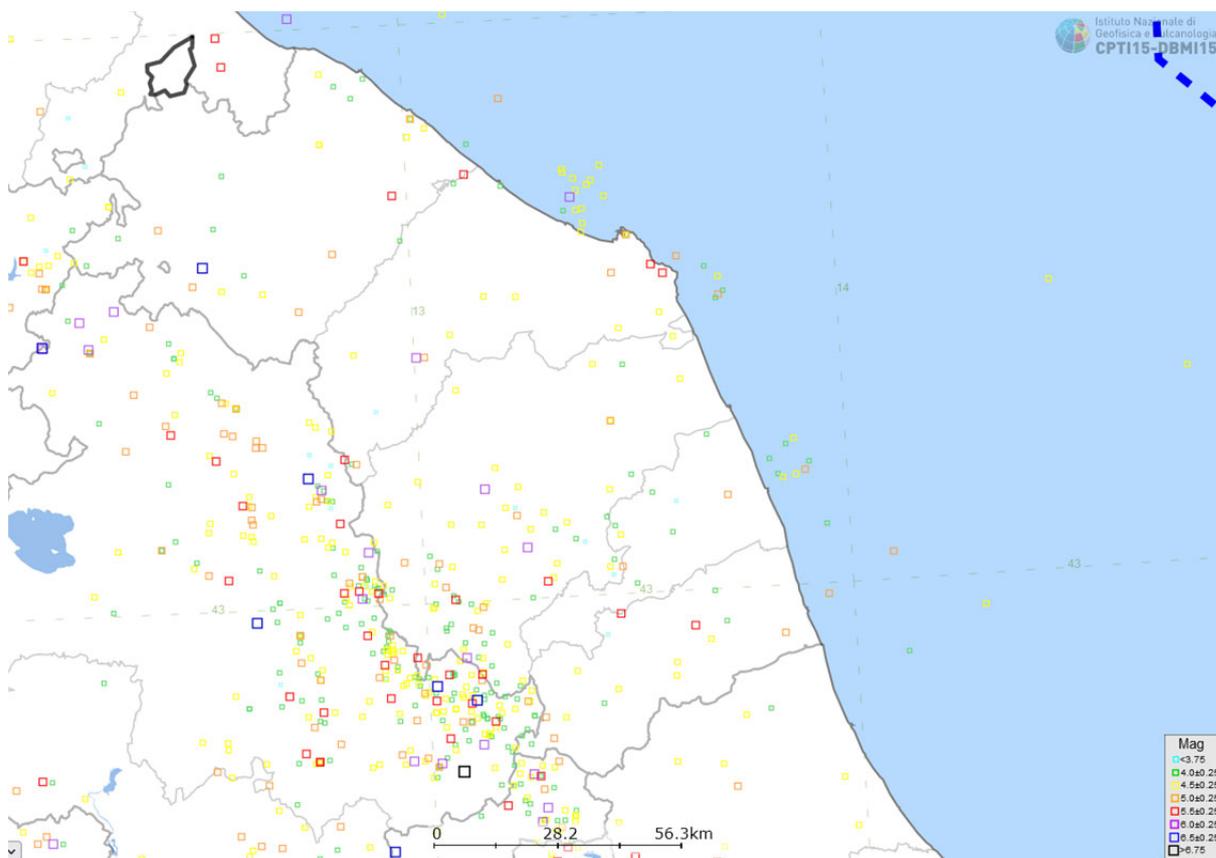


Figura 98 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15 v4.0.

Il Database Macrosismico Italiano - DBMI15 v4.0 - fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020.

San Benedetto del Tronto



PlaceID	IT_52745
Coordinate (lat, lon)	42.955, 13.880
Comune (ISTAT 2015)	San Benedetto del Tronto
Provincia	Ascoli Piceno
Regione	Marche
Numero di eventi riportati	51

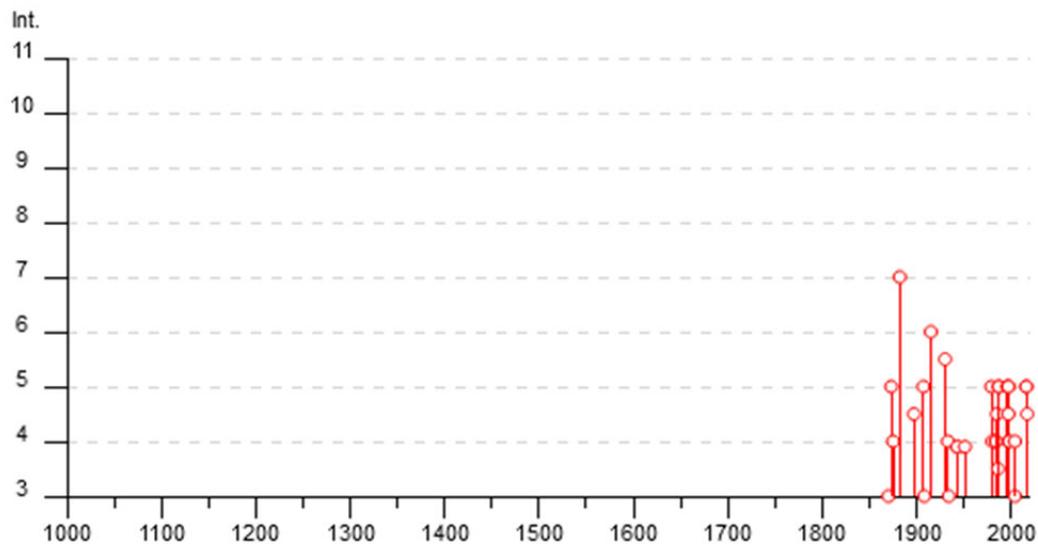


Fig. 99 - Storia sismica di San Benedetto del Tronto.

10. Bibliografia

- [1] Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica a cura di Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (2008).
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- [2] Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" a cura di AA.VV. (2011).
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB28083
- [3] Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica degli Studi di Microzonazione Sismica - Versione 4.2 (Roma, dicembre 2020) - a cura della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (art. 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907). <https://www.centromicrozonazione.sismica.it/it/download/category/23-standard-ms-e-cls>
- [4] Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15 v4.0 & Database Macrosismico Italiano - DBMI15 v4.0 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>
Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>
<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>
- [5] All. 1b - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale - Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b - http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
- [6] Fonte dei dati: Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004). Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>
- [7] Mappa interattiva di pericolosità sismica a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- [8] Progetto di cartografia geologica alla scala 1:50.000 - Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).
<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/marche.html>
- [9] Bigi G., Coli M., Cosentino D., Parotto M., Praturlon A., Sartori R., Scandone P. & Turco E., 1992. Structural Model of Italy scale 1:500.000, sheet 4. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, SELCA Firenze.
- [10] Foglio 339 TERAMO del Progetto di cartografia geologica alla scala 1:50.000 - Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).
https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/339_TERAMO/Foglio.html
- [11] Carta Geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA. Cartografia realizzata dal Servizio Geologico D'Italia, organo cartografico dello Stato (LEGGE 2/2/1960 N.68).
- [12] Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 133-134 ASCOLI PICENO - GIULIANOVA, a cura di Odoardo Girotti.
- [13] Carta Geologica Regionale delle Marche - Sezioni N° 327.030 e N° 327.070 San Benedetto del Tronto Nord e Sud - Progetto Carta Geologica a cura della Regione Marche. Rilevamenti eseguiti negli anni 2005-2006.
- [14] Carta delle *Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica* degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 aggiornata al livello 2.
- [15, 16] CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - Tavola RI 74 c e Tavola RI 75 d - Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche - Aggiornato al Decreto Segretariale n. 140 del 27 ottobre 2021.
- [17] Carta del Dissesto e delle Aree Esondabili (PAI Tronto) - Tavola n. 10/09 Sezione n° 327.070.
- [18] Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosì in Italia. A cura di Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <http://www.progettoiffi.isprambiente.it/cartanetiffi/>
- [19] Caratterizzazione dinamica del sottosuolo ai fini dell'Ingegneria Sismica. A cura di Silvia Castellaro - Dipartimento di Fisica e Astronomia Università di Bologna V.le Carlo B. Pichat 8 - 40127 Bologna.
- [20] Building period formulas for estimating seismic displacements - Earth. Spectra, 16, 533-536. A cura di Chopra A.K. e Goel R.K., 2000.
- [21] Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan - Earth. Eng. And Struct. Dyn., 29, 327-337. Hong L. e Hwang W., 2000.
- [22] Progetto ViDEPI - Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia - 2009 2015 - Ministero dello sviluppo economico DGRME - Società Geologica Italiana - Assomineraria (cc) BY - Contenuti distribuiti con Licenza Creative Commons Attribuzione 3.0 Italia -
<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/videpi/videpi.asp>
- [23] Heidbach, Oliver; Rajabi, Mojtaba; Reiter, Karsten; Ziegler, Moritz; WSM Team (2016): *World Stress Map Database Release 2016*. GFZ Data Services, doi:10.5880/WSM.2016.001.

[24] *Stress derivation from earthquake focal mechanisms* - A. Barth, J. Reinecker and O. Heidbach.

[25] DISS Working Group (2015). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

[26] Schematic illustration of the five general tectonic regimes and the according orientations of the principle stress axes (after Anderson, 1951, and Zoback, 1992).

[27] Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) a cura del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA. <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
<http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html>

[28] Zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed aree limitrofe. Questa zonazione rappresenta un documento interno del GNDT, realizzato in varie versioni a partire dal 1990 nell'ambito dell'attività della linea di ricerca Sismotettonica. Versione denominata ZS 4.0, e completata nell'aprile 1996. La zonazione è stata realizzata seguendo l'approccio cinematico proposto in: Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., Santini U., 1990. Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, vol.1, p. 119-135. http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html

[29] DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

[30, 31] Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15 v4.0 & Database Macrosismico Italiano - DBMI15 v4.0 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

10. Allegati

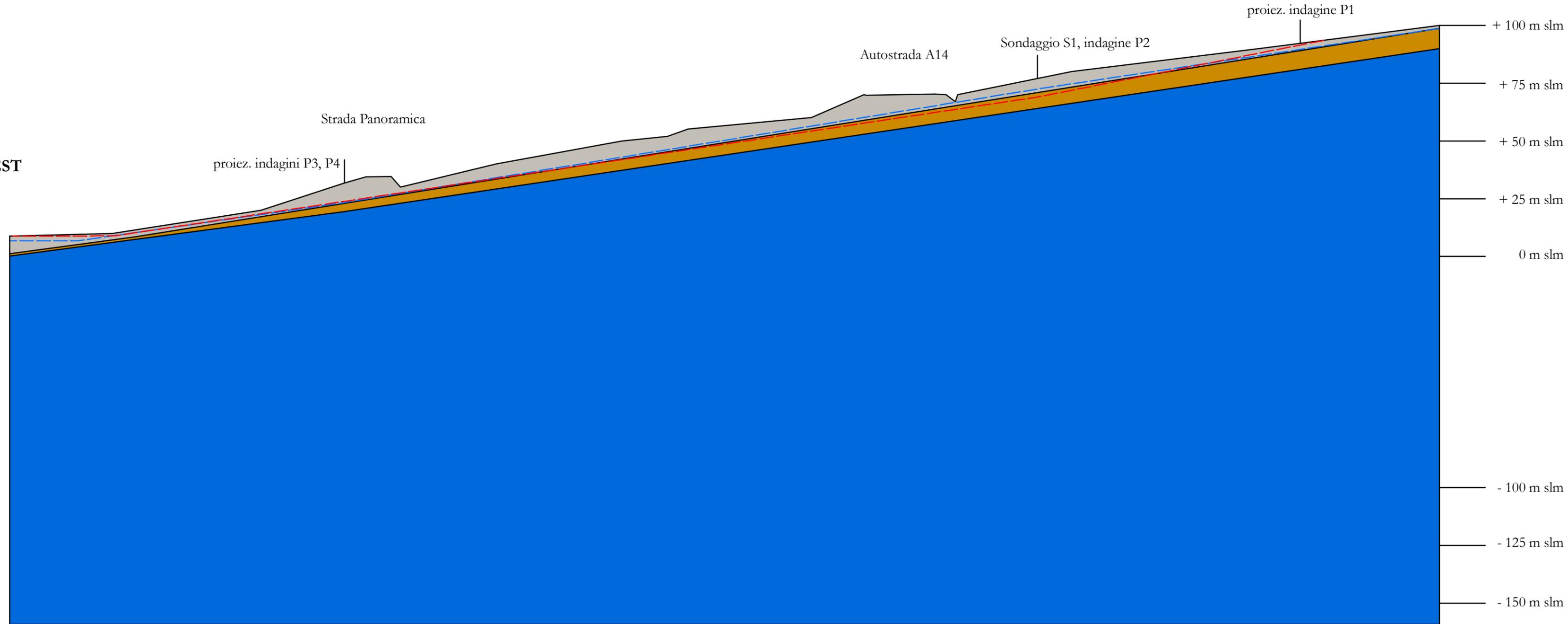
Analisi Statiche, Analisi Pseudo-Statiche e Sezioni Geologico-Tecniche longitudinali di riferimento delle due aree di studio - *di approfondimento di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante*.

- ✓ movimento franoso denominato “frana Strada Panoramica - zona Villa Brancadoro”;
- ✓ “frana ex-Cava di Argilla”.

SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA A-A'

OVEST

EST



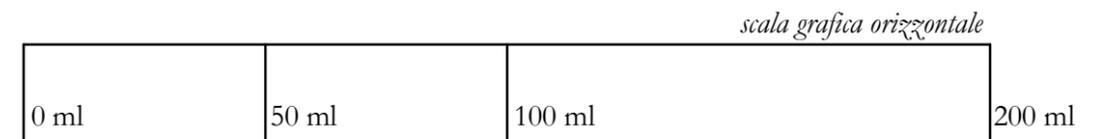
Coltre eluvio-colluviale di spessore massimo di 6 m. In superficie è prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa (per uno spessore di poco superiore ai 3 m). In profondità è limoso-argilloso e limoso-argilloso debolmente sabbioso.

Porzione alterata del substrato geologico FAA, Formazione delle Argille Azzurre. A varia altezze sono presenti lenti sabbiose di spessore limitato: da pochi cm fino a 10 cm. Peliti e peliti siltose stratificate COS, coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato.

Substrato geologico FAA, Formazione delle Argille Azzurre. Peliti e peliti siltose stratificate COS, coesivo sovraconsolidato, stratificato. Giacitura: inclinazione variabile da suborizzontale fino a 18°, immersione variabile da Nord-Est a Sud-Est (dati letteratura).

----- Livello statico acquifero variabile tra -5.0 m e -9.0 m di profondità dal pc. Rilievo effettuato su pozzi presenti nell'area.

----- Potenziale superficie di scivolamento.



ANALISI DI STABILITA' STATICA

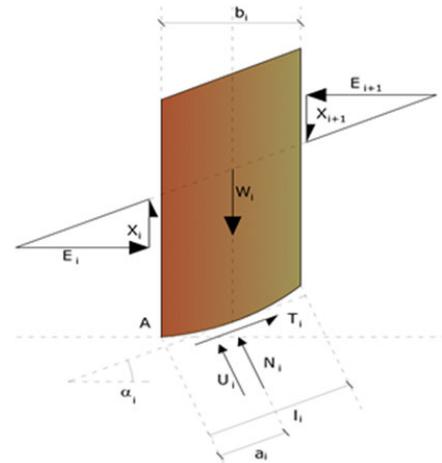
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -323.86 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 174.02 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 948.77 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 474.06 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0

=====

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	8.75
2	45.0	10.0
3	110.0	20.0
4	146.5	31.81
5	156.0	34.42
6	167.0	34.54
7	171.0	30.0
8	213.0	40.0
9	268.0	50.0
10	288.0	52.0
11	297.0	55.2
12	351.0	60.1
13	374.0	70.0
14	375.0	69.78
15	405.0	70.32
16	410.0	70.0
17	414.0	67.0
18	415.0	70.0
19	465.0	80.0
20	547.0	90.0
21	626.0	100.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	414.05	66.67
3	450.0	72.5
4	626.0	98.67

Vertici strato1

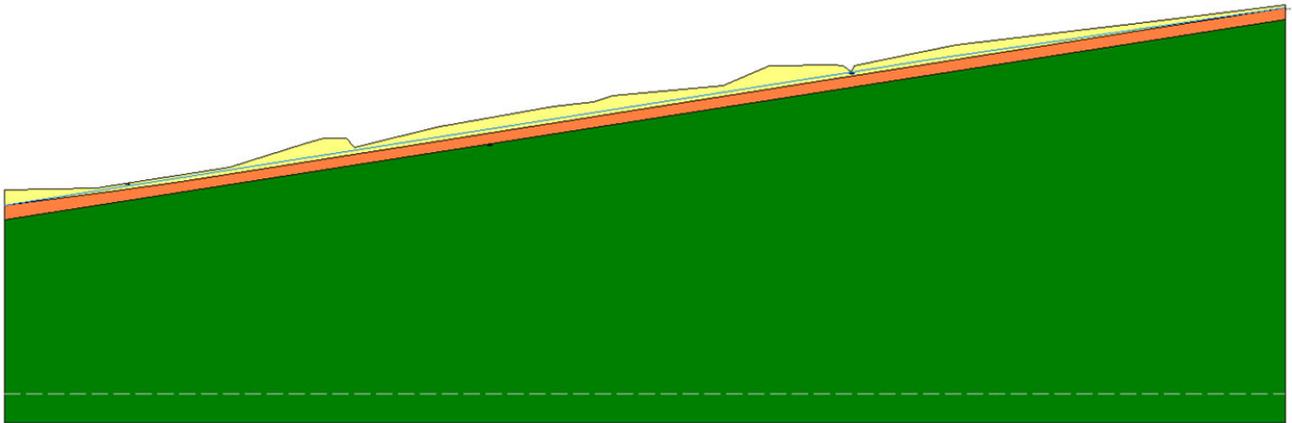
N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	54.53	8.49
3	86.0	12.8
4	626.0	98.67

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	-5.7
2	626.0	92.65

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Riduzione parametri geotecnici terreno No



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) di spessore di ≈ 6.0 m prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa in superficie (nei primi 2.5÷3.5 m, spessore al limite del cartografabile secondo gli standard MS) e prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa più in profondità.
2	0.03	22.31	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m
3	0.18	24.0	2080	2100	<i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1a).

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 2.65

Ascissa centro superficie -67.5 m
 Ordinata centro superficie 2010.58 m
 Raggio superficie 2002.34 m

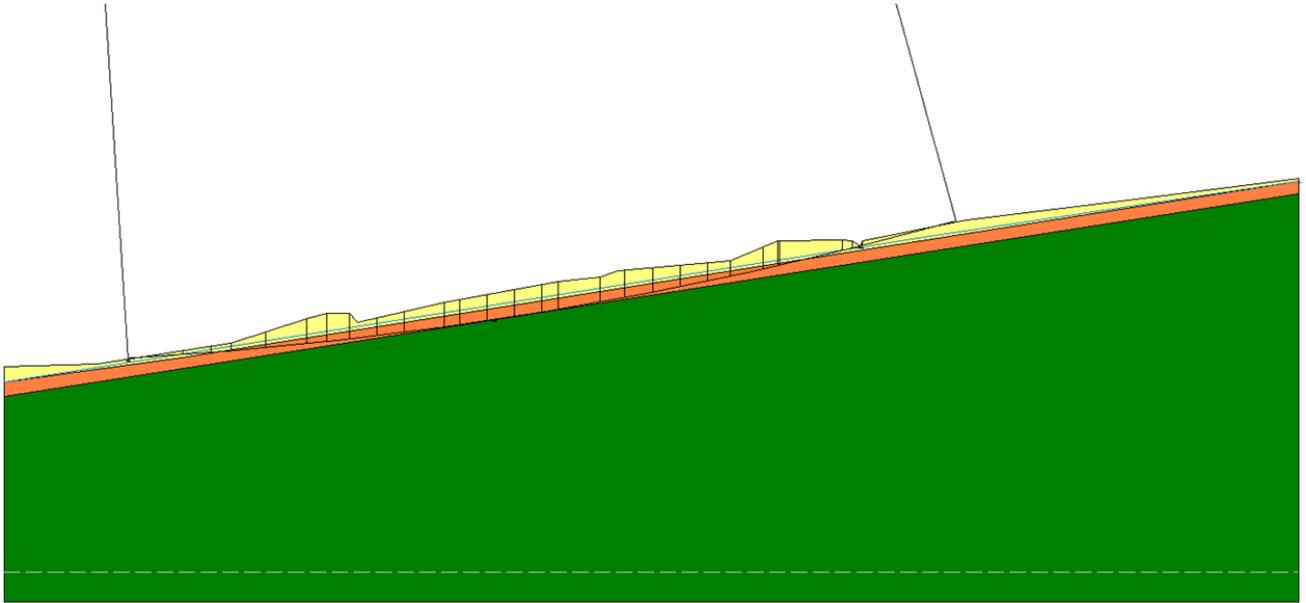
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = -67.505 yc = 2010.584 Rc = 2002.34 Fs=2.655

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	(Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	11.8	3.811.8	11960.51	0.0	0.0	0.03	26.6	0.011749.9	3552.9		
2	11.8	4.211.8	34678.27	0.0	0.0	0.03	26.6	0.034203.5	7789.0		
3	11.8	4.511.8	56251.69	0.0	0.0	0.03	26.6	11421.1	44207.89676.8		
4	14.6	4.914.7	97056.48	0.0	0.0	0.03	26.6	28790.2	67290.114349.3		
5	9.0	5.2	86816.73	0.0	0.0	0.03	22.3	0.085872.9	14294.8		
6	11.8	5.511.9	168661.2	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0166826.627126.3			
7	15.7	5.915.8	318281.2	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0314761.050436.8			
8	9.5	6.3	238790.6	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0236098.737574.2			
9	11.0	6.611.1	281110.0	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0277878.044203.3			
10	11.0	6.911.1	165537.7	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0163536.726530.2			
11	11.8	7.211.9	207536.8	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0205011.633033.1			
12	11.8	7.611.9	236928.9	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0234027.837519.2			
13	11.4	7.911.5	255260.9	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0252119.740271.1			
14	12.2	8.212.3	292039.4	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0288428.645975.8			
15	11.8	8.611.9	291858.4	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0288236.345901.7			
16	11.8	8.911.9	299442.7	0.0	0.0	0.18	24.0	0.0294096.1	57423.6		
17	11.8	9.312.0	305309.5	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0301521.8	47957.8		
18	7.4	9.5	193700.1	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0191304.4	30418.2		
19	20.0	9.920.3	497119.6	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0490992.8	78188.0		
20	9.0	10.49.1	223729.2	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0221002.8	35194.6		
21	10.8	10.611.0	273757.4	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0270460.1	43047.3		
22	11.8	11.012.0	273091.3	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0269827.5	43066.0		
23	11.8	11.312.0	244268.8	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0241373.9	38669.5		
24	11.8	11.712.0	213732.2	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0211217.9	34009.9		
25	7.8	12.08.0	123659.5	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0122210.0	19791.2		
26	15.8	12.316.2	287665.5	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0284438.1	45793.5		
27	7.2	12.67.4	164616.0	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0162870.5	26009.0		
28	1.0	12.81.0	23859.02	0.0	0.0	0.03	22.3	0.023610.3	3765.3		
29	27.2	13.227.9	484293.9	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0479299.5	77242.8		
30	11.8	13.712.1	104791.2	0.0	0.0	0.03	26.6	2159.2	100676.320363.9		

Risultati analisi statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs	Kc [-]	Kc [m/sec²]
Caso 1 - frana denominata <i>Strada Panoramica, zona Villa Brancadoro</i>	2.65	0.254	2.492



ANALISI DI STABILITA' STATICA

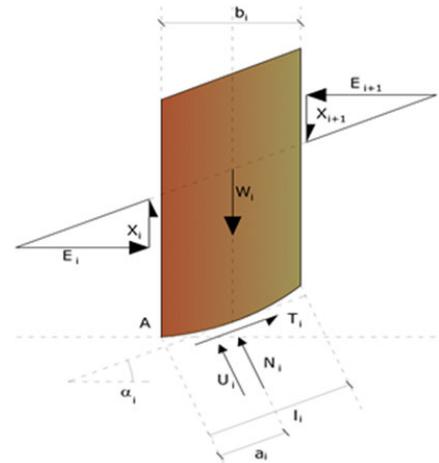
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -323.86 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 174.02 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 948.77 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 474.06 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0

=====

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	8.75
2	45.0	10.0
3	110.0	20.0
4	146.5	31.81
5	156.0	34.42
6	167.0	34.54
7	171.0	30.0
8	213.0	40.0
9	268.0	50.0
10	288.0	52.0
11	297.0	55.2
12	351.0	60.1
13	374.0	70.0
14	375.0	69.78
15	405.0	70.32
16	410.0	70.0
17	414.0	67.0
18	415.0	70.0
19	465.0	80.0
20	547.0	90.0
21	626.0	100.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	414.05	66.67
3	450.0	72.5
4	626.0	98.67

Vertici strato1

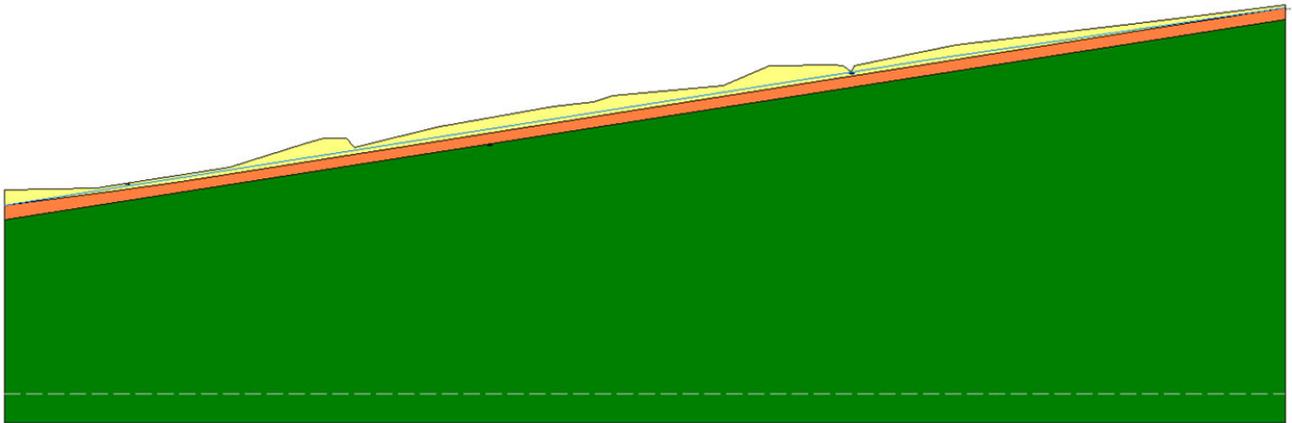
N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	54.53	8.49
3	86.0	12.8
4	626.0	98.67

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	-5.7
2	626.0	92.65

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Riduzione parametri geotecnici terreno No



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) di spessore di ≈ 6.0 m prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa in superficie (nei primi 2.5÷3.5 m, spessore al limite del cartografabile secondo gli standard MS) e prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa più in profondità.
2	0.03	22.31	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m
3	0.18	24.0	2080	2100	<i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1a).

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 2.31

Ascissa centro superficie	57.93	m
Ordinata centro superficie	234.03	m
Raggio superficie	227.83	m

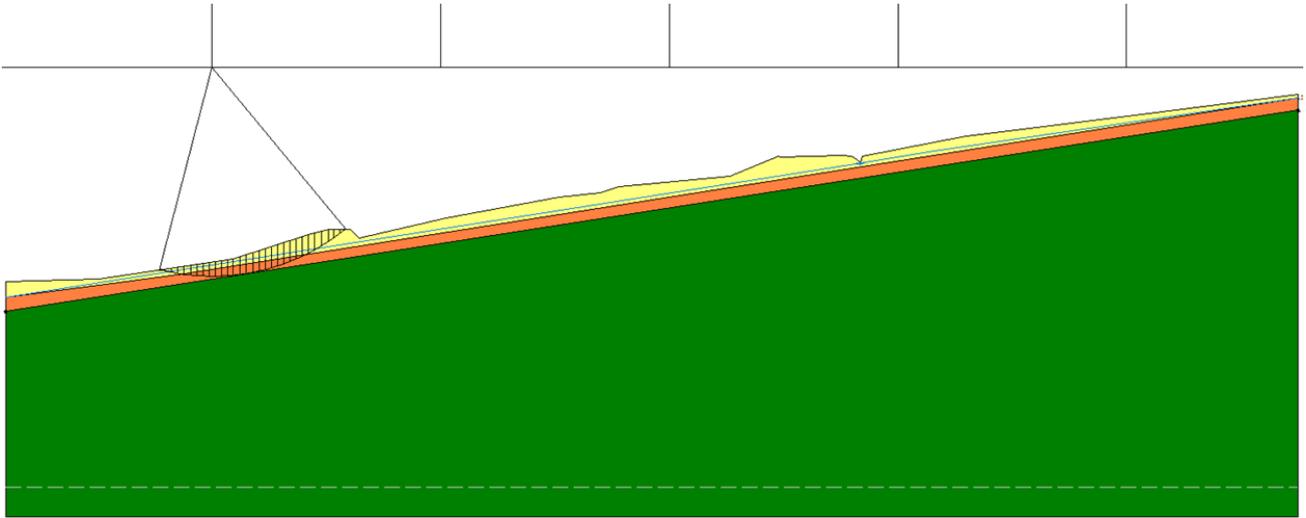
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$x_c = 57.929$ $y_c = 234.026$ $R_c = 227.834$ $F_s = 2.31$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	(Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	4.9	-8.95.0		4411.85	0.0	0.0	0.03	26.6	0.04725.8	1668.5	
2	4.9	-7.64.9		12458.34	0.0	0.0	0.03	26.6	0.013034.0	3467.5	
3	4.9	-6.44.9		19475.96	0.0	0.0	0.03	26.6	0.020158.4	5010.2	
4	4.9	-5.14.9		25480.9	0.0	0.0	0.03	26.6	195.7	25952.16264.7	
5	5.06	-3.95.1		31789.38	0.0	0.0	0.03	22.3	0.032298.0	6396.4	
6	4.73	-2.74.7		36397.08	0.0	0.0	0.03	22.3	0.036768.0	7146.7	
7	4.9	-1.44.9		46451.88	0.0	0.0	0.03	22.3	0.046691.9	8930.5	
8	4.9	-0.24.9		54383.98	0.0	0.0	0.03	22.3	0.054422.6	10303.5	
9	4.9	1.0	4.9	61303.44	0.0	0.0	0.03	22.3	0.061108.6	11491.3	
10	4.9	2.3	4.9	67210.48	0.0	0.0	0.03	22.3	0.066770.9	12497.5	
11	4.9	3.5	4.9	72103.17	0.0	0.0	0.03	22.3	0.071425.1	13324.9	
12	4.9	4.7	4.9	75978.29	0.0	0.0	0.03	22.3	0.075082.7	13975.6	
13	4.9	6.0	4.9	78831.06	0.0	0.0	0.03	22.3	0.077750.9	14450.9	
14	4.9	7.2	4.9	80654.46	0.0	0.0	0.03	22.3	0.079432.0	14751.1	
15	4.9	8.4	5.0	81432.02	0.0	0.0	0.03	22.3	0.080116.3	14874.5	
16	4.9	9.7	5.0	81163.8	0.0	0.0	0.03	22.3	0.079807.6	14822.0	
17	4.9	10.95.0		79839.09	0.0	0.0	0.03	22.3	0.078496.5	14591.6	
18	6.37	12.46.5		100107.2	0.0	0.0	0.03	22.3	0.098466.0	18337.9	
19	3.43	13.73.5		53261.63	0.0	0.0	0.03	22.3	0.052436.7	9772.7	
20	4.9	14.75.1		78872.4	0.0	0.0	0.03	22.3	0.077749.4	14468.8	
21	4.9	16.05.1		81079.47	0.0	0.0	0.03	22.3	0.080080.1	14886.8	
22	4.9	17.35.1		82147.0	0.0	0.0	0.03	22.3	0.081332.0	15113.7	
23	4.9	18.65.2		82049.57	0.0	0.0	0.03	22.3	0.081473.9	15143.8	
24	4.9	19.95.2		80765.98	0.0	0.0	0.03	22.3	0.080475.4	14971.8	
25	4.9	21.25.3		78246.42	0.0	0.0	0.03	26.6	8713.1	68554.815543.8	
26	3.67	22.44.0		56196.38	0.0	0.0	0.03	26.6	2732.1	52885.611980.6	
27	6.12	23.76.7		85782.49	0.0	0.0	0.03	26.6	0.085200.3	19338.4	
28	3.38	25.03.7		41730.46	0.0	0.0	0.03	26.6	0.041616.8	9505.4	
29	6.42	26.47.2		56234.03	0.0	0.0	0.03	26.6	0.056263.9	13128.2	
30	4.9	28.05.5		15828.05	0.0	0.0	0.03	26.6	0.015729.9	4130.6	

Risultati analisi statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs	Kc [-]	Kc [m/sec ²]
Caso 2 - frana denominata <i>Strada Panoramica, zona Villa Brancadoro</i>	2.31	0.243	2.384



ANALISI DI STABILITA' PSEUDO-STATICA

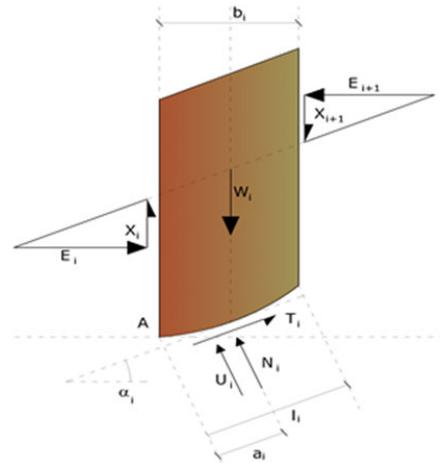
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -323.86 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 174.02 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 948.77 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 474.06 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0

=====

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.015
 Coefficiente azione sismica verticale 0.008

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	8.75
2	45.0	10.0
3	110.0	20.0
4	146.5	31.81
5	156.0	34.42
6	167.0	34.54
7	171.0	30.0
8	213.0	40.0
9	268.0	50.0
10	288.0	52.0
11	297.0	55.2
12	351.0	60.1
13	374.0	70.0
14	375.0	69.78
15	405.0	70.32
16	410.0	70.0
17	414.0	67.0
18	415.0	70.0
19	465.0	80.0
20	547.0	90.0
21	626.0	100.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	414.05	66.67
3	450.0	72.5
4	626.0	98.67

Vertici strato1

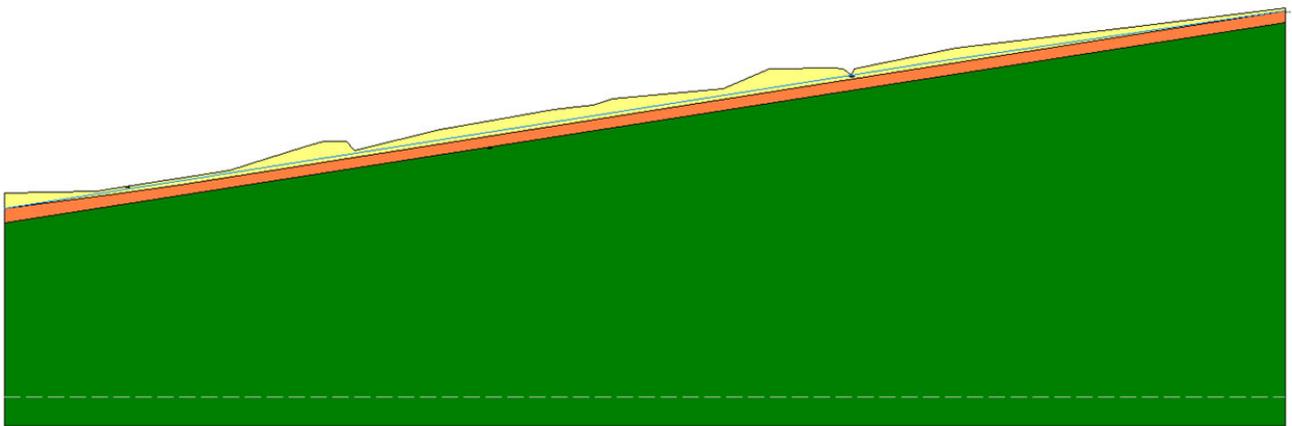
N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	54.53	8.49
3	86.0	12.8
4	626.0	98.67

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	-5.7
2	626.0	92.65

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====
Riduzione parametri geotecnici terreno No
=====



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) di spessore di ≈ 6.0 m prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa in superficie (nei primi 2.5÷3.5 m, spessore al limite del cartografabile secondo gli standard MS) e prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa più in profondità.	
2	0.03	22.31	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m	
3	0.18	24.0	2080	2100	<i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1a).	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 2.41

Ascissa centro superficie	-67.5	m
Ordinata centro superficie	2010.58	m
Raggio superficie	2002.34	m

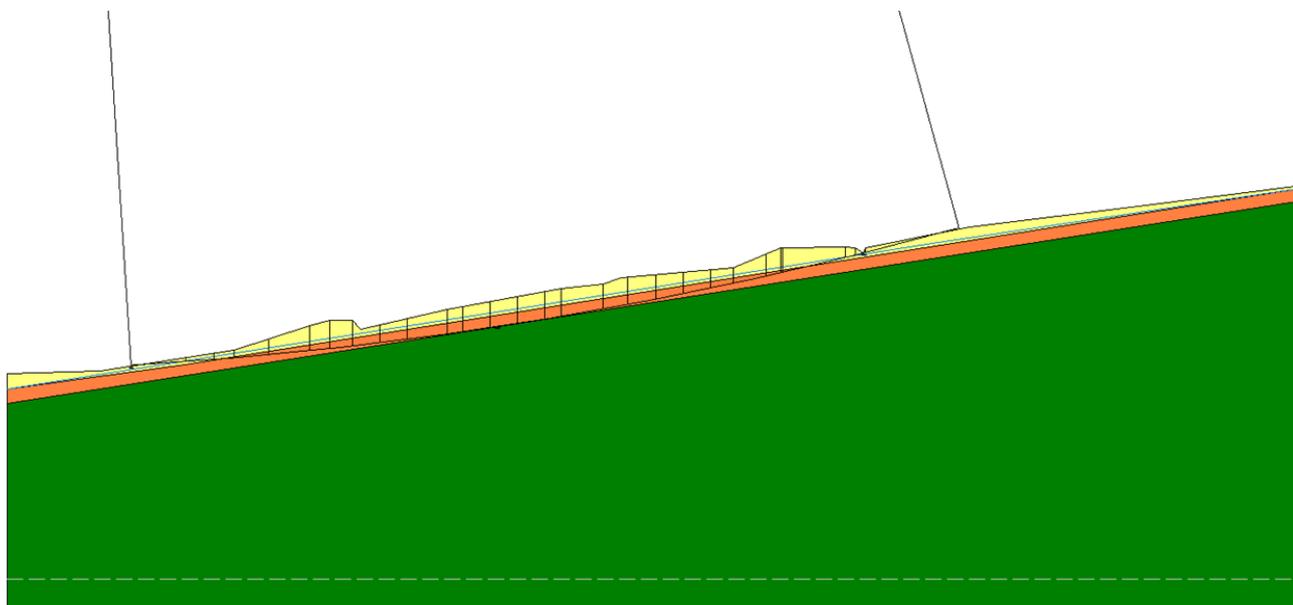
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$x_c = -67.505 \quad y_c = 2010.584 \quad R_c = 2002.34 \quad F_s = 2.407$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui (Kg)	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	11.8	3.811.8	11960.51	179.4195.680.03	26.6	0.011725.9	3912.8			
2	11.8	4.211.8	34678.27	520.17277.43	0.03	26.60.0	34146.28577.0			
3	11.8	4.511.8	56251.69	843.78450.01	0.03	26.611421.144130.910654.6				
4	14.6	4.914.7	97056.48	1455.85776.45	0.03	26.628790.267166.615797.2				
5	9.0	5.2	9.0	86816.73	1302.25694.53	0.03	22.30.0	85741.015740.3		
6	11.8	5.511.9	168661.2	2529.921349.29	0.03	22.30.0	166562.029867.0			
7	15.7	5.915.8	318281.2	4774.222546.25	0.03	22.30.0	314234.255526.6			
8	9.5	6.3	9.6	238790.6	3581.861910.33	0.03	22.30.0	235682.441361.9		
9	11.0	6.611.1	281110.0	4216.652248.88	0.03	22.30.0	277365.548655.4			
10	11.0	6.911.1	165537.7	2483.071324.3	0.03	22.30.0	163214.429199.8			
11	11.8	7.211.9	207536.8	3113.051660.29	0.03	22.30.0	204591.336353.8			
12	11.8	7.611.9	236928.9	3553.931895.43	0.03	22.30.0	233528.241287.1			
13	11.4	7.911.5	255260.9	3828.912042.09	0.03	22.30.0	251559.944311.4			
14	12.2	8.212.3	292039.4	4380.592336.32	0.03	22.30.0	287762.150583.8			
15	11.8	8.611.9	291858.4	4377.882334.87	0.03	22.30.0	287543.250497.4			
16	11.8	8.911.9	299442.7	4491.642395.54	0.18	24.00.0	293196.963154.5			
17	11.8	9.312.0	305309.5	4579.642442.48	0.03	22.30.0	300740.552749.6			
18	7.4	9.5	7.5	193700.1	2905.51549.6	0.03	22.30.0	190794.133455.0		
19	20.0	9.920.3	497119.6	7456.793976.96	0.03	22.30.0	489626.985984.8			
20	9.0	10.49.1	223729.2	3355.941789.83	0.03	22.30.0	220362.238699.8			
21	10.8	10.611.0	273757.4	4106.362190.06	0.03	22.30.0	269654.947330.8			
22	11.8	11.012.0	273091.3	4096.372184.73	0.03	22.30.0	268997.247347.1			
23	11.8	11.312.0	244268.8	3664.031954.15	0.03	22.30.0	240605.342509.6			
24	11.8	11.712.0	213732.2	3205.981709.86	0.03	22.30.0	210521.437383.8			
25	7.8	12.08.0	123659.5	1854.89989.28	0.03	22.30.0	121794.821752.9			
26	15.8	12.316.2	287665.5	4314.982301.32	0.03	22.30.0	283449.850327.8			
27	7.2	12.67.4	164616.0	2469.241316.93	0.03	22.30.0	162293.928581.7			
28	1.0	12.81.0	23859.02	357.89190.87	0.03	22.30.0	23526.04137.7			
29	27.2	13.227.9	484293.9	7264.413874.35	0.03	22.30.0	477514.984871.2			
30	11.8	13.712.1	104791.2	1571.87838.33	0.03	26.62159.2	100189.722354.0			

Risultati analisi pseudo-statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs
Caso 1 - frana denominata <i>Strada Panoramica, zona Villa Brancadoro</i>	2.41



ANALISI DI STABILITA' PSEUDO-STATICA

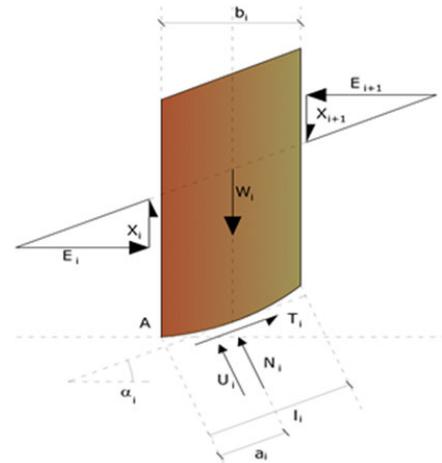
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -323.86 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 174.02 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 948.77 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 474.06 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0

=====

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.015
 Coefficiente azione sismica verticale 0.008

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	8.75
2	45.0	10.0
3	110.0	20.0
4	146.5	31.81
5	156.0	34.42
6	167.0	34.54
7	171.0	30.0
8	213.0	40.0
9	268.0	50.0
10	288.0	52.0
11	297.0	55.2
12	351.0	60.1
13	374.0	70.0
14	375.0	69.78
15	405.0	70.32
16	410.0	70.0
17	414.0	67.0
18	415.0	70.0
19	465.0	80.0
20	547.0	90.0
21	626.0	100.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	414.05	66.67
3	450.0	72.5
4	626.0	98.67

Vertici strato1

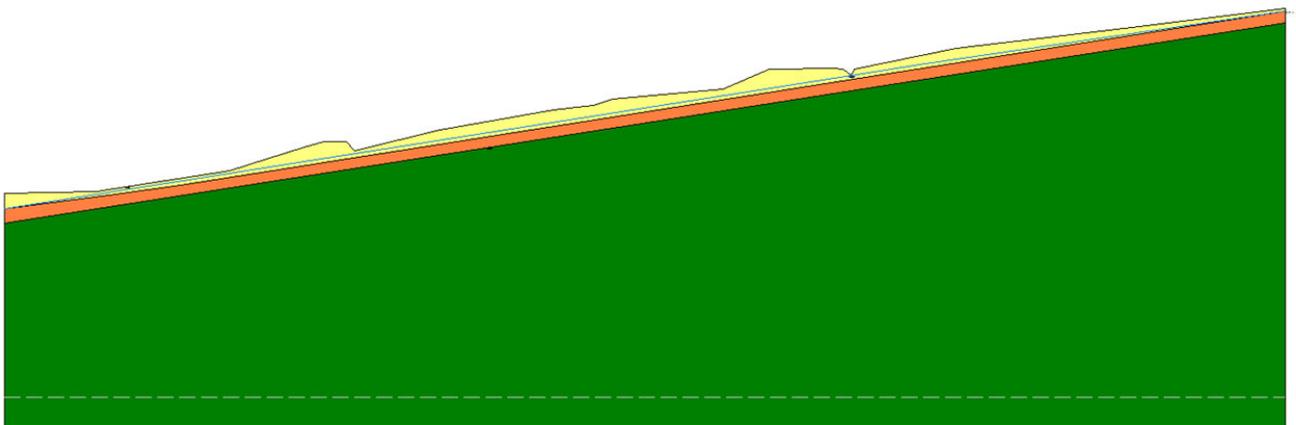
N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.23
2	54.53	8.49
3	86.0	12.8
4	626.0	98.67

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	-5.7
2	626.0	92.65

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====
Riduzione parametri geotecnici terreno No
=====



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) di spessore di ≈ 6.0 m prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa in superficie (nei primi 2.5÷3.5 m, spessore al limite del cartografabile secondo gli standard MS) e prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa più in profondità.	
2	0.03	22.31	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m	
3	0.18	24.0	2080	2100	<i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1a).	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 2.12

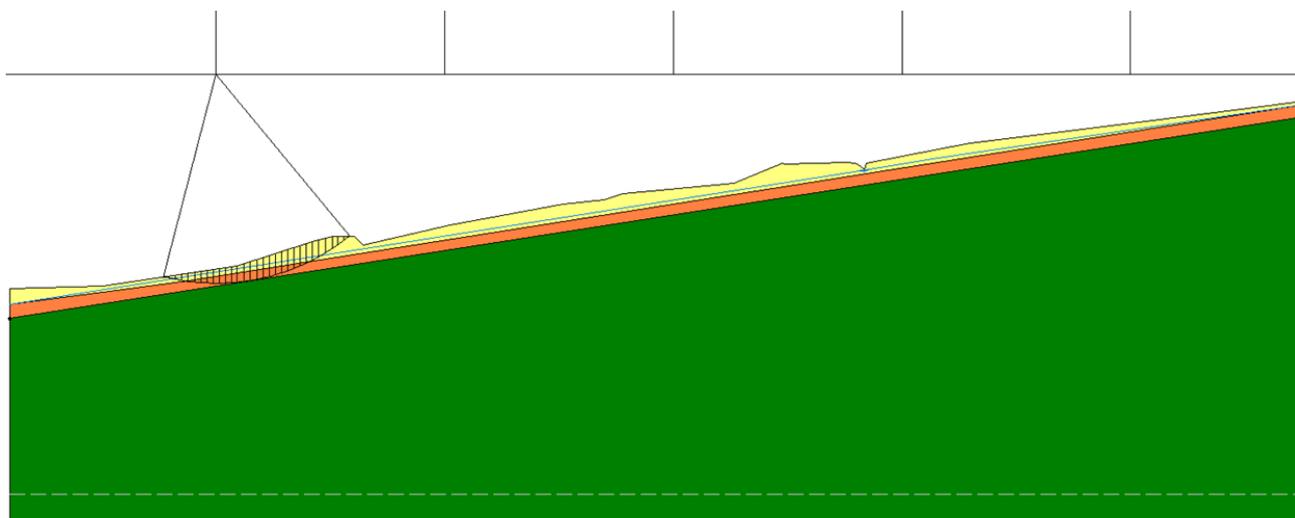
Ascissa centro superficie 57.93 m
 Ordinata centro superficie 234.03 m
 Raggio superficie 227.83 m

xc = 57.929 yc = 234.026 Rc = 227.834 Fs=2.123

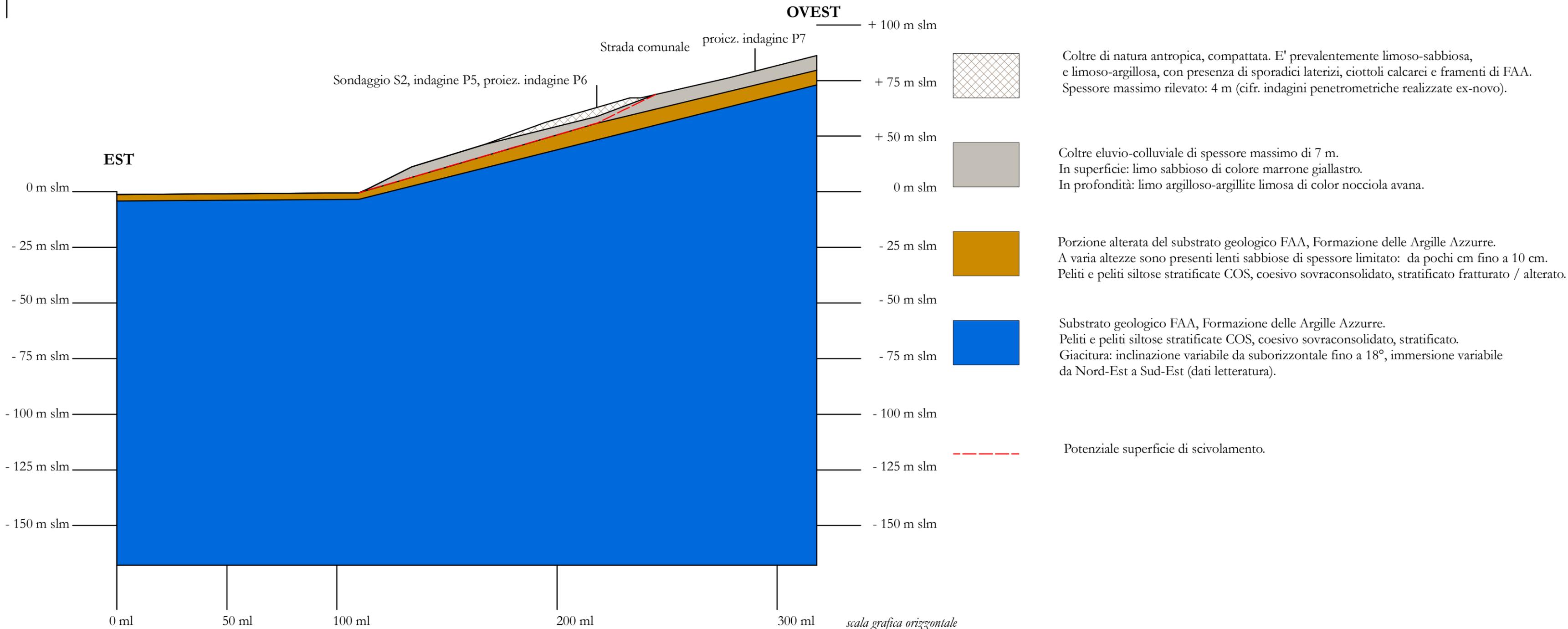
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	4.9	-8.95.0		4411.85	66.1835.29	0.03	26.6	0.04749.6	1820.9	
2	4.9	-7.64.9		12458.34	186.8899.670.03	26.6	26.6	0.013076.2	3782.6	
3	4.9	-6.44.9		19475.96	292.14155.81		0.03	26.60.0	20209.15463.1	
4	4.9	-5.14.9		25480.9	382.21203.85		0.03	26.6195.7	26002.86828.0	
5	5.06	-3.95.1		31789.38	476.84254.32		0.03	22.30.0	32336.86966.8	
6	4.73	-2.74.7		36397.08	545.96291.18		0.03	22.30.0	36797.47781.4	
7	4.9	-1.44.9		46451.88	696.78371.62		0.03	22.30.0	46711.89720.3	
8	4.9	-0.24.9		54383.98	815.76435.07		0.03	22.30.0	54426.011211.0	
9	4.9	1.0 4.9		61303.44	919.55490.43		0.03	22.30.0	61090.712499.1	
10	4.9	2.3 4.9		67210.48	1008.16537.68		0.03	22.30.0	66728.013589.0	
11	4.9	3.5 4.9		72103.17	1081.55576.83		0.03	22.30.0	71354.514483.9	
12	4.9	4.7 4.9		75978.29	1139.67607.83		0.03	22.30.0	74982.715186.2	
13	4.9	6.0 4.9		78831.06	1182.47630.65		0.03	22.30.0	77620.815697.5	
14	4.9	7.2 4.9		80654.46	1209.82645.24		0.03	22.30.0	79272.016018.3	
15	4.9	8.4 5.0		81432.02	1221.48651.46		0.03	22.30.0	79927.416147.1	
16	4.9	9.7 5.0		81163.8	1217.46649.31		0.03	22.30.0	79592.016084.7	
17	4.9	10.95.0		79839.09	1197.59638.71		0.03	22.30.0	78257.115829.5	
18	6.37	12.46.5		100107.2	1501.61800.86		0.03	22.30.0	98125.819885.9	
19	3.43	13.73.5		53261.63	798.92426.09		0.03	22.30.0	52237.110594.2	
20	4.9	14.75.1		78872.4	1183.09630.98		0.03	22.30.0	77430.715680.5	
21	4.9	16.05.1		81079.47	1216.19648.64		0.03	22.30.0	79723.916128.1	
22	4.9	17.35.1		82147.0	1232.21657.18		0.03	22.30.0	80941.216368.2	
23	4.9	18.65.2		82049.57	1230.74656.4		0.03	22.30.0	81052.916395.1	
24	4.9	19.95.2		80765.98	1211.49646.13		0.03	22.30.0	80029.616203.2	
25	4.9	21.25.3		78246.42	1173.7625.97		0.03	26.68713.1	68068.316797.0	
26	3.67	22.44.0		56196.38	842.95449.57		0.03	26.62732.1	52490.012941.6	
27	6.12	23.76.7		85782.49	1286.74686.26		0.03	26.60.0	84522.720880.5	
28	3.38	25.03.7		41730.46	625.96333.84		0.03	26.60.0	41265.010259.0	
29	6.42	26.47.2		56234.03	843.51449.87		0.03	26.60.0	55750.614162.5	
30	4.9	28.05.5		15828.05	237.42126.62		0.03	26.60.0	15558.24453.6	

Risultati analisi pseudo-statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs
Caso 2 - frana denominata <i>Strada Panoramica, zona Villa Brancadoro</i>	2.12



SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA A-A'



ANALISI DI STABILITA' STATICA

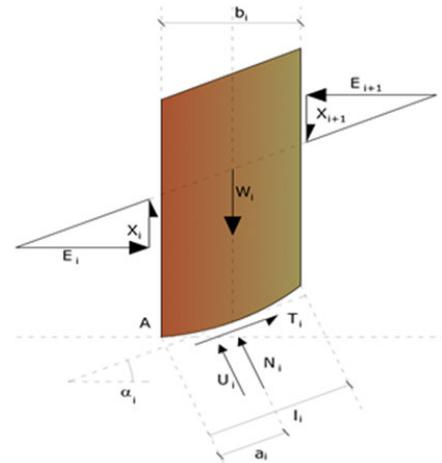
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====
 Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare
 =====

Maglia dei Centri

=====
 Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -617.14 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 136.69 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 841.51 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 601.61 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0
 =====

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	114.0	10.0
4	134.0	20.0
5	167.0	30.0
6	195.0	40.0
7	230.0	50.0
8	233.0	51.0
9	238.0	51.0
10	278.0	60.0
11	318.0	70.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	110.0	8.33
4	134.0	20.0
5	218.0	42.57
6	245.03	52.58
7	278.0	60.0
8	318.0	70.0

Vertici strato2

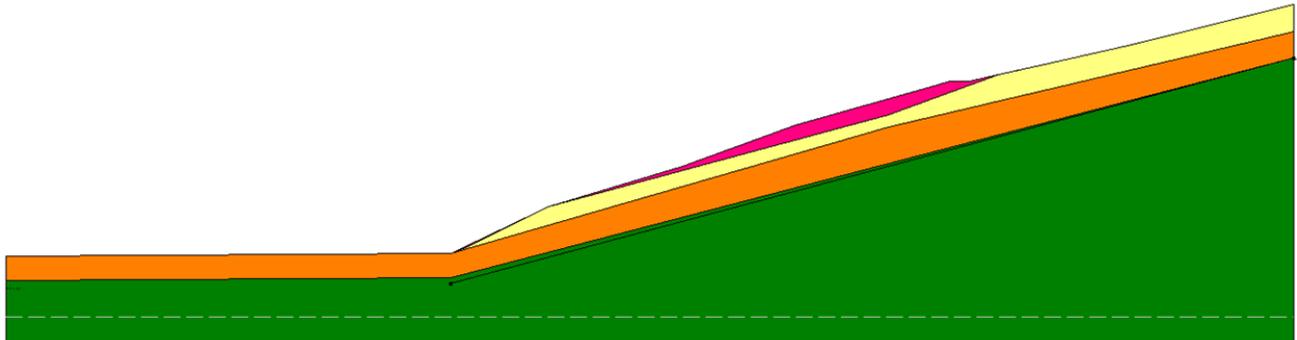
N	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	218.0	39.57
4	318.0	63.4

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.54
2	110.0	2.33
3	318.0	56.77

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Riduzione parametri geotecnici terreno No



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.03	26.6	1950	2000	Coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa e limoso-argillosa con presenza di sporadici laterizi, ciottoli calcarei e frammenti di FAA di spessore massimo di ≈ 4.0 m (UG3).
2	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa, di spessore di ≈ 3.0 m.
3	0.03	22.3	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di ≈ 6.0 m.
4	0.18	24	2080	2100	

				Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA (UG1a).	
--	--	--	--	---	--

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 1.33

Ascissa centro superficie	112.18	m
Ordinata centro superficie	136.69	m
Raggio superficie	129.43	m

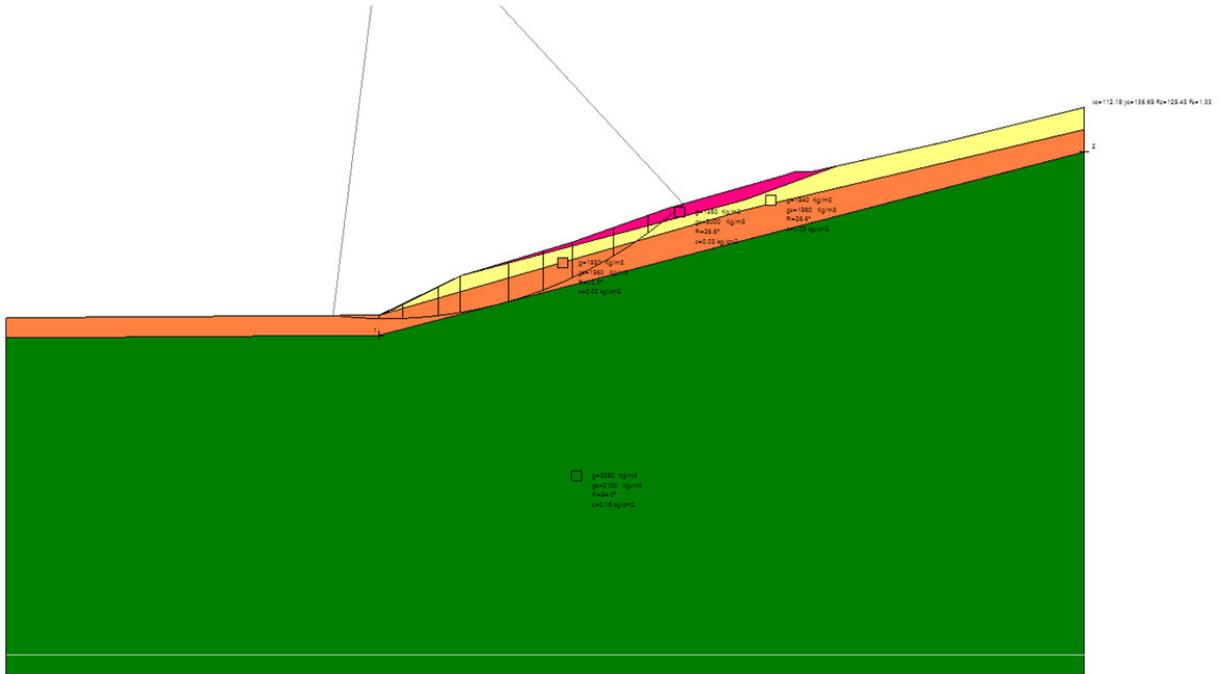
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$x_c = 112.182$ $y_c = 136.692$ $R_c = 129.43$ $F_s = 1.327$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	(Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	13.63	-4.013.7		18567.75	0.0	0.0	0.03	22.3	0.019243.8	9038.7	
2	7.04	0.6	7.0	34363.48	0.0	0.0	0.03	22.3	0.034239.6	12174.9	
3	10.33	4.410.4		128876.1	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0126054.441309.2		
4	6.63	8.2	6.7	125040.6	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0120728.038833.7		
5	14.04	12.914.4		315316.8	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0301399.996423.9		
6	10.33	18.510.9		237621.6	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0226335.972428.0		
7	8.63	23.09.4		186519.3	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0178324.257241.7		
8	12.04	28.113.6		226260.3	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0218728.670698.5		
9	10.33	33.912.4		140371.8	0.0	0.0	0.03	22.3	0.0138438.545607.4		
10	10.33	39.613.4		60222.73	0.0	0.0	0.03	26.6	0.057645.3	24788.8	

Risultati analisi statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs	Kc [-]	Kc [m/sec ²]
Frana denominata <i>ex-cava di argilla</i>	1.33	0.128	1.252



ANALISI DI STABILITA' PSEUDO-STATICA

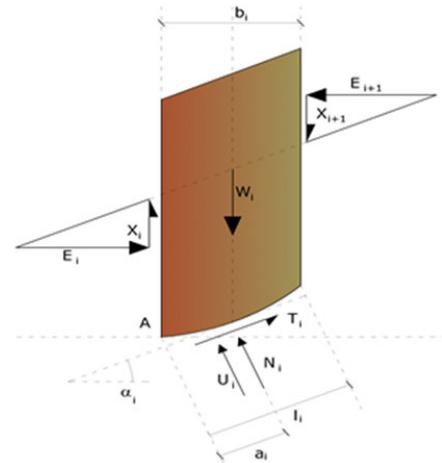
Relazione di calcolo

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====
 Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 3.0

Numero dei conci 30.0

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare
 =====

Maglia dei Centri

=====
 Ascissa vertice sinistro inferiore x_i -617.14 m

Ordinata vertice sinistro inferiore y_i 136.69 m

Ascissa vertice destro superiore x_s 841.51 m

Ordinata vertice destro superiore y_s 601.61 m

Passo di ricerca 10.0

Numero di celle lungo x 10.0

Numero di celle lungo y 10.0
 =====

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.014
 Coefficiente azione sismica verticale 0.007

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	114.0	10.0
4	134.0	20.0
5	167.0	30.0
6	195.0	40.0
7	230.0	50.0
8	233.0	51.0
9	238.0	51.0
10	278.0	60.0
11	318.0	70.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	110.0	8.33
4	134.0	20.0
5	218.0	42.57
6	245.03	52.58
7	278.0	60.0
8	318.0	70.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	7.54
2	110.0	8.33
3	218.0	39.57
4	318.0	63.4

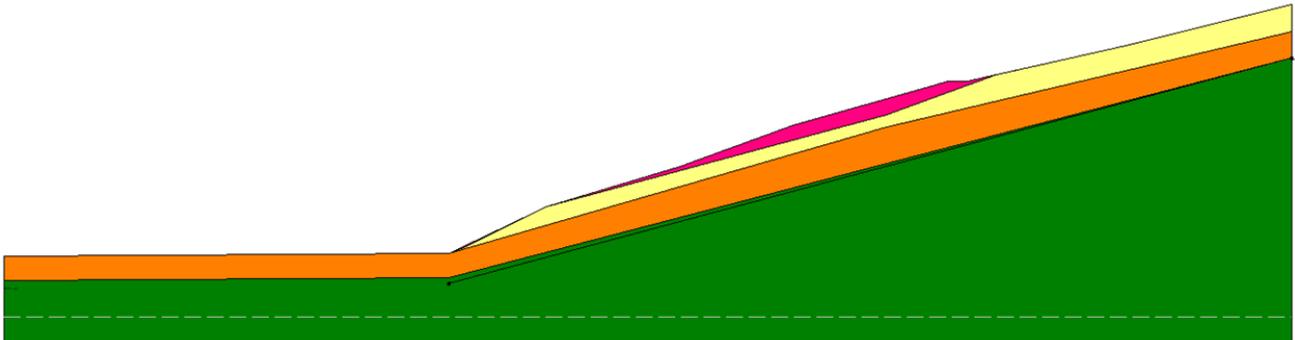
Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.54
2	110.0	2.33
3	318.0	56.77

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Riduzione parametri geotecnici terreno

No



Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.03	26.6	1950	2000	Coltre di natura antropica, compattata, prevalentemente limoso-sabbiosa e limoso-argillosa con presenza di sporadici laterizi, ciottoli calcarei e frammenti di FAA di spessore massimo di \approx 4.0 m (UG3).	
2	0.03	26.6	1940	1980	Coltre eluvio-colluviale (UG2) prevalentemente limosa e limoso argillosa debolmente sabbiosa, di spessore di \approx 3.0 m.	
3	0.03	22.3	1930	1960	Porzione alterata della <i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1b) di spessore di \approx 6.0 m.	
4	0.18	24	2080	2100	<i>Formazione geologica delle Argille Azzurre FAA</i> (UG1a).	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 1.26

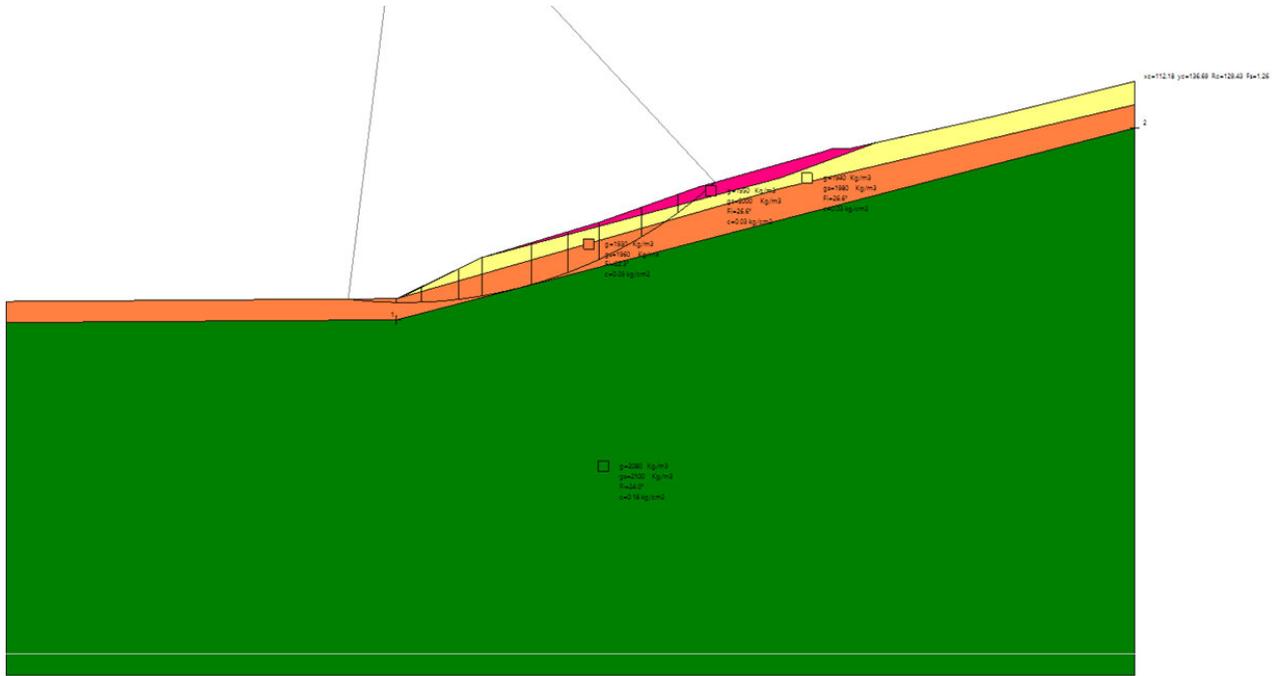
Ascissa centro superficie 112.18 m
 Ordinata centro superficie 136.69 m
 Raggio superficie 129.43 m

xc = 112.182 yc = 136.692 Rc = 129.43 Fs=1.259

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	WiKh•WiKv•Wi (Kg)	c (Kg)	Fi (kg/cm2)	Ui	N'iTi (°)(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	13.63	-4.01	3.7	18567.75	259.95	129.97	0.03	22.30.0	19278.39	533.3
2	7.04	0.6	7.0	34363.48	481.09	240.54	0.03	22.30.0	34232.91	2823.7
3	10.33	4.41	0.4	128876.1	1804.27	902.13	0.03	22.30.0	125886.94	3463.5
4	6.63	8.2	6.7	125040.6	1750.57	875.28	0.03	22.30.0	120441.54	0816.9
5	14.04	12.91	4.4	315316.8	4414.44	2207.22	0.03	22.30.0	300301.51	01222.1
6	10.33	18.51	0.9	237621.6	3326.71	663.35	0.03	22.30.0	225167.67	5920.4
7	8.63	23.09	4	186519.3	2611.27	1305.64	0.03	22.30.0	177183.55	9931.1
8	12.04	28.11	3.6	226260.3	3167.64	1583.82	0.03	22.30.0	217010.37	3919.3
9	10.33	33.91	2.4	140371.8	1965.21	982.6	0.03	22.30.0	137095.84	7608.9
10	10.33	39.61	3.4	60222.73	843.12	421.56	0.03	26.60.0	56820.62	5786.3

Risultati analisi pseudo-statica del pendio, in tabella

Descrizione	Fs
Frana denominata <i>ex-cava di argilla</i>	1.26





Prevenzione del rischio sismico - OCDPC n. 780/2021
 Programma regionale degli studi di Microzonazione Sismica
 Realizzazione studi di approfondimento di Livello 3
 sulle aree di attenzione per instabilità di versante

MICROZONAZIONE SISMICA

Carta Geomorfologica

scala 1:800
 Regione Marche
 Comune di San Benedetto del Tronto



Soggetti Realizzatori
 Geol. Primo FALCIONI
 Geol. Roberto D'Ambrosio
 Geol. Massimiliano MARCHETTI

Data e revisione: 15.01.2023

Legenda

 Area di studio di approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante
 Delimitazione corpo di frana su Carta Geologica Regionale Ed. CTR 1:10.000 Sezione 327070 San Benedetto del Tronto Sul Rilievamento eseguito negli anni 2005-2006

LITOTIPO

 Depositi di spiaggia antica prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi
 - cfr. Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)
 Terrazzo marino depositi ghiaiosi in matrice sabbioso-limoso
 - cfr. Rocce rudistiche (ghiare e conglomerati)
 Coltre eluvio-colluviale di spessore massimo di 0-7 m. In superficie è prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limoso (per uno spessore di poco superiore ai 3 m). In profondità è limoso-argilloso e limoso-argilloso debolmente sabbioso.
 Litofacies arenacea della Formazione geologica di Fermo
 - cfr. Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)

CLASSI GRANULOMETRICHE

 Sabbie e sabbie ghiaiose
 Sabbie cementate / Arenarie
 Ghiaie in matrice sabbioso-limoso
 Limi sabbiosi e sabbie limose, limi argillosi

FORME GRAVITATIVE

Forme di accumulo e deformazione

 Corpo di frana per scorrimento traslativo (sigla: CR 20) - Ripermetrazione attuale del corpo di frana
 Frana non cartografabile - cfr. Colamento lento di terra/fango (sigla: CR 21)
 Fratture ad tensione su manto stradale - cfr. Frattura di tensione (sigla: CR 45)

FORME DOVUTE AL DILAVAMENTO

Forme di erosione

 Canali di erosione - cfr. Solco da ruscellamento concentrato (sigla: FD 11)

Forme di erosione

 Lieve contropendenza - cfr. Contropendenza (sigla: CR 4)
 Cobba nel corpo di frana - cfr. Contropendenza (sigla: CR ...)

FORME LITO-STRUTTURALI

 Scarpa di erosione selettiva di tipo (a) - < 5 m (sigla: LS 4)
 Scarpa di erosione selettiva di tipo (b) - 5-10 m (sigla: LS 4)

FORME COSTIERE

Forme di erosione

 Scarpa di scavo di tipo (a) - < 5 m (sigla: CO 1)
 Scarpa di scavo di tipo (b) - > 5 m e < 15 m (sigla: CO 1)

FORME ANTROPICHE

Forme di erosione

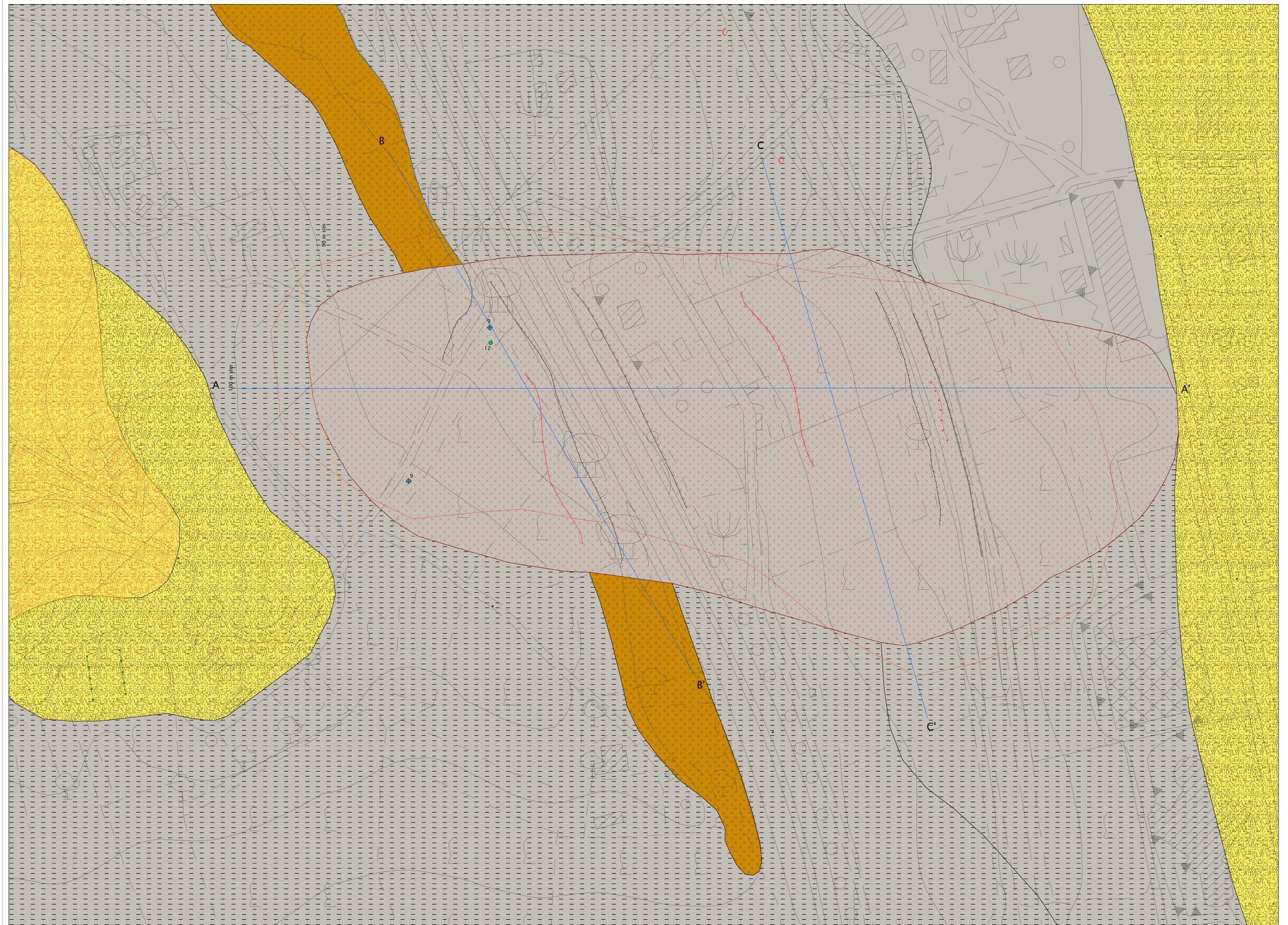
 Scarpa di scavo di tipo (a) - < 5 m (sigla: AN 1)
 Scarpa di scavo di tipo (b) - > 5 m e < 15 m (sigla: AN 1)

Elementi geologici e idrogeologici

 Sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico con indicazione della profondità (m) del substrato
 Pozzo con indicazione del livello statico della falda acquifera (m)

Riferimenti cartografici:
 - Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) Regione Marche, sezioni N° 327070;
 - Carta Geologica dell'Italia al 1:50.000, Foglio 133-134 MACON PIACINO - GIULIANOVA;
 - Carta Geologica Regionale, Edizione CTR, sezioni N° 327070;
 - Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico a cura dell'Autorità di Bacino Regionale (PAI MARCHE);
 - Progetto IPI, IGRA - Dipartimento Difesa del Suolo.

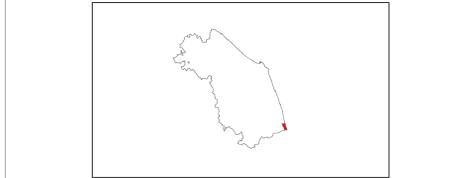
0 20 40 80
 Metri



MICROZONAZIONE SISMICA

Carta Geomorfologica

scala 1:800
 Regione Marche
 Comune di San Benedetto del Tronto



Soggetti Realizzatori
 Geol. Primo FALCIONI
 Geol. Roberto D'Ambrosio

Data e revisione: 19.09.2022

Legenda

Area di studio di approfondimento di Livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante
 Delimitazione corpo di frana su Carta Geologica Regionale Ed. CTR 1:10.000 Sezione 327070 San Benedetto del Tronto Sud
 Rilievi eseguiti negli anni 2005-2006

- Litotipo**
- Coltre di natura antropica, compattata. E' prevalentemente limoso-sabbiosa, e limoso-argillosa, con presenza di sporadici lateriti, ciottoli calcarei e frammenti di FAA. Spessore massimo rilevato: 4 m (cfr. indagini penetrometriche realizzate ex-novo).
 - Depositi di spiaggia antica prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi - cfr. Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie).
 - Terrazzo marino: depositi ghiaiosi in matrice sabbioso-limosa - cfr. Rocce ruditiche (ghiaie e conglomerati).
 - Coltre eluvio-colluviale di spessore massimo di 6-7 m. In superficie è prevalentemente sabbiosa e sabbioso-limosa (per uno spessore di poco superiore ai 3 m). In profondità è limoso-argillosa e limoso-argillosa debolmente sabbiosa.

- Classi granulometriche**
- Sabbie e sabbie ghiaiose
 - Ghiaie in matrice sabbioso-limosa
 - Limi sabbiosi, limi argillosi

- Forme gravitative**
- Forme di accumolo**
- Corpo di frana per scorrimento traslativo (sigla: GR 20) - Riperimetrizzazione attuale del corpo di frana
 - Frana non cartografabile - cfr. Colamento lento di terra/fango (sigla: GR 21)

- FORME DOVUTE AL DILAVAMENTO**
- Forme di erosione**
- Canali di erosione - cfr. Solco da ruscellamento concentrato (sigla: FD 11)

- Forme antropiche**
- Forme di erosione**
- Scarpata di scavo di tipo (a): < 5 m (sigla: AN 1)
 - Scarpata di scavo di tipo (b): > 5 m e < 15 m (sigla: AN 1)

- Elementi geologici e idrogeologici**
- Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico con indicazione della profondità (m) del substrato

Riferimenti cartografici:
 - Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) Regione Marche, sezioni N° 327070.
 - Carta Geologica d'Italia al 1:80.000, Foglio 133-134 ASSOLI-PIENO - GIULIANOVA.
 - Carta Geologica Regionale, Edizione CTR, sezioni N° 327070.
 - Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico a cura dell'Autorità di Bacino Regionale (IPAI MARCHE).
 - Progetto IPPI, ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo.

