

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO ESECUTIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

*Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045*

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl
Albo Geol. Lombardia n. A762*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

*Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502*

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO:

DATA:



03 - GEOLOGIA E GEOTECNICA

03.01 - GEOLOGIA

Relazione geologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE01GEORE01A.pdf		
LO702M	E	2101	CODICE ELAB. T00GE01GEORE01	A	R
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		FEBBRAIO 2023	VITIELLO	MEZZANZANICA FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI TECNICHE	4
2.2	ELABORATI DELLE FASI PRECEDENTI DELLA PROGETTAZIONE	4
2.3	ELABORATI DEL PROGETTO ESECUTIVO	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	7
5	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE	11
5.1	FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA	11
5.2	TERRENI DI COPERTURA	15
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO	17
6.1	CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE PER LE FASI DI PROGETTO DEI LOTTI 2 E 3	17
6.1.1	<i>Campagna di indagine Methodo S.r.l. (1999)</i>	17
6.1.2	<i>Campagna di indagine Sondedile S.r.l. (2018)</i>	18
6.2	CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE PER LA PROGETTAZIONE DEL LOTTO 4	18
6.2.1	<i>Campagna di indagine Geotec S.p.A. (1998)</i>	19
6.2.2	<i>Campagna di indagine Geoemme Due S.a.s. e Polo Geologico S.n.c. (2001)</i>	19
6.2.3	<i>Campagna di indagine Perigeo Sondaggi S.n.c. (2002)</i>	19
6.2.4	<i>Campagna di indagini Comune di Mercatello sul Metauro (1994-2004)</i>	20
6.2.5	<i>Campagna di indagine Gamma Geoservizi S.r.l. (2021-2022)</i>	20
6.3	CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA INTEGRATIVA PIZZI TERRA S.R.L. (2022)	21
7	ASSETTO GEOMORFOLOGICO	22
7.1	INQUADRAMENTO GENERALE	22
7.2	PRINCIPALI CARATTERI GEOMORFOLOGICI	22
7.3	AREE A RISCHIO FRANA O ESONDAZIONE – IL P.A.I. (PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO)	24
7.3.1	<i>Intersezione lato Marche (fine 3° Lotto)</i>	24
7.3.2	<i>Intersezione lato Umbria</i>	25
7.4	SINTESI DELLO STUDIO DELLE DEFORMAZIONI STORICHE CON INTERFEROMETRIA RADAR SATELLITARE DEL TRATTO GUINZA – MERCATELLO OVEST	26
8	ASSETTO IDROGEOLOGICO	38
8.1	CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI	38
8.2	SCHEMA IDROGEOLOGICO	39
8.3	INTERFERENZA ACQUIFERI – OPERE	39
8.3.1	<i>Intersezione lato Umbria</i>	39
8.3.2	<i>Intersezione lato Marche</i>	41
9	GAS METANO	42
10	SILICE LIBERA CRISTALLINA	42
11	SISMICITÀ DELL'AREA	43
	Relazione geologica	1

RTP di progettazione:

Mandataria:



Mandanti:



11.1	ZONAZIONE SISMOGENETICA	43
11.2	SISMICITÀ STORICA E ASPETTI SISMOGENETICI	44
11.3	FAGLIE CAPACI.....	48
11.4	SISMICITÀ LOCALE E STATI LIMITE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI SISMICHE.....	49
11.5	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	50
11.6	PARAMETRI SISMICI	50
11.7	ANALISI DI DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	53
11.8	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	55
11.9	CATEGORIA SISMICA DEI SUOLI DI FONDAZIONE	56
11.9.1	<i>Risultati delle indagini geofisiche eseguite</i>	57
11.9.2	<i>Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione.....</i>	59
11.10	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA PER H>30 M	60
11.11	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	60
11.12	ANALISI PSEUDOSTATICHE.....	61
11.12.1	<i>Stabilità dei fronti di scavo e rilevati.....</i>	61
11.12.2	<i>Opere di sostegno</i>	62
11.12.3	<i>Manufatti scatolari</i>	62
11.12.4	<i>Paratie.....</i>	62

1 PREMESSA

Il presente documento descrive l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area interessata dal progetto esecutivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

Le caratteristiche geologiche della zona sono state desunte dai rilevamenti geologici e dalle indagini geognostiche eseguite nelle precedenti fasi progettuali definitive ed esecutive, con particolare riferimento al progetto esecutivo del 2° Lotto redatto da Geodata S.p.A. nel 1996 e al progetto definitivo Anas del 2018, nell'ambito del quale, oltre ai rilievi geomeccanici degli ammassi rocciosi, è stata eseguita una apposita campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche (cfr. elaborati **T00SG05GEORE02**, **T00SG05GEORE03** e **T00SG05GEORE04**). Risultano disponibili anche i risultati di una campagna di indagine geognostica eseguita nel 1999 durante la fase di realizzazione del Lotto 3 (cfr. elaborato **T00SG05GEORE01**).

Inoltre, nell'ambito dell'attuale fase di progettazione esecutiva, è stata eseguita una ulteriore campagna di indagini geognostiche (2022), i cui risultati sono mostrati nell'elaborato **T00SG06GEORE01**.

Si sottolinea che per la redazione del presente documento, sono stati considerati principalmente i contenuti della Relazione geologica del progetto definitivo Anas del 2018, in parte basati sul progetto esecutivo elaborato da Geodata nel 1996 per i lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza, con particolare riferimento ai seguenti elaborati:

- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Relazione geologica ed idrogeologica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Carta geologica-geomorfologica e idrogeologica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Relazione geomeccanica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Profilo geologico-geomeccanico con indicazione delle sezioni tipo” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Rilievo di consistenza del cunicolo pilota ed indagini integrative” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo del 1° stralcio della via sinistra - Galleria della Guinza e raccordo lato Mercatello – Estesa ml. 3330 da sez. 1 a sez. 54 – “Relazione geologica” (Geodata, 1990)

Infine, relativamente all'assetto geomorfologico dell'area, sono stati considerati gli esiti dello studio delle deformazioni storiche con interferometria SAR satellitare, eseguito da Nhazca S.r.l. (spin off dell'Università della Sapienza di Roma) nel 2020 e allegato al presente progetto esecutivo (cfr. elaborato **T00GE01GEORE02**).

2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale”, n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

2.2 Elaborati delle fasi precedenti della progettazione

- Progetto esecutivo del 1° stralcio della via sinistra - Galleria della Guinza e raccordo lato Mercatello – Estesa ml. 3330 da sez. 1 a sez. 54 – “Relazione geologica” (Geodata, 1990)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Relazione geologica ed idrogeologica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Carta geologica-geomorfologica e idrogeologica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Relazione geomeccanica” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Profilo geologico-geomeccanico con indicazione delle sezioni tipo” (Geodata, 1996)
- Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici – “Rilievo di consistenza del cunicolo pilota ed indagini integrative” (Geodata, 1996)

2.3 Elaborati del progetto esecutivo

Indagini geognostiche pregresse

- 0 **T00SG10GEORE01** – “Documentazione indagini geognostiche e prove di laboratorio 1999”
- 0 **T00SG10GEORE02** – “Documentazione indagini geognostiche 2018”
- 0 **T00SG10GEORE03** – “Documentazione prove di laboratorio 2018”
- 0 **T00SG10GEORE04** – “Documentazione indagini geofisiche 2018”
- 0 **T00SG10GEORE05** – “Documentazione indagini geognostiche via Cà Lillina”

Indagini geognostiche 2022

- 0 **T00SG11GEORE01** – “Documentazione indagini geognostiche 2022”
- 0 **T00SG11GEORE02** – “Documentazione indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio Via Cà Lillina”

Geologia

- 0 **T00GE01GEORE01** – “Relazione geologica”

- 0 **T00GE01GEORE02** – “Studio delle deformazioni storiche con interferometria SAR satellitare – Relazione tecnica Nhazca”
- 0 **T00GE01GEOPU01÷10** – “Planimetria con ubicazione delle indagini” – 10 tavv.
- 0 **T00GE01GEOCG01÷04** – “Carta geologica generale” – 4 tavv.
- 0 **T00GE01GEOCG05÷14** – “Carta geologica di dettaglio” – 10 tavv.
- 0 **T00GE01GEOCG15** – “Intersezione Lato Umbria - Carta geologica di dettaglio”
- 0 **T00GE01GEOCG16** – “Intersezione Lato Marche – Carta geologica di dettaglio”
- 0 **T00GE01GEOCG17÷26** – “Carta geomorfologica” – 10 tavv.
- 0 **T00GE01GEOCI01÷10** – “Carta idrogeologica” - 10 tavv.
- 0 **T00GE01GEOFG01÷05** – “Profilo geologico asse principale” – 5 tavv.

Gestione materie

- 0 **T00GE02GEORE01** – “Piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo”
- 0 **T00GE02GEOCD01** – “Corografia cave, siti di deposito definitivo delle terre e dei materiali da demolizione”
- 0 **T00GE02GEODC01** – “Planimetria e sistemazione morfologica del sito di deposito definitivo di Molino dei Roghi”

Geotecnica

- 0 **T00GE03GETRE01** – “Relazione geotecnica generale”
- 0 **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”
- 0 **T00GE03GETFG01** – “Intersezione lato Umbria - Profilo geotecnico Asse 3 e Asse 4”
- 0 **T00GE03GETFG02** – “Intersezione lato Marche - Profilo geotecnico Asse 1_1 e Asse 2”
- 0 **T00GE03GETFG03** – “Intersezione Lato Umbria - Profili geotecnici paratie (imbocco sud galleria Guinza e laterale)”
- 0 **T00GE03GETFG04** – “Intersezione Lato Umbria – Profili geotecnici muri su pali (Asse 3 e Asse 5)”
- 0 **T00GE03GETFG05** – “Intersezione Lato Umbria - Profilo geotecnico tombino scatolare”
- 0 **T00GE03GETFG06** – “Profilo geotecnico Adeguamento Via Cà Lillina”
- 0 **T00GE03GETSG01** – “Intersezione Lato Umbria – Sezioni geotecniche Muro Asse 3”
- 0 **T00GE03GETSG02** – “Intersezione Lato Umbria - Sezioni geotecniche Muro Asse 5”
- 0 **T00GE03GETFG07÷12** – “Profilo geomeccanico Galleria Guinza” - 6 tavv.

Sismica

- 0 **T00GE04GETRE01** – “Relazione sismica”
- 0 **T00GE04GETCS01÷04** – “Planimetria con classificazione sismica del territorio” – 4 tavv.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le opere da realizzare per l'adeguamento del tracciato esistente e per i collegamenti alla viabilità esistente, si sviluppano attraverso lo spartiacque appenninico fra Marche (Provincia di Pesaro e Urbino) e Umbria (provincia di Perugia).

Nella zona attraversata dalla galleria, le quote massime raggiunte dalla dorsale appenninica si aggirano sui 900 m slm, dividendo il bacino del Metauro (Marche) da quello dell'alta valle del Tevere (Umbria).

Il collegamento alla viabilità esistente sul lato Umbria (SP 200) avviene nel territorio comunale di San Giustino (PG), nei pressi della frazione Parnacciano, all'uscita dalla galleria.

Sul lato marchigiano, il tracciato all'aperto è stato già realizzato (III Lotto), ed il collegamento alla viabilità esistente avverrà alla fine del III Lotto nei pressi dell'abitato di Mercatello sul Metauro (PU).

Le quote di imbocco sui due lati della galleria sono di 581 m circa sul lato umbro, e di 556 m circa sul lato marchigiano; le coperture in calotta raggiungono un massimo di 310 m, mantenendosi in media fra i 150 e i 230 m.

Nella **Figura 1** è mostrata una foto aerea con l'ubicazione del tracciato del 2° Lotto (galleria) e dei due collegamenti con la viabilità esistente da realizzare.

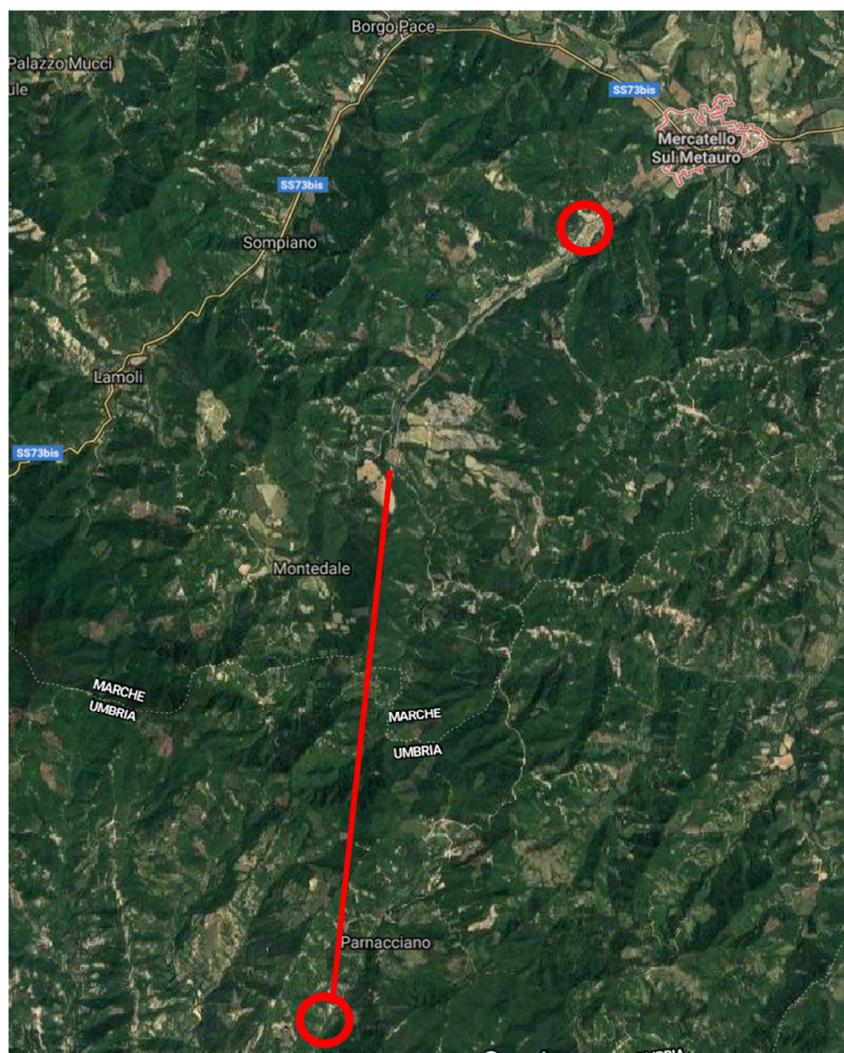


Figura 1: Ubicazione su foto aerea del tracciato della galleria Guinza (linea rossa) e dei due collegamenti provvisori alla viabilità esistente (cerchi rossi)

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La formazione Marnosa Arenacea umbra, come quella romagnola di cui rappresenta la continuazione, è caratterizzata, secondo il Selli, "da lunghi blocchi ad orientamento NW-SE, relativamente stretti (3-8 km) e con un generale assetto monoclinale a pendenze dolci verso SW o talora pianeggianti. Ogni blocco presenta al margine NE una brusca "ginocchiatura" con strati raddrizzati o anche ribaltati verso NE, la quale in profondità passa a una faglia inversa. Cioè si tratta in definitiva di una serie di gradini inclinati verso SW e fra loro compensantisi".

Il tracciato in galleria attraversa due di questi blocchi strutturali, denominati "Elemento di Pietralunga" ed "Elemento di Borgo Pace".

Le principali ginocchiature o pieghe rovesciate che delimitano a NE i singoli blocchi affioranti nel bacino del Metauro sono le seguenti (da SW a NE):

- Anticlinale che orla a NE dell'Alpe della Luna-Bocca Trabaria
- Anticlinale Montelabreve – Lamoli - Montemorice- S. Giovanni a Vignole - Cima del Pietriccio - Sette Ducati (presso la strada Scheggia-Gubbio). È questo il più lungo asse strutturale della regione seguibile per una sessantina di km
- Anticlinale di Apecchio
- Anticlinale Mazziconiaia-Palazzi
- Anticlinale M. dei Santi-Sorbetolo

Il tracciato del 2° e del 3° Lotto si sviluppa tra l'elemento di Borgo Pace e quello di Pietralunga, e dunque attraversa il sovrascorrimento che separa i due elementi (quello di Pietralunga si accavalla su quello di Borgo Pace), e la struttura "a ginocchio" di Montelabreve-Lamoli che si accompagna al sovrascorrimento.

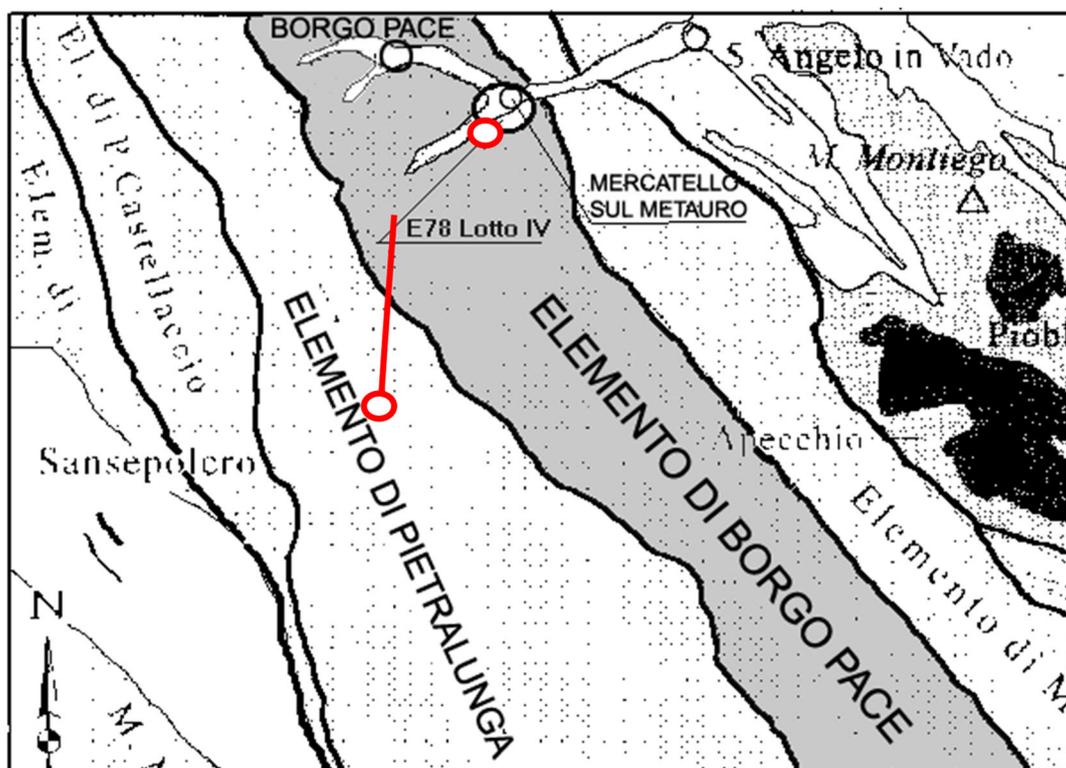


Figura 2: Attuale rappresentazione dello schema tettonico delle Marche. Gli elementi tettonici indicati nello schema sono delimitati dalle strutture descritte da R. Selli nella sua monografia sulla Valle del F. Metauro. In rosso, è rappresentata l'ubicazione della galleria (2° Lotto) e le due aree interessate dai tratti di collegamento alla viabilità esistente (cerchi rossi)

Lungo il tracciato, si possono distinguere tre zone principali:

- una zona relativamente poco deformata a sud (zona Umbra), caratterizzata da una tettonica essenzialmente fragile rappresentata da diverse faglie che suddividono quest'area in grandi placche monocliniche con stratificazione debolmente immergente verso O-SO, che tende a divenire suborizzontale verso il confine marchigiano;
- una fascia centrale altamente tettonizzata separata dalla precedente tramite un brusco passaggio costituito da una estesa fascia cataclastica immergente verso SO. Le faglie, da subverticali tendono ad inclinarsi e ad orientarsi parallelamente al sovrascorrimento, osservabile nei pressi del M. La Casina e che attraversa in senso NO-SE tutta l'area rilevata. La tipologia del sovrascorrimento è quella classica della piega-faglia (thrust), in cui si osserva un progressivo inarcamento degli strati fino alla verticalizzazione ed al rovesciamento della struttura. Il sovrascorrimento, vergente verso NE e a basso angolo di immersione, passa poco a nord dello spartiacque umbro-marchigiano e pone a contatto l'elemento di Pietralunga a Sud con quello di Borgo Pace a Nord. In particolare, nella zona in studio è osservabile uno sdoppiamento della struttura. Associate a tali sovrascorrimenti vi sono estese fasce cataclastiche, non chiaramente identificabili in affioramento (anche perché mascherate da accumuli detritici e fasce boschive), ma molto evidenti in sotterraneo.
- una zona caratterizzata da pieghe e faglie a Nord (zona marchigiana): questa zona mostra una tettonica essenzialmente duttile e rare faglie dirette (una delle quali dà luogo al visibilissimo stacco di pendio a monte di Pian Marzolino, in corrispondenza del tratto finale, lato Marche, della galleria Guinza). La deformazione degli strati è comunque graduale, e determina alcune pieghe a grande scala, il cui asse resta parallelo a quello della catena.

Seguono alcune immagini con esempi delle evidenze in affioramento di alcuni degli aspetti geostrutturali appena descritti.



Figura 3: Lungo la strada SP 200 nei pressi dell'imbocco della galleria lato-Umbria: Piccola faglia che sblocca il regolare andamento degli strati di Marnoso-Arenacea immergenti a W-SW (250°)



Figura 4: Ripresa lungo il versante sinistro del Fosso della Guinza. Le ellissi gialle evidenziano la forte inclinazione degli strati di Marnoso-Arenacea, sul fianco sud-ovest della sinclinale di muro (“footwall”) sotto al sovrascorrimento dell’Elemento di Pietralunga su quello di Borgo Pace. La linea tratteggiata individua, approssimativamente, la traccia del piano assiale della sinclinale. Sullo sfondo, la serie di strati ripresi nella **Figura 5**.

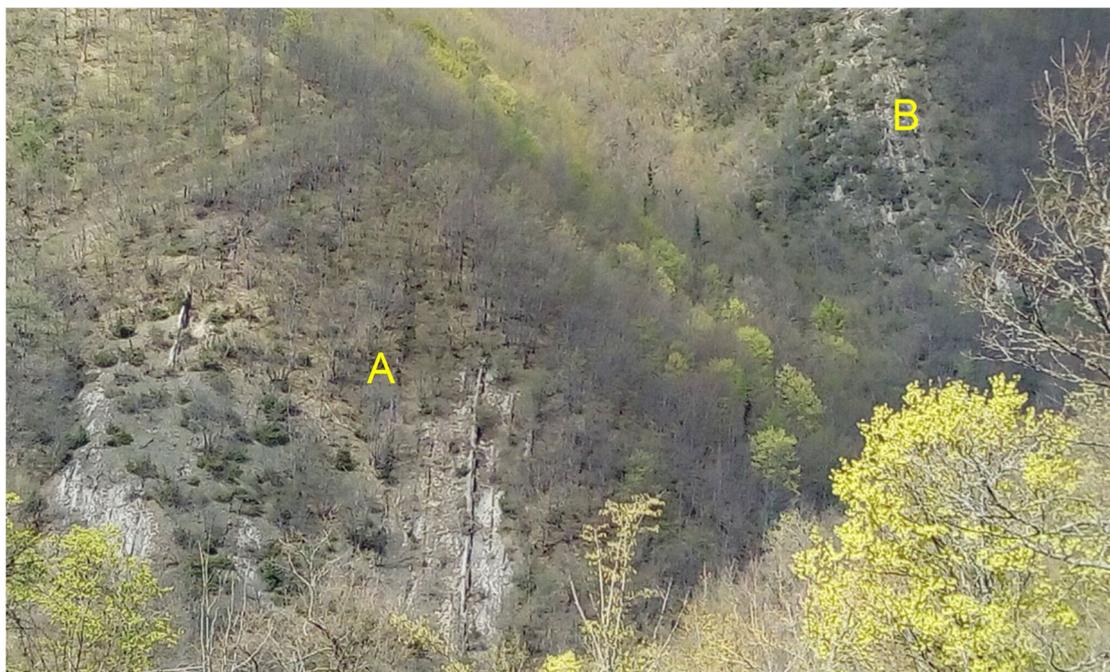


Figura 5: in primo piano (A), strati verticali con tendenza al rovesciamento sulla sinistra, al tetto (“hanging wall”) del sovrascorrimento. L’erosione selettiva lascia in rilievo gli strati arenitici, più resistenti. In secondo piano (B), gli strati evidenziati nella fig. 15. Tra i due affioramenti, passa la linea (o fascia) di sovrascorrimento, all’incirca lungo la valle che li separa.

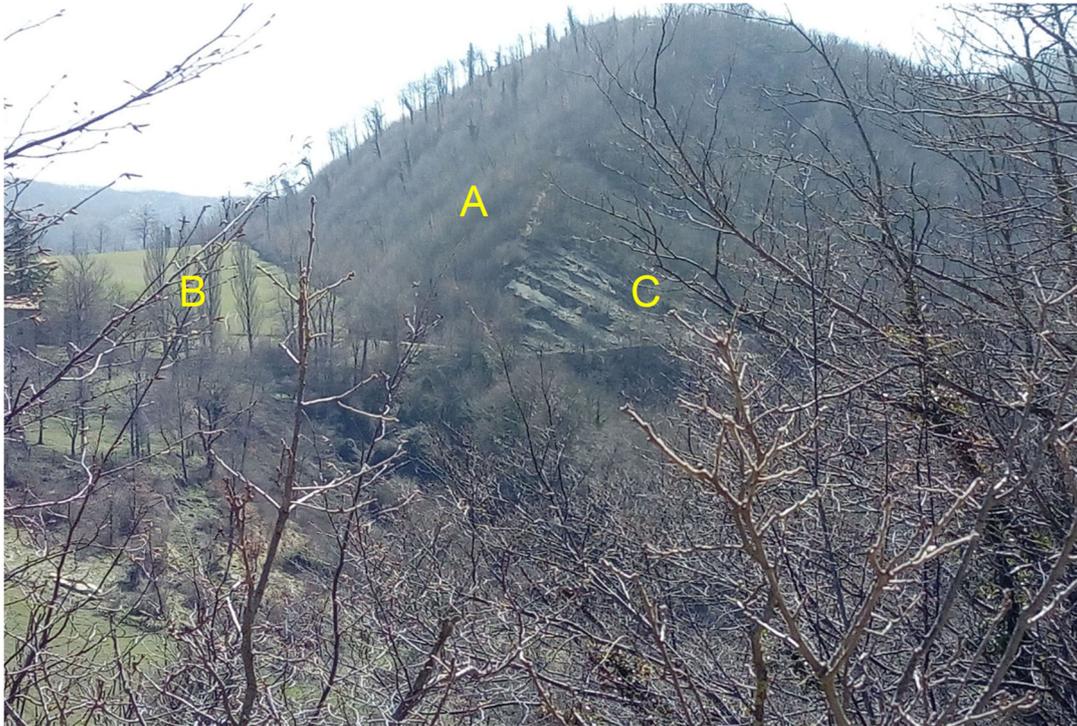


Figura 6: La foto inquadra, da NW, l'area sotto cui si sviluppa la parte finale, lato-Marche, della galleria. È ben visibile (A) la scarpata, di probabile origine tettonica (faglia o importante diaclasi) e a direzione appenninica, che delimita il "glacis" di Pian Marzolino (a sinistra). Sono visibili strati di Marnoso-Arenacea ad immersione SW (244°) (C).

5 UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE

5.1 Formazione marnoso-arenacea

In tutta l'area rilevata affiora diffusamente la sopra menzionata Formazione Marnoso-Arenacea: si tratta di una successione torbiditica data dall'alternanza di arenarie più o meno cementate e marne, solo raramente passanti ad argille, di età miocenica (dal Langhiano al Tortoniano).

Gli strati pelitici sono costituiti essenzialmente da marne, marne calcaree, marne argillose e marne siltose.

In affioramento la formazione assume un colore giallo ocra per ossidazione, favorita dalla degradazione fisica della roccia spinta sino ad alcuni metri di profondità. Spesso, sugli affioramenti, si osserva una caratteristica differenziazione cromatica tra gli strati arenacei e quelli marnosi, i primi giallastri per ossidazione, ed i secondi che mantengono il colore grigio in quanto la degradazione spinta ne causa la trasformazione in un insieme scaglie di detrito minuto continuamente rinnovatesi.

Il passaggio tra gli strati pelitici e quelli arenacei è sempre ben visibile poiché questi ultimi, specie sui versanti più acclivi e con giacitura a reggipoggio, sono in aggetto per una maggiore resistenza all'erosione. Gli strati pelitici sono interessati da una fitta rete di microfessure da ritiro che suddivide la roccia in frammenti prismatici o a scaglie nei litotipi a maggiore contenuto in argilla, o in frammenti con superfici concave e convesse nei termini marnoso-calcarei.

Nei sondaggi la formazione presenta un colore grigio con tonalità che va dalla chiara, negli strati francamente arenacei e in quelli più marnoso - calcarei, a grigio scuro negli strati più argillosi. Il passaggio tra peliti e areniti è spesso meno netto rispetto a quanto si osserva negli affioramenti, ma più graduale ad eccezione dei casi in cui le arenarie sono ben cementate e prive, o quasi, di matrice limo - argillosa.

Intercalati negli strati pelitici si sono ritrovate saltuariamente sottili lenti di lignite. In letteratura sono stati già segnalati, anche in affioramento, ligniti nell'ambito della Formazione Marnoso Arenacea e, specificatamente nel territorio di Mercatello sul Metauro, in località La Noce presso Montedale nella valle del S. Antonio.

Come accennato, la Formazione ha un notevole spessore e presenta una certa uniformità di caratteristiche litologiche e stratigrafiche; tuttavia, all'interno della successione sono distinguibili:

- un membro inferiore (indicato con la sigla FMA4a negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), che coincide con la parte inferiore (“pre-Contessa” o “litofacies di Montelabreve”) del “Membro di Galeata” (cfr. Note illustrative dei Fogli 278 “Pieve S.Stefano” e 289 “Città di Castello”), con predominanza di torbiditi silico-clastiche con paleo-correnti verso Sud Est. Gli strati arenitici hanno spessore variabile tra 20 e 200 cm, ed il rapporto Arenaria/Pelite (A/P) è a favore della parte pelitica, con rapporti da 1/2 a 1/6. Questo membro affiora diffusamente a cavallo del confine Marche-Umbria, a partire dal contatto tettonico (sovrascorrimento) nei pressi del Monte La Casina, ed interessando in profondità gran parte del tratto umbro della galleria della Guinza. Lo spessore affiorante è di circa 400 m, ma quello ricostruito a partire dalle correlazioni geologico-stratigrafiche è decisamente superiore, fino a circa 1000 m.
- un membro intermedio (indicato con la sigla FMA4b negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), costituito da torbiditi arenaceo-pelitici con rapporto A/P da 1/1 a 1/4, con notevole abbondanza di strati calcarenitici, spessi fino a 3 m, con clasti calcarei organogeni e silicatici, che si alternano ad areniti sottilmente stratificate. Verso la porzione sommitale, si osserva una generale diminuzione della componente arenitica, a vantaggio di quella pelitica, con rapporti A/P oscillanti tra 1/6 e 1/10; questa variazione di facies è marcata da uno strato guida calcarenitico di circa 2,5 m di spessore, in letteratura noto come “strato Val di Pierle”, che è a sua volta associato ad un bancone di arenaria di circa 4 m, posto una ventina di metri più in basso. Lo spessore è di circa 500 m. Affiora in due fasce ai lati della zona occupata dal membro FMA4a, più stretta quella dal lato marchigiano e molto più estesa quella sul lato umbro: questa differenza è indotta da motivi strutturali, in quanto sul lato umbro la stratificazione è piuttosto “tranquilla”, uniformemente immergente verso Sud Ovest con bassa inclinazione

(10°-20°), mentre sul lato marchigiano è coinvolta nei motivi tettonici a pieghe e sovrascorrimenti, con giacitura verticale o anche rovesciata ma comunque ad alto angolo.

Questi due membri sono separati da un livello-guida (“strato Contessa”), bancone arenaceo plurimetrico (6-7 m di spessore) accoppiato ad un orizzonte marnoso massivo di analogo spessore; questo strato si segue con continuità per centinaia di chilometri sia sul lato umbro che in quello marchigiano.

– un membro superiore, noto come “Membro di Collina” (indicato con la sigla FMA5 negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), con torbiditi pelitico-arenacee con rapporto A/P tra 1/4 e 1/6. Gli strati arenacei hanno colorazione beige-marroncina, mentre le peliti sono costituite da marne/siltiti grigie finemente stratificate. Il massimo spessore affiorante è di circa 300 m. Esso occupa in affioramento la parte finale (lato-Marche) del tracciato della galleria Guinza, a partire dai rilievi a sud di Pian Marzolino, nonché larga parte del 3° Lotto.

Seguono alcune immagini che illustrano le caratteristiche della formazione.



Figura 7: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA5) lungo il tratto iniziale della strada che da Guinza sale verso Cima Le Fienae. Sulla sommità della scarpata tendono a prevalere gli strati di arenaria (rapporto A/P da 1,5:1 a 1:1), piuttosto calcarea (calcarenite, i cui strati prendono localmente il nome di “colombine”), mentre nella parte bassa predominano le peliti, tipicamente soggette a rapida disaggregazione.



Figura 8: Strato marnoso calcareo con la tipica fratturazione concava – convessa

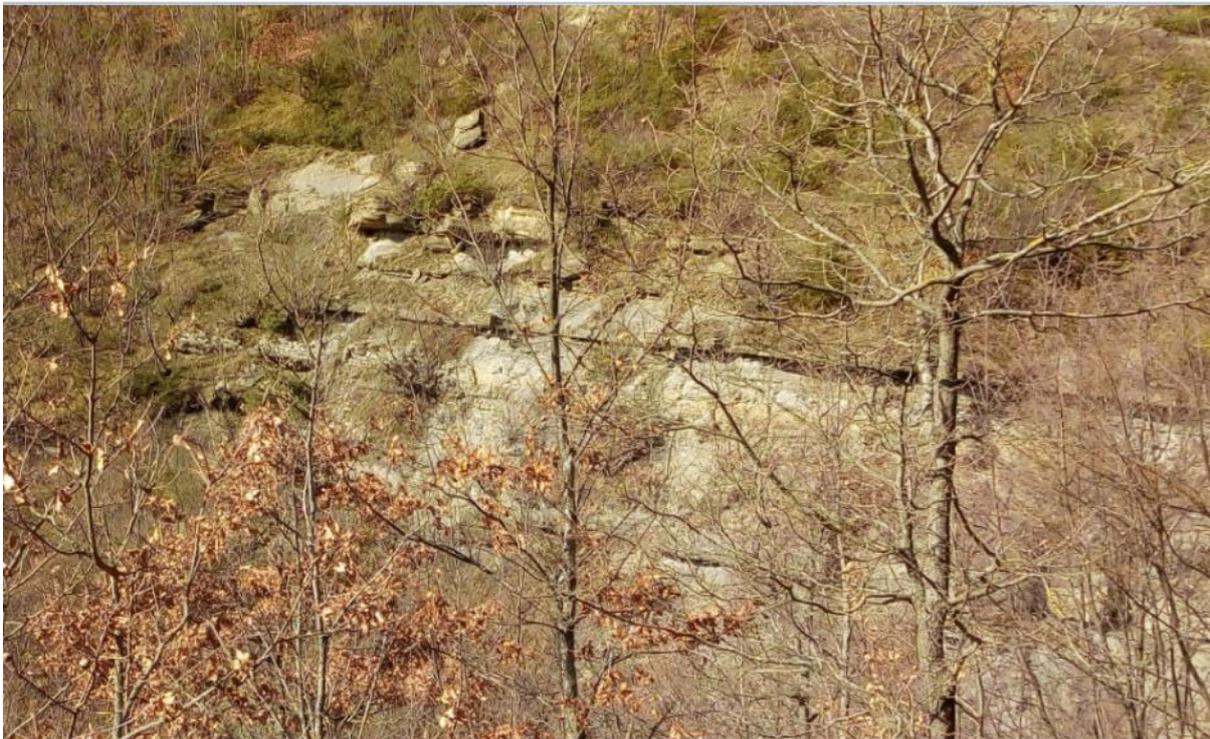


Figura 9: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA5) lungo il Fosso della Guinza. Prevalenza di strati pelitici (rapporto A/P circa 1:4). L'erosione di questi ultimi isola gli strati arenacei favorendone lo scalzamento ed il crollo di blocchi, principalmente per ribaltamento, dato che la giacitura è sub-orizzontale a leggero reggipoggio.



Figura 10: Strati di Marnoso-Arenacea piegati ad anticlinale lungo il Fosso della Guinza



Figura 11: Esposizione di strati di Marnoso-Arenacea (Membro FMA4b) lungo il versante sinistro del Fosso della Guinza. Immersione degli strati N5°E, pend. 20°-25°. È evidenziato (freccia rossa) un banco plurimetrico calcarenitico. Potrebbe trattarsi dello “strato di Val di Pierle”, uno dei diversi livelli-guida definiti nella letteratura geologica sulla Marnoso-Arenacea. È molto probabile che si tratti del banco calcarenitico incontrato in galleria tra le progr.ve 4735 e 4800 circa.



Figura 12: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA4a) lungo la SP 200, nei pressi di Parnacciano. Prevalenza di strati pelitici (rapporto A/P circa 1:2 nella parte alta, e 1/6 nella parte bassa).

5.2 Terreni di copertura

Con la dizione “terreni di copertura”, si intendono quei termini litologici sedimentari depositi in ambiente sub-aereo (continentale), e che, di conseguenza, non sono correlati stratigraficamente alla Formazione Marnoso-Arenacea, bensì sono ad essa sovrapposti con contatti eteropici. In realtà, in zona queste coperture sono sporadiche, molto discontinue, e non presentano spessori considerevoli, tranne in pochi casi; ciò fa sì che la loro importanza progettuale sia limitata alle opere all’aperto, mentre è pressoché inesistente nel caso delle opere in sotterraneo.

I depositi di copertura possono essere distinti in:

- Depositi alluvionali recenti ed attuali di fondovalle, prevalentemente di natura ghiaiosa e sabbiosa con intercalate lenti limoso-argillose. Sono presenti solo nella parte bassa delle valli principali. Presentano spessori non rilevanti, da qualche metro fino ad un massimo di circa 10 m alla confluenza tra il S. Antonio ed il Metauro, nei pressi di Mercatello.
- Depositi di versante orlano il piede dei versanti vallivi dei due corsi d’acqua principali (Fosso della Guinza – Torrente S. Antonio e Fosso di Parnacciano) e nelle piccole valli tributarie. La natura è prevalentemente sabbioso-limosa, talora più francamente argillosa, con frammenti lapidei arenacei. Gli spessori, alcuni direttamente accertati con i sondaggi geognostici, sono modesti e dell’ordine di alcuni metri.
- Depositi di conoide torrentizia sono frequenti allo sbocco delle valli laterali più ampie, in sinistra del Torrente S. Antonio. Sono generalmente formati da detriti eterogenei con granulometria variabile da ghiaiosa a sabbioso ghiaiosa. Ghiaie e ciottoli presenti nel sedimento sono caratterizzati da morfologia tabulare, a spigoli poco arrotondati. Essi formano corpi geologici tipicamente a “ventaglio”, il cui apice è ubicato allo sbocco dei torrenti che confluiscono nella valle principale, mentre il limite esterno generalmente non è ben distinto dai sedimenti detritici ed alluvionali, con i quali sono a contatto in eteropia laterale di facies.

- Depositi di frana sono distribuiti sui versanti dei piccoli bacini tributari. Sono costituiti da materiale prevalentemente argilloso limoso-sabbioso, che ingloba frammenti lapidei di varie dimensioni, di natura quasi sempre arenacea. I maggiori accumuli si osservano lungo il versante in dx idrografica del Fosso Guinza - S. Antonio, all'inizio del 3° Lotto.

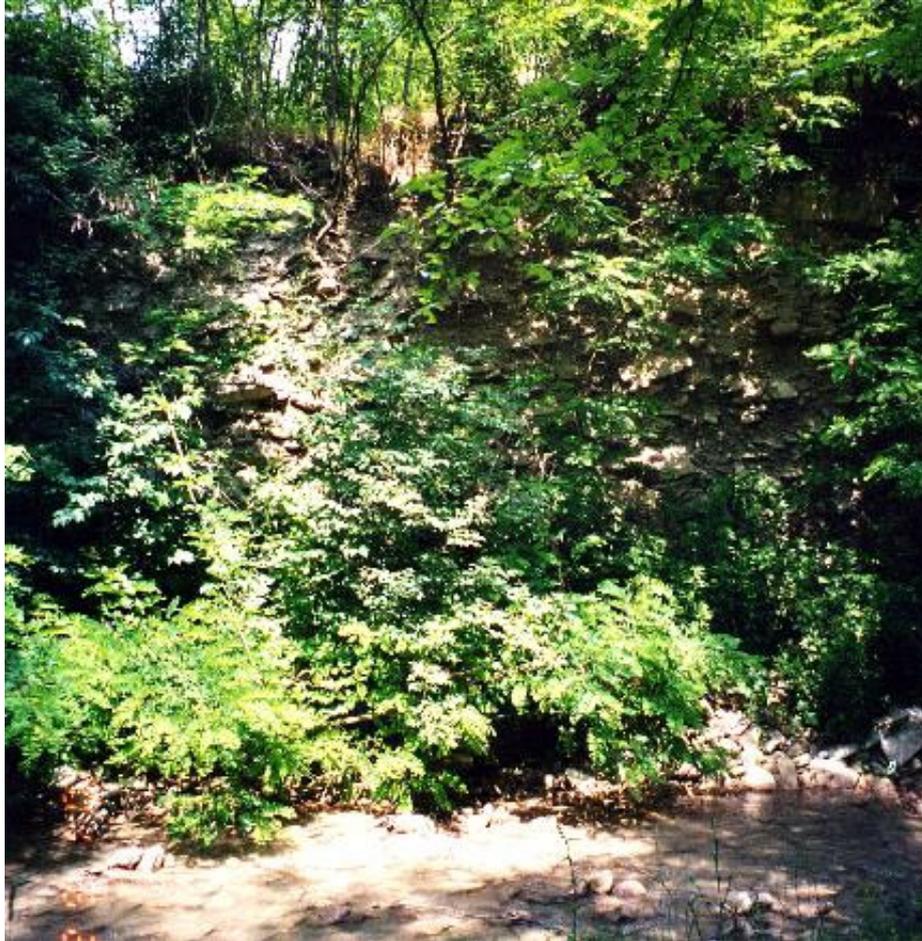


Figura 13: Depositi alluvionali in corrispondenza della scarpata torrentizia lungo il S. Antonio, nei pressi del termine del 3° Lotto.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO

Il presente capitolo si propone di fornire le caratteristiche di tutte le campagne di indagine eseguite, nelle aree interessate dalla progettazione e nelle aree limitrofe, che comprendono i dati derivanti dai sondaggi geognostici, dalle indagini effettuate in sito e dalle prove di laboratorio.

L'ubicazione delle indagini è quindi riportata negli elaborati di progetto **T00GE01GEOPU01+10** – “Planimetria con ubicazione delle indagini” (10 tavv).

6.1 Campagne di indagini geognostiche pregresse per le fasi di progetto dei Lotti 2 e 3

Per lo studio dei terreni interessati dalle opere si è fatto riferimento, in primis, ai risultati del programma di indagini in sito ed in laboratorio pianificato nell'ambito della precedente fase di progettazione definitiva e alle precedenti campagne utilizzate come riferimento.

Il piano di indagine per la progettazione definitiva, attuato nel periodo Maggio-Agosto 2018, è stato finalizzato all'identificazione dei modelli di sottosuolo (geologico, idrogeologico, geotecnico, sismico, ecc.) e alla definizione della caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di riferimento dei terreni connessi con le opere di progetto.

Le nuove indagini risultavano localizzate sia in corrispondenza delle aree maggiormente interessate dalle opere geotecniche esterne di nuova realizzazione (collegamento lato Umbria, collegamento lato Marche), sia lungo il fornice esistente della galleria Guinza.

6.1.1 Campagna di indagine Methodo S.r.l. (1999)

Il riferimento di base per la progettazione definitiva è stata la campagna svolta nell'estate del 1999 in occasione dell'adeguamento della progettazione esecutiva del 3° Lotto, realizzata a cura del Compartimento ANAS di Ancona e consistita nell'esecuzione delle seguenti indagini:

- n° 8 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (**S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S9i**) di profondità variabile tra 18,00 m e 30,40 m; risultano disponibili stratigrafie e foto delle cassette catalogatrici, valori di R.Q.D., profondità di prelievo dei campioni e report delle prove di laboratorio geotecnico eseguite;
- n°1 prova penetrometrica tipo DPSH eseguita per una lunghezza complessiva di 7,50 m dal p.c. e di cui risultano disponibili i risultati in termini di resistenza.

Tali indagini erano state richiamate in fase di progettazione definitiva per completezza d'informazione, dato che esse ricadono in aree più esterne a quelle strettamente interessate dalle opere di nuova progettazione. Dette indagini, infatti, in fase di progettazione definitiva, sono state utilizzate unicamente per definire con continuità i limiti stratigrafici nei profili geologico e geotecnico.

Nella fase attuale di progettazione, in ogni caso, sono stati considerate anche dette indagini. Inoltre, ANAS ha messo disposizione anche la Relazione Geotecnica Generale inerente alla progettazione esecutiva del 3° Lotto (Rabbiosi, 1999). Con tale documento, si dispone ora anche dell'esito della campagna di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi di cui sopra e perciò tali risultati, seppur parzialmente completi, sono stati considerati utili alla predisposizione di una caratterizzazione geotecnica più omogenea delle opere previste nel progetto in esame.

I documenti succitati della campagna di indagine 1999 sono riportati nel seguente elaborato di progetto esecutivo:

- **T00SG10GEORE01** - “Documentazione indagini geognostiche e prove di laboratorio 1999”

6.1.2 Campagna di indagine Sondedile S.r.l. (2018)

Nel mese di Luglio 2018, è stata effettuata una specifica campagna di indagine che ha previsto l'esecuzione delle seguenti indagini:

- n° 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (**S1, S2, S3, S4, S10, S12p, e S13p**) di profondità variabile tra 16,70 e 20 m, con esecuzione in foro di prove SPT, prelievo di campioni rimaneggiati, prelievo di campioni ambientali, esecuzione di prove di permeabilità Lugeon, esecuzione di prove dilatometriche e installazione di piezometri a tubo aperto; le perforazioni in oggetto sono state eseguite sia in posizione verticale che con inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale (S1, S2, S3 e S4);
- n° 2 rilievi geo-strutturali degli affioramenti delle formazioni marnoso-arenacee (**SG1 e SG2**), localizzate nell'area del collegamento lato Umbria;
- n° 4 pozzetti esplorativi (**Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4**), di profondità compresa tra 1.0 e 2.0 m, con prelievo di campioni ambientali;
- n° 4 prove di carico su piastra (**Cp1, Cp2, Cp3 e Cp4**).

I sondaggi **S1, S2, S3, e S4** sono stati realizzati in galleria, con direzione sub-orizzontale, mentre i sondaggi **S10, S12p, e S13p** sono stati posizionati in corrispondenza delle opere all'aperto previste all'imbocco nord della galleria lato Umbria (S10 e S12p) e alla rotatoria di fine tracciato in corrispondenza dei nuovi rilevati lato Marche (S13p).

I risultati originali di tale campagna di indagine sono riportati nel seguente elaborato di progetto esecutivo:

- **T00SG10GEORE02** - "Documentazione indagini geognostiche 2018"

Nel mese di Settembre 2018 la società Elletipi si è occupata dell'esecuzione delle prove di laboratorio sui campioni lapidei prelevati nei sondaggi eseguiti nel mese di Luglio 2018. Tali prove di laboratorio sono consistite nell'esecuzione di compressioni monoassiali, triassiali e prove di tipo Point Load. I risultati sono consultabili nell'elaborato di progetto seguente:

- **T00SG10GEORE03** - "Documentazione prove di laboratorio 2018"

e sono stati utilizzati come riferimento per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi, definita in dettaglio all'interno del documento **T00GE03GETRE02** - "Relazione geomeccanica".

In aggiunta, la campagna è stata integrata con l'esecuzione delle seguenti indagini geofisiche, utilizzate come ulteriore riferimento per la caratterizzazione sismica delle opere:

- n° 6 prospezioni sismiche a rifrazione della velocità delle onde di compressione (V_P) e di taglio polarizzate orizzontalmente (V_{SH}), eseguite con attrezzatura a 24 canali per distanza intergeofonica di 5 m e con lunghezza totale stendimento variabile tra 84 m e 120 m (**REF_R1_MONTE, REF_R1_VALLE, REF_R2_P, REF_R2_S, REF_R3_MONTE, REF_R3_VALLE**); di tali prospezioni risultano disponibili ubicazioni e report con i rapporti di prova;
- n°1 prospezione sismica tipo MASW (**MASW1**) nella zona di Mercatello, di lunghezza complessiva pari a 72 m, di cui risulta disponibile ubicazione e report del rapporto di prova.

I risultati originali di tale campagna di indagine sono riportati nel seguente elaborato di progetto esecutivo:

- **T00SG10GEORE04** - "Documentazione indagini geofisiche 2018"

6.2 Campagne di indagini geognostiche pregresse per la progettazione del Lotto 4

In ottica di ottenere informazioni più dettagliate circa lo studio dei terreni interessati dall'adeguamento dell'area di Cà Lillina, lato Marche, nonché in generale di affinare maggiormente la caratterizzazione geotecnica dei terreni lungo l'intero progetto, si è fatto riferimento ai risultati del programma di indagini in sito ed in laboratorio

pianificato nell'ambito della progettazione definitiva dell'adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest-Mercatello sul Metauro Est, che costituiscono il Lotto n°4.

Il progetto di cui sopra ha tenuto conto di diverse campagne di indagine, attuate nel periodo 1998-2022 e per le quali si riportano di seguito i dettagli.

6.2.1 Campagna di indagine Geotec S.p.A. (1998)

Una prima campagna di indagine è stata realizzata nel periodo 1998-99 dalla società Geotec S.p.A. per conto di Anas. Tale campagna ha previsto la realizzazione di:

- n°11 sondaggi a carotaggio continuo (S1+S9, S11, S12) con profondità comprese tra 15 m e 22 m, esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni indisturbati sui quali sono state effettuate prove di laboratorio per la classificazione dei terreni e per la determinazione delle caratteristiche meccaniche;
- n°5 stendimenti sismici a rifrazione (11201+11205), di lunghezze variabili tra 110 m o 230 m.

In fase di redazione del progetto di Lotto 4, comunque, come specificato negli elaborati a disposizione, sono stati considerati i soli dati stratigrafici dei sondaggi geognostici per la ricostruzione del modello geologico e non i dati di caratterizzazione geotecnica, in quanto non disponibili.

Per la presente progettazione esecutiva della zona di adeguamento di Cà Lillina è stato considerato unicamente il sondaggio a carotaggio continuo **S1**, di profondità 20 m, in quanto unica verticale prossima all'intervento. I risultati della verticale considerata sono riportati nel seguente elaborato di progetto:

- **T00SG10GEORE05** - "Documentazione indagini Geognostiche via Cà Lillina"

6.2.2 Campagna di indagine Geoemme Due S.a.s. e Polo Geologico S.n.c. (2001)

In una successiva fase di definizione progettuale, la società Geoemme Due S.a.s ha realizzato per conto di Anas le seguenti indagini integrative:

- n°7 sondaggi a carotaggio continuo (SN1+SN7) spinti a profondità comprese tra 15 e 65 m;
- n°6 prove penetrometriche, di cui n°3 prove statiche tipo CPT (CPT1+CPT3) e n°3 prove dinamiche (SCPT1+SCPT2).

Per la presente progettazione esecutiva della zona di adeguamento di Cà Lillina sono stati considerati unicamente i sondaggi a carotaggio continuo **SN1** e **SN2**, rispettivamente di profondità 15 m e 25 m, prossimi all'intervento. I risultati originali in merito a tali verticali sono riportati nel seguente elaborato di progetto:

- **T00SG10GEORE05** - "Documentazione indagini Geognostiche via Cà Lillina"

Per completezza di informazione si specifica che, in questa fase, è stata realizzata per Anas anche una campagna di indagine geofisica, eseguita dalla società Polo Geologico S.n.c. e consistita nella realizzazione di n°11 prospezioni sismiche a rifrazione (B1+B11), di lunghezza 110 m ciascuno: tale campagna, però, non è stata considerata in quanto non prossima alla zona di intervento di Cà Lillina.

6.2.3 Campagna di indagine Perigeo Sondaggi S.n.c. (2002)

A completamento delle indagini geognostiche della campagna 2001 e su incarico di Anas, la società Perigeo Sondaggi S.n.c. ha realizzato nell'anno 2002 le seguenti ulteriori indagini:

- n°4 sondaggi a carotaggio continuo (SN8+SN11) spinti a profondità comprese tra 4 e 17 m, con prelievo di campioni indisturbati;
- n°6 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP1+DP6), spinte fino a profondità di 10 m.

Per la progettazione degli interventi di adeguamento di Cà Lillina sono stati considerati unicamente i sondaggi a carotaggio continuo **SN10** e **SN11**, rispettivamente di profondità 3.7 m e 10 m, prossimi all'intervento. Inoltre, sono state considerate tutte le n°6 prove penetrometriche dinamiche pesanti (**DP1+DP6**), spinte a profondità

variabili tra 2.7 m e 10 m di profondità. I risultati originali della campagna considerata sono riportati nel seguente elaborato di progetto:

- **T00SG10GEORE05** - “Documentazione indagini Geognostiche via Cà Lillina”

6.2.4 Campagna di indagini Comune di Mercatello sul Metauro (1994-2004)

Un ulteriore e utile elemento per la caratterizzazione geologica dei terreni in progetto nel Lotto 4 è stato fornito dalla raccolta delle indagini eseguite dal Comune di Mercatello sul Metauro. Tali indagini, distribuite in un periodo temporale piuttosto ampio (1994-2004), sono consistite essenzialmente nella realizzazione di sondaggi geotecnici eseguiti a piccole profondità, indagini sismiche passive mediante tromografo digitale e prospezioni tipo MASW. Questi dati, per il progetto definitivo del Lotto 4, sono stati considerati esclusivamente per la ricostruzione del modello geologico e non per la caratterizzazione geotecnica.

Per il presente progetto esecutivo di adeguamento di Cà Lillina, in particolare, sono state considerate esclusivamente le seguenti verticali prossime all’area di intervento:

- n°7 sondaggi a carotaggio continuo (**P27, P28, P29, P30, P107 e P108**), spinti fino a profondità comprese tra 3 m e 6 m e di cui sono disponibili i report stratigrafici.

Le stratigrafie originali dei sondaggi considerati sono riportati nel seguente elaborato di progetto:

- **T00SG10GEORE05** - “Documentazione indagini Geognostiche via Cà Lillina”

6.2.5 Campagna di indagine Gamma Geoservizi S.r.l. (2021-2022)

Per la redazione del progetto definitivo per il Lotto 4, è stata eseguita una campagna di indagine integrativa con lo scopo di definire nel dettaglio il modello geologico di riferimento e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce individuate lungo il tracciato. In particolare, sono state eseguite le seguenti lavorazioni:

- n°12 sondaggi a carotaggio continuo (S1÷S3 e S5÷-S12), attrezzati con piezometri o down-hole;
- n°55 pozzetti geotecnici e ambientali e prove di carico su piastra;
- n°9 prospezioni sismiche a rifrazione e n°3 stendimenti tipo MASW;
- prove geotecniche di laboratorio dei campioni prelevati nei sondaggi.

In particolare, per il presente progetto di adeguamento di Cà Lillina, sono state considerate le seguenti risultanze:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo (**S1pz e S2**), spinti rispettivamente a profondità di 25 m e 20 m e prossimi all’area di intervento, di cui il sondaggio S1pz attrezzato con piezometro ed esecuzione di prove penetrometriche tipo SPT in foro;
- n°13 pozzetti (**PZ1, PZ2, PZ3, PZ4, PZ5, PZ6, PZ7, PZ8, PZ9, PZ10, PZ11, PZ12 e PZ13**) e n°2 prove di carico su piastra (PZ1 e PZ2);
- relative **prove di laboratorio dei campioni prelevati** nelle verticali e pozzetti (n°2 indisturbati e n°10 rimaneggiati, globalmente)
- n°2 prospezioni sismiche tipo MASW (**MASW1, MASW2**).

I risultati originali della campagna di tali indagini e prove di laboratorio sono riportati nel seguente elaborato di progetto:

- **T00SG11GEORE02** - “Documentazione indagini Geognostiche, Geofisiche e Prove di Laboratorio via Cà Lillina”

6.3 Campagna di indagine geognostica integrativa Pizzi Terra S.r.l. (2022)

Nell'ottica di affinare la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e in particolare della zona del bypass pedonale della Galleria S. Antonio è stata prevista una campagna geognostica integrativa, eseguita dalla ditta Pizzi Terra Geosolutions S.r.l. nel periodo Giugno-Luglio 2022.

In particolare, tale campagna ha previsto l'esecuzione delle indagini e rilievi in sito di seguito descritte:

- n° 1 sondaggio geognostico orizzontale a carotaggio continuo, in corrispondenza del bypass della Galleria della Guinza con profondità 14.5 m e per il quale è stata prevista l'esecuzione di n°1 prova dilatometrica in foro, per la determinazione dei parametri di resistenza, e il prelievo di n°2 campioni lapidei da sottoporre a prove di laboratorio;
- n° 1 rilievo geomeccanico di parete rocciosa
- n°3 prelievi di campioni d'acqua sotterranea in Galleria Guinza per la verifica alle conformità delle CSC come da normativa di riferimento (D.Lgs. 152/06).

I risultati originali di questa campagna di indagine sono riportati nel seguente elaborato di progetto esecutivo:

- **T00SG11GEORE01** - "Documentazione indagini geognostiche 2022"

e sono stati utilizzati come riferimento per la caratterizzazione geomeccanica delle rocce coinvolte dalle opere, definita in dettaglio all'interno del documento **T00GE03GETRE02** - "Relazione geomeccanica".

7 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

7.1 Inquadramento generale

L'intero Appennino Umbro-Marchigiano è interessato tutt'ora da un deciso sollevamento: situazione evidente anche nell'area studiata, come dimostrato dalle profonde incisioni che tutti i corsi d'acqua modellano sul territorio; ad esempio, in corrispondenza del termine del III Lotto il torrente S. Antonio ha inciso tutto lo spessore (peraltro non grande) delle proprie alluvioni terrazzate, ed attualmente scorre sulla sottostante Formazione Marnoso-Arenacea. Tuttavia, mentre l'evoluzione dei corsi d'acqua adriatici è stata piuttosto continua nel tempo, mantenendo una direzione "sovrimposta" e trasversale agli assi appenninici, il deflusso tirrenico è stato profondamente condizionato dalla presenza di depressioni tettoniche e dai processi di colmamento delle stesse.

L'area in esame si trova a cavallo dello spartiacque Tirreno-Adriatico, di modo che è possibile osservare entrambe le situazioni. Infatti, nella parte marchigiana, i rilievi vengono intagliati da tutti i corsi d'acqua con profonde valli a "V" sovrimposte. In corrispondenza dello spartiacque e ad Ovest di esso, la morfologia appare condizionata dall'assetto tettonico della zona, come nel caso dello sdoppiamento di cresta in corrispondenza del sovrascorrimento dell'elemento di Pietralunga su quello di Borgo Pace, e dell'impostarsi di vari elementi morfologici (una valle, una fascia collinare) parallelamente all'asse appenninico e strutturale.

Nel settore marchigiano, si notano forme strutturali dovute alla persistente giacitura degli strati formazionali, rielaborate da processi esogeni che le hanno trasformate, in tutto o in parte, in glacis (paleosuperfici) di sedimentazione.

7.2 Principali caratteri geomorfologici

La morfologia dell'area presenta settori con rilievi dalla notevole acclività e valli strette, alternati ad altri in cui la morfologia si addolcisce, in dipendenza dell'affiorare di litologie a maggiore erodibilità.

Sono degni di nota alcuni settori semi-pianeggianti o blandamente ondulati, attribuibili a lembi relitti di antiche superfici d'erosione/deposizione. Successivamente, la "paleosuperficie" sarebbe stata smembrata da una intensa tettonica distensiva quaternaria che la avrebbe dislocata in senso verticale e laterale. L'esempio più spettacolare si ha a cavallo tra il II ed il III Lotto: il torrente Guinza-S. Antonio separa due settori blandamente ondulati (l'area tra Guinza-Valpiana-Cà Guiducci ad Est, in destra idrografica, e il Pian Marzolino ad Ovest) che sembrano raccordarsi altimetricamente in modo da costituire un'unica paleo-superficie successivamente disarticolata e ricoperta da depositi di versante e probabilmente di frana; sul lato Est questa morfologia sfuma verso monte in una spettacolare superficie strutturale che praticamente coincide con una o poco più superfici di strato della Marnoso-Arenacea, messe a nudo da fenomeni erosivi e probabilmente di frana (infatti la parte media e bassa del versante presentano spessori di detrito caotico via via maggiori verso la base, mentre salendo lungo il versante tendono a ridursi e a scomparire lasciando il posto alle superfici di strato denudate, con poche "isole" di detrito superstiti); questa superficie strutturale sembra poi ripetersi in sinistra idrografica dando luogo al pianoro inclinato di Pian Marzolino (sopra il tratto terminale della galleria Guinza), in cui però la forte copertura detritica è ancora presente



Figura 14: Immagine di Pian Marzolino, area a morfologia addolcita tra il Fosso della Guinza e il Fosso di Montedale, caratterizzata da un forte spessore di depositi detritici di versante, forse correlabile all'area di Guinza, sul versante opposto (visibile sullo sfondo, nella parte sinistra della foto).

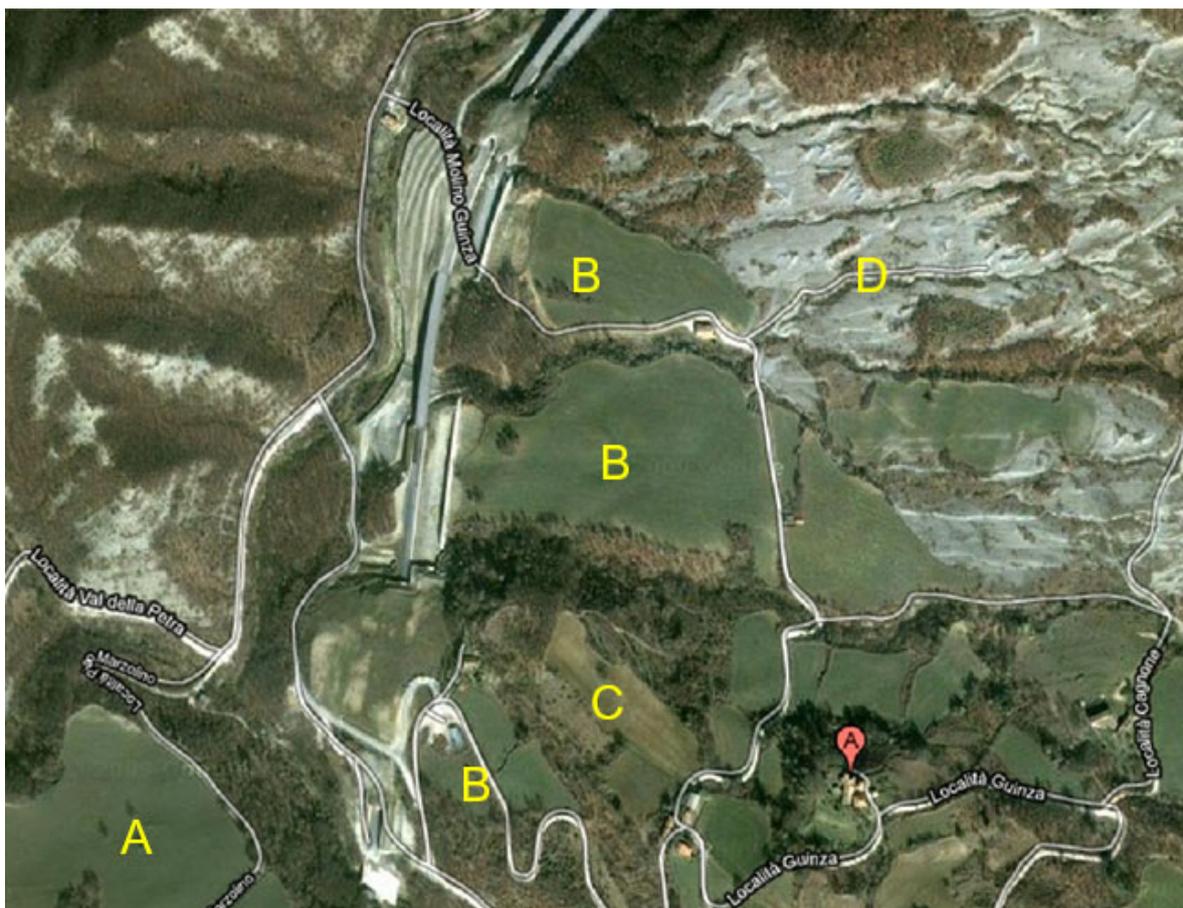


Figura 15: Immagine aerea del settore di confine tra il 2° e 3° lotto. Sono visibili: il "glacis" di Pian Marzolino (A); le aree occupate da depositi di versante o paleofrana (B), con spessori superiori a 20 m che diminuiscono verso monte; il lembo relitto di superficie di spianamento correlabile con quella di Pian Marzolino (C); la superficie strutturale con giacitura coincidente con la stratificazione, denudata dai processi erosivi (D).

I versanti, o porzioni di essi, con influenza strutturale, in cui la superficie topografica ha la stessa giacitura degli strati della Formazione Marnoso-Arenacea, sono altresì presenti, a settori limitati, in altre zone dell'area studiata.

Alcune aree a morfologia addolcita si sono impostate su movimenti franosi oppure in corrispondenza dell'affioramento di orizzonti stratigrafici più argilloso-marnosi.

Fenomeni gravitativi minori sono pur presenti, e tipicamente sono condizionati dall'alternanza di livelli arenacei e marnosi; essi si sviluppano lungo le superfici di strato, risultando peraltro di tipo superficiale (pochi metri di spessore); il livello marnoso, più facilmente disgregabile, risulta in affioramento completamente disfatto e funge da superficie di scivolamento, in ciò agevolato dalla lubrificazione indotta dalla locale presenza di acqua. Sono altresì presenti settori in fase di erosione concentrata e diffusa. Quest'ultima si sviluppa, essenzialmente, in corrispondenza di estese fasce cataclastiche o quando la topografia si imposta parallelamente agli strati formazionali. In quest'ultimo caso, piuttosto frequente, si osserva il tipico fenomeno di erosione diffusa su vaste aree quando affiora un livello pelitico, concentrata quando le acque iniziano ad erodere un livello pluridecimetrico arenaceo.

In corrispondenza del settore finale del III Lotto, uno degli elementi geomorfologici più evidenti del territorio esaminato è la presenza di terrazzi fluviali antichi e recenti lungo il Torrente S. Antonio. Il corso d'acqua è in un'accentuata fase erosiva, l'alveo ha infatti eroso le alluvioni di fondovalle ed ora incide il substrato marnoso arenaceo. Il fondovalle è pianeggiante e corrisponde alla superficie superiore del terrazzo più recente. Lembi di alluvioni terrazzate si riscontrano anche nelle vallecole laterali in destra Metauro, solcate da torrenti, pensili una ventina di metri sopra l'alveo principale, e profondamente incisi nei sedimenti delle coperture detritiche e nel substrato. Le alluvioni si fondono con le fasce detritiche che ammantano il piede delle pendici dei rilievi che, con la loro elevata pendenza, contrastano e caratterizzano il paesaggio.

7.3 Aree a rischio frana o esondazione – Il P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico)

La potenziale interferenza delle opere di progetto con aree caratterizzate da dissesto per frana o per esondazione, riguardano esclusivamente i due collegamenti alla viabilità esistente, in quanto le opere in sotterraneo (cunicolo) sono situate a profondità non interessate dai suddetti fenomeni.

7.3.1 Intersezione lato Marche (fine 3° Lotto)

Il contesto geomorfologico è di tipo pedecollinare, al confine tra la fascia occupata da depositi di versante e quella di pertinenza fluvio-torrentizia.

È un settore caratterizzato dalla coalescenza di diverse falde-conoidi alimentate dagli apporti provenienti da due impluvi lungo il versante nord-ovest.

In realtà, nessuno dei due processi geomorfologici appare attualmente interessare il sito di progetto, ma piuttosto settori ad una certa distanza.

Considerata la modesta dimensione dei rilevati e degli sbancamenti previsti, nonché la morfologia regolare in dolce pendenza del terreno, non si ravvisano particolari problemi di carattere geologico.

Anche le pendici del versante sovrastante il tracciato, e ad esso parallelo, non presentano segni di dissesto né sono da prevederne nel futuro poiché il piede del rilievo non sarà interessato dall'opera.

Comunque, sarà bene assicurare un efficace smaltimento delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti a Nord-Ovest.

Il vicino torrente è attualmente in un'accentuata fase erosiva. L'alveo ha eroso le alluvioni di fondovalle ed ora incide il substrato marnoso arenaceo. Il fondovalle è pianeggiante e corrisponde alla superficie superiore del terrazzo più recente.

Per completezza di trattazione, si è preso in considerazione il *Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale) - Aggiornato al DPCM*

del 14 marzo 2022 (GU 10 maggio 2022; BUR Marche n. 39 del 12 maggio 2022)
<https://www.autoritadistrettoac.it/pianificazione/bacino-idrografico/bacini-marchigiani/cartografia-pai-marche>.

Il P.A.I. disciplina, in generale, l'uso del territorio, nell'ambito delle "aree sottoposte a tutela per pericolo idrogeologico", indicando le varie situazioni di rischio, per frana o per esondazione. Nell'ambito del P.A.I., il settore in studio appartiene al bacino del Metauro. La Figura seguente riprende uno stralcio della Cartografia PAI, in cui è riportata l'ubicazione dell'area di progetto.

Come si vede, questa non interferisce con alcuna delle aree classificate dal P.A.I. a rischio frana o esondazione.

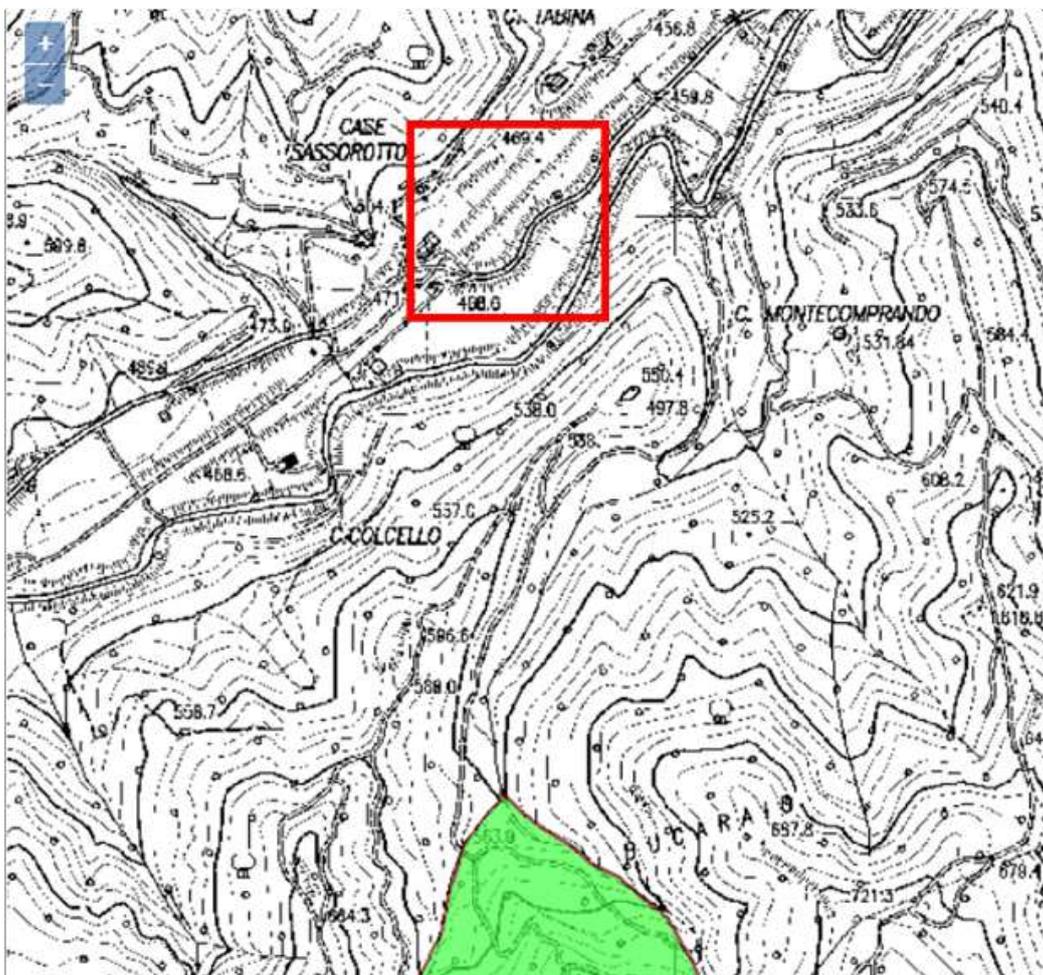


Figura 16: Stralcio dalla carta delle aree a rischio frana o esondazione del P.A.I. dell'ex-Autorità di Bacino delle Marche. Il rettangolo rosso circonda l'area interessata dal progetto

7.3.2 Intersezione lato Umbria

Il contesto geomorfologico è di media montagna, caratterizzato da un versante a media acclività, che tende ad aumentare verso la base (a valle della SP 200).

Il versante appare globalmente stabile, ma i tagli stradali ed in genere gli sbancamenti non protetti, sono soggetti a lento deterioramento a causa della matrice marnosa della maggior parte della formazione affiorante, nonché a distacchi di elementi litoidi.

Oltre ai suddetti fenomeni, appaiono attivi processi di dilavamento e trasporto che interessano l'impluvio del Fosso del Casale, a monte dell'area di progetto; in particolare, sul versante sinistro dell'impluvio è presente un accumulo detritico, che lambisce l'imbocco della galleria, forse generato anche da uno o più movimenti franosi.

Comunque, sarà bene assicurare un efficace smaltimento delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti ad Ovest.

Occorre poi valutare la possibile erosione al piede, ad opera del Fosso di Parnacciano.

Per completezza di trattazione, si è preso in considerazione il *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - Autorità di Bacino del Fiume Tevere (2002), approvato con D.P.C.M. del 10 Novembre 2006 (Pubblicato nella G.U. n. 33 del 9 Febbraio 2007)* <https://www.abtevere.it/node/133?q=node/134>.

Il P.A.I. disciplina, in generale, l'uso del territorio, nell'ambito delle "aree sottoposte a tutela per pericolo idrogeologico", indicando le varie situazioni di rischio, per frana o per esondazione.

La Figura seguente riprende uno stralcio delle Tavole di dettaglio dell'Inventario dei fenomeni franosi a Cartografia PAI, in cui è riportata l'ubicazione dell'area di progetto.

Come si vede, questa non interferisce direttamente con fenomeni franosi censiti, ma è limitrofa ad un fenomeno franoso presunto, di tipo scivolamento, che occupa il versante sinistro del Fosso del Casale, a monte dell'area in esame.

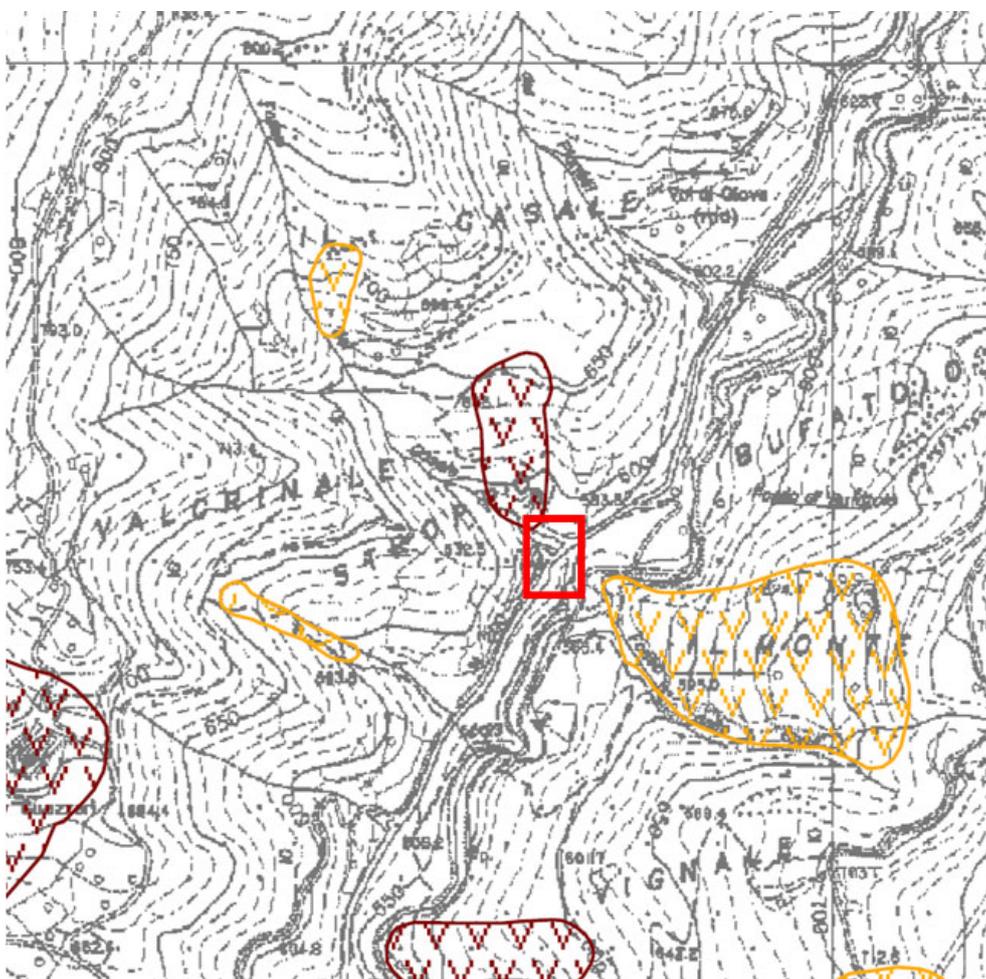


Figura 17 - Stralcio dalla carta Tavole di dettaglio dell'Inventario dei fenomeni franosi del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Il rettangolo rosso circonda l'area interessata dal progetto

7.4 Sintesi dello studio delle deformazioni storiche con interferometria radar satellitare del tratto Guinza – Mercatello Ovest

Di seguito si propone una breve sintesi dello studio compiuto da NHAZCA S.r.l. nel 2020, nel quale è stata eseguita un'analisi storica con tecniche A-DInSAR e DInSAR su dati COSMO-SkyMed d'archivio per la stima

di eventuali spostamenti subiti dal terreno e dalle strutture ricadenti all'interno dell'area (10 km²) compresa tra l'imbocco nord della Galleria Guinza e l'Intersezione lato Marche presso Mercatello del Metauro (PU).

Le analisi sono state condotte su un dataset in doppia geometria orbitale (ascendente e discendente) acquisiti dalla costellazione COSMO-SkyMed nel periodo compreso tra Maggio 2011 e Ottobre 2020, con l'obiettivo di fornire informazioni sul comportamento deformativo storico per la caratterizzazione qualitativa e quantitativa di eventuali processi deformativi e di instabilità preesistenti in considerazione il contesto geologico e geomorfologico dell'area.

In ogni caso, per tutti i dettagli dello studio si rimanda al seguente elaborato di progetto:

- **T00GE01GEORE02** – Studio delle deformazioni storiche con interferometria SAR satellitare – Relazione tecnica NHAZCA

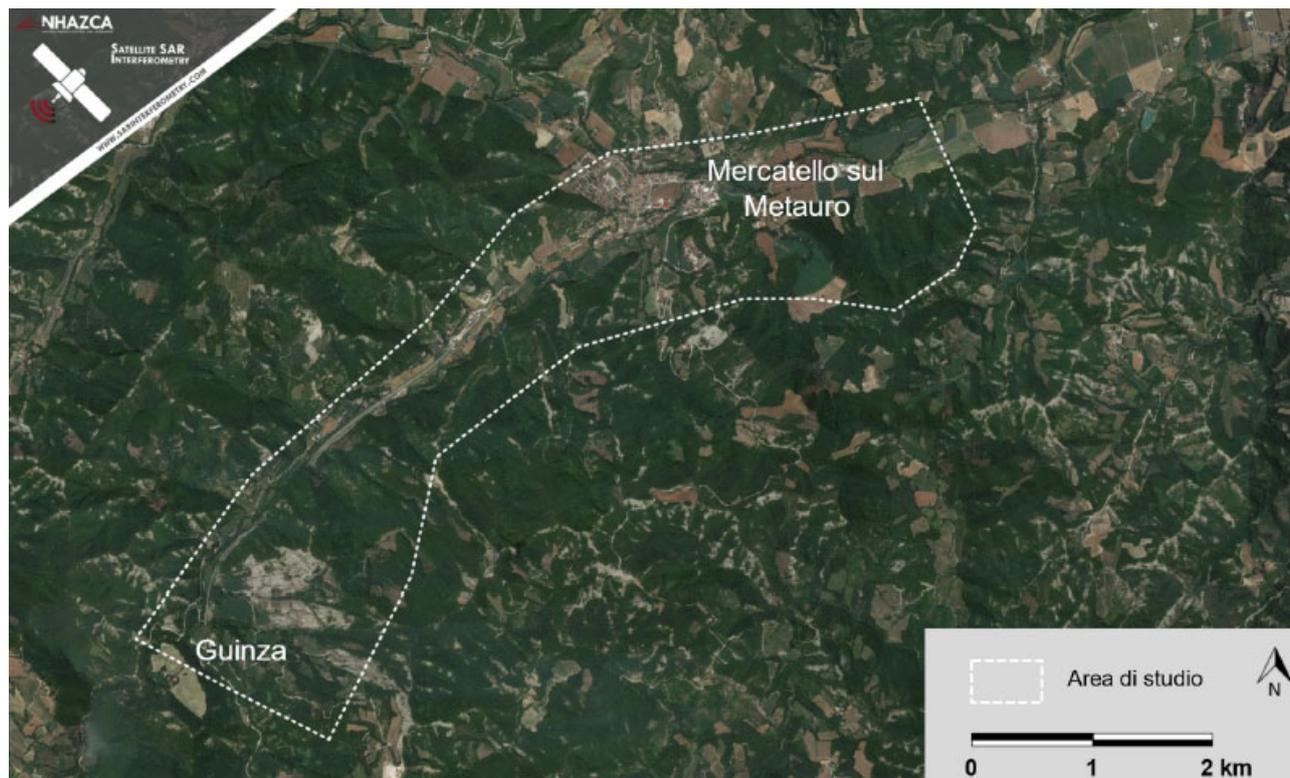


Figura 18 - Ubicazione dell'area di studio (poligono bianco tratteggiato), comprensiva del tratto stradale compreso tra Guinza e Mercatello sul Metauro (PU)

La restituzione dei risultati A-DInSAR è avvenuta attraverso mappe su basi ortofotografiche che mostrano le informazioni di spostamento. È stata adottata una scala di colori, espressa in mm/anno che rappresenta la velocità media di spostamento lungo la LOS con valori in allontanamento al sensore (colori dal giallo al rosso) e avvicinamento al sensore (colori dall'azzurro al blu); il colore verde indica aree con tassi di spostamento sui punti di misura non apprezzabile o non significativo. L'errore strumentale è stimato in circa ± 1 mm/anno (colore verde).

I risultati ottenuti dall'analisi A-DInSAR sono stati riportati attraverso mappe che mostrano le velocità medie annue dei punti di misura (MP), che corrispondono ad elementi naturali e antropici caratterizzati da un'elevata stabilità alla riflessione delle onde radar nel tempo. Una maggiore densità di MP si rileva, di conseguenza, sul tracciato di interesse e nei centri abitati, mentre la densità risulta inferiore nelle aree densamente vegetate e coltivate.

La buona distribuzione spaziale dei MP lungo l'intera area di studio a cavallo del tracciato stradale allo studio, sia in geometria ascendente che discendente (cfr. **Figura 19** e **Figura 20**) nell'intera area di indagine (circa

50.000 MP complessivamente per le due geometrie orbitali), ha consentito un'osservazione ridondante degli eventuali processi deformativi che lo caratterizzano.

Dall'analisi delle mappe dei MP (sia in geometria orbitale ascendente che discendente) risulta che in alcuni settori si rilevano spostamenti apprezzabili, come ad esempio nell'area nei pressi degli abitati di Guinza e Valpiana, dove si osserva un potenziale coinvolgimento delle opere Galleria Valpiana e Viadotto Valpiana, in prossimità delle quali si osservano deformazioni con velocità massima lungo LOS strumentale di circa 8 mm/anno. Sono inoltre stati rilevati punti di misura più o meno isolati con velocità eccedenti l'errore strumentale (pari a circa ± 1.0 mm/anno) in altri settori dell'area di studio.

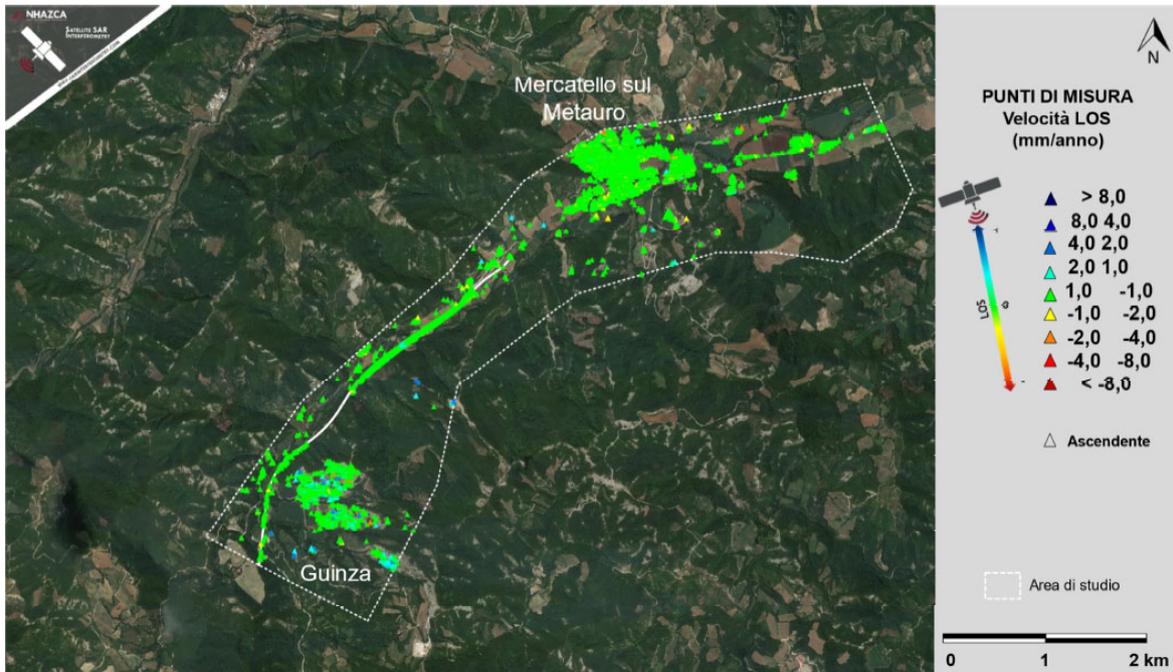


Figura 19 - Velocità LOS dei punti di misura ottenute da analisi A-DInSAR nell'area di indagine – Stack ascendente

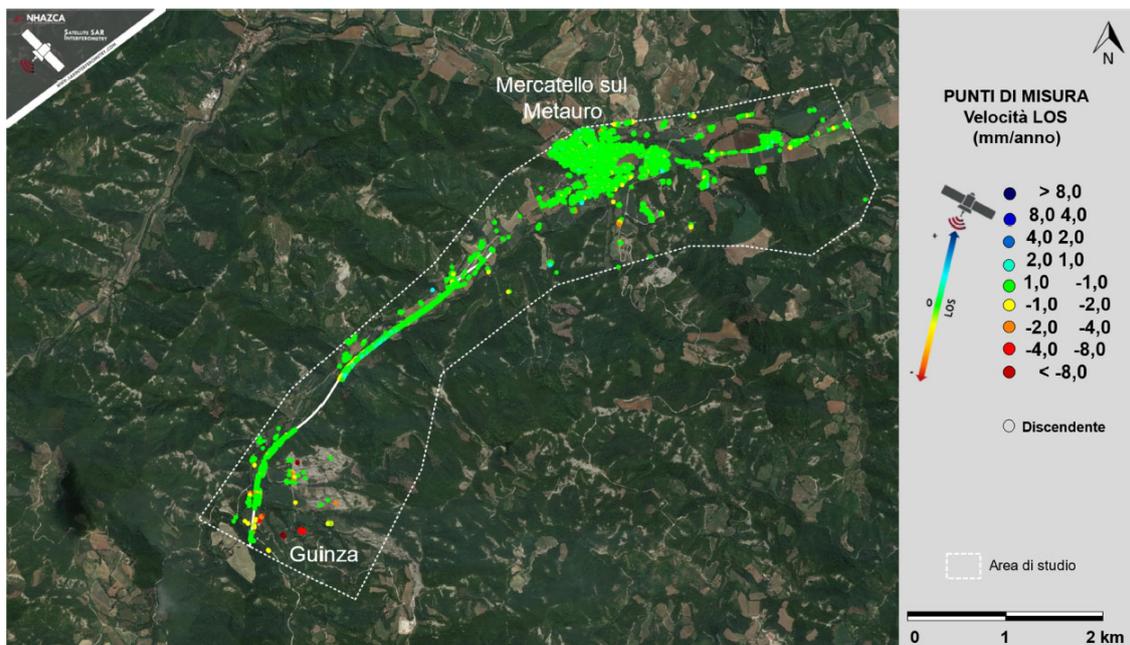


Figura 20 - Velocità LOS dei punti di misura ottenute da analisi A-DInSAR nell'area di indagine – Stack discendente

E' stata quindi eseguita un'attività di post-elaborazione che ha comportato la scomposizione vettoriale dei risultati ottenuti dall'analisi dei dati di velocità LOS nelle due geometrie orbitali, attraverso l'utilizzo di algoritmi in grado di ottenere i vettori di spostamento lungo la direzione orizzontale (Est-Ovest) e verticale, riportate rispettivamente in **Figura 21** e **Figura 22**. In particolare, l'area di indagine è stata discretizzata in celle esagonali (con raggio del cerchio inscritto pari a 20 m) secondo una griglia regolare. I risultati mostrano i valori risultanti delle sole celle (di seguito definite come "MP sintetici") contenenti almeno un punto di misura per entrambe le geometrie orbitali.

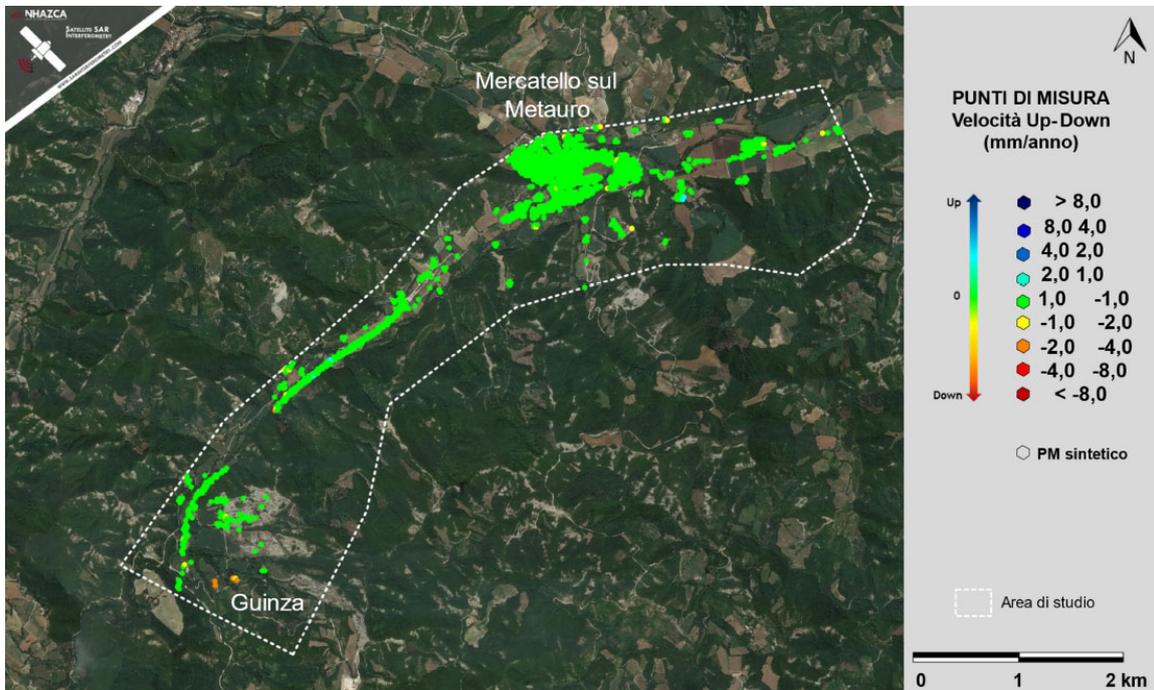


Figura 21 - Velocità dei punti di misura sintetici (PMS) lungo la direzione verticale. Valori positivi = Up; Valori negativi = Down

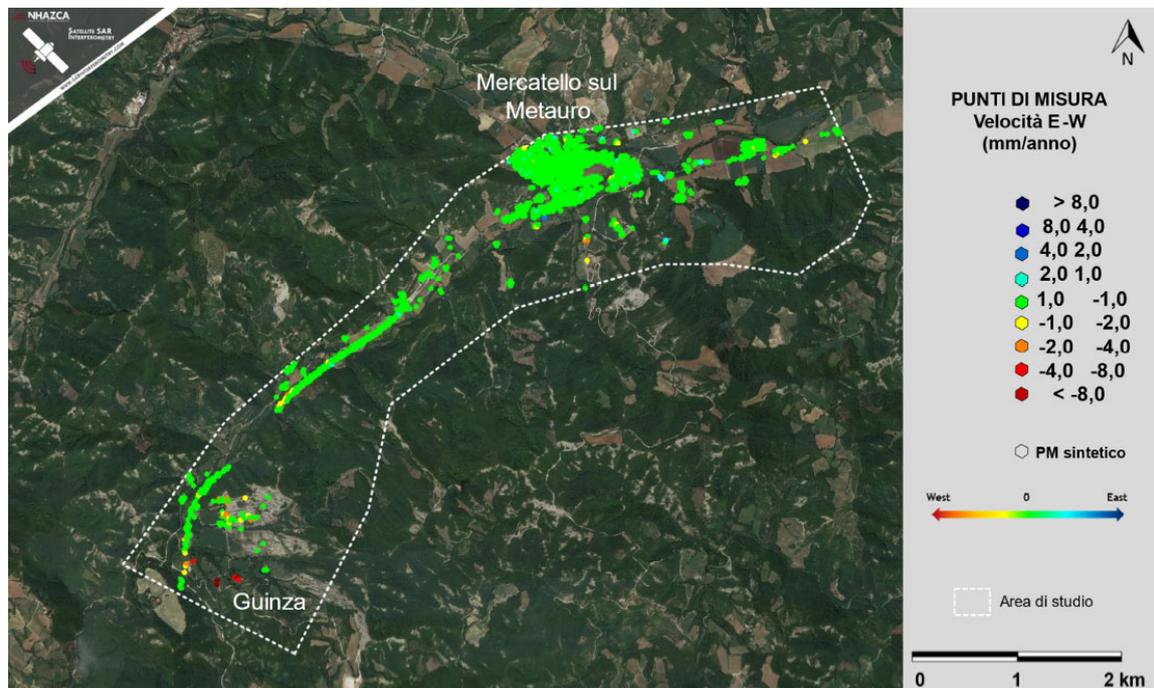


Figura 22 - Velocità dei punti di misura sintetici (PMS) lungo la direzione orizzontale. Valori positivi = Est; Valori negativi = Ovest.

E' stata condotta anche un'analisi di trend change detection (TCD), con la quale è stato possibile verificare che i movimenti sono caratterizzati da tassi deformativi costanti nel tempo, con una sostanziale assenza di fasi in cui si assiste a particolari accelerazioni/decelerazioni dei trend deformativi.

L'area di studio è quindi stata divisa in tre settori (**Figura 23**), nell'ambito dei quali sono state eseguite analisi più approfondite.

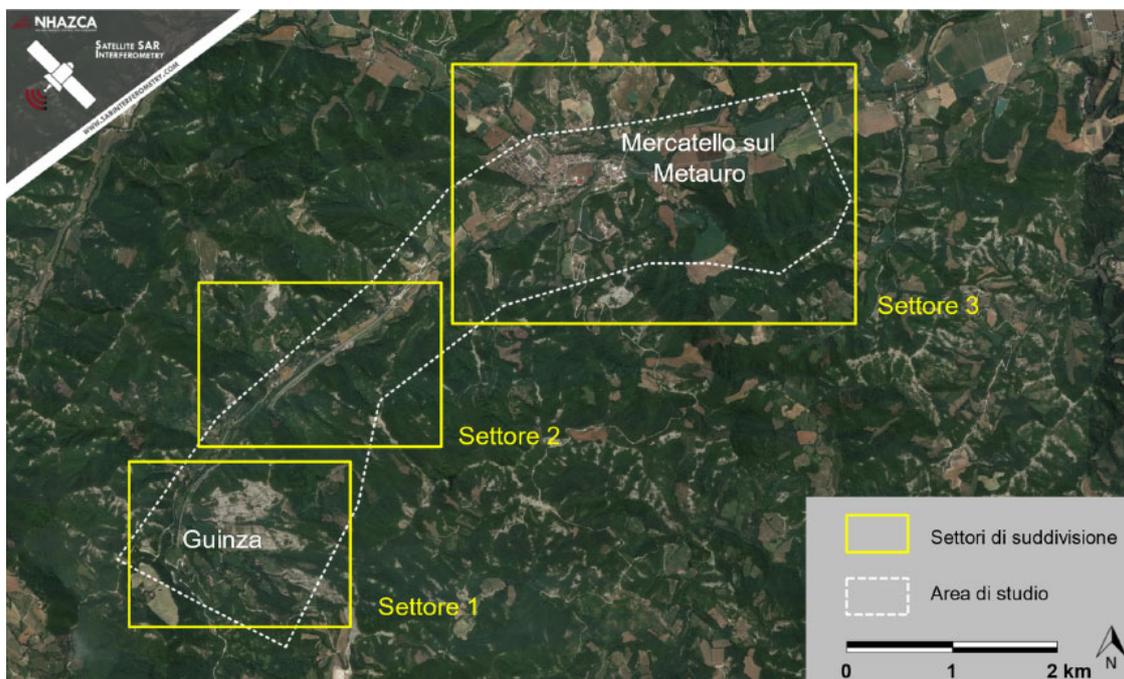


Figura 23 - Ubicazione dei “Settori” di maggiore interesse

Nel Settore 1 (**Figura 24** e **Figura 25**) si rilevano spostamenti di lieve entità in corrispondenza delle spalle del Viadotto Valpiana, con tassi massimi di circa 4 mm/anno lungo la LOS; spostamenti di lieve/media entità che interessano i versanti a Nord della località Cagnone (MP7-Asc e -Desc, MP8-Asc), presumibilmente ascrivibili a fenomeni di tipo superficiale e infine spostamenti di rilevante entità che interessano le abitazioni nelle frazioni di Cagnone, Guinza e Valpiana, distribuite su un versante localizzato a Est del tracciato stradale di interesse, con entità massime di circa 8 mm/anno lungo la LOS (da MP3 a MP6 per entrambi i dataset). I sopralluoghi tecnici di sito, che hanno fatto emergere la presenza di lesioni su alcuni edifici presenti nell'area, si sono rilevati molto utili ad integrare le informazioni desunte dall'analisi A-DInSAR.

Nel Settore 2 (**Figura 27** e **Figura 28**) si osservano spostamenti di lieve entità lungo la LOS localizzati in due zone, una corrispondente all'imbocco presente nella porzione sudorientale del settore (MP8-Desc, MP9-Asc e MP9-Desc), l'altra in prossimità della porzione centrale del settore, in corrispondenza degli MP10-Asc e MP10-Desc.

Nel Settore 3 (**Figura 29** e **Figura 30**) non si osservano movimenti di rilevante entità, ad eccezione di alcuni edifici isolati e non ritenuti di particolare interesse nell'ambito del presente studio.

Dallo studio emerge quindi la necessità di tenere sotto osservazione il pendio a monte della Galleria Valpiana, attraverso approfondimenti con la tecnica della interferometria radar satellitare da ripetere a distanza di alcuni anni, al fine di verificare una eventuale evoluzione del fenomeno di deformazione che coinvolge il versante, con particolare riferimento alle *serie temporali di spostamento dei punti di misura* di cui alla **Figura 26**.

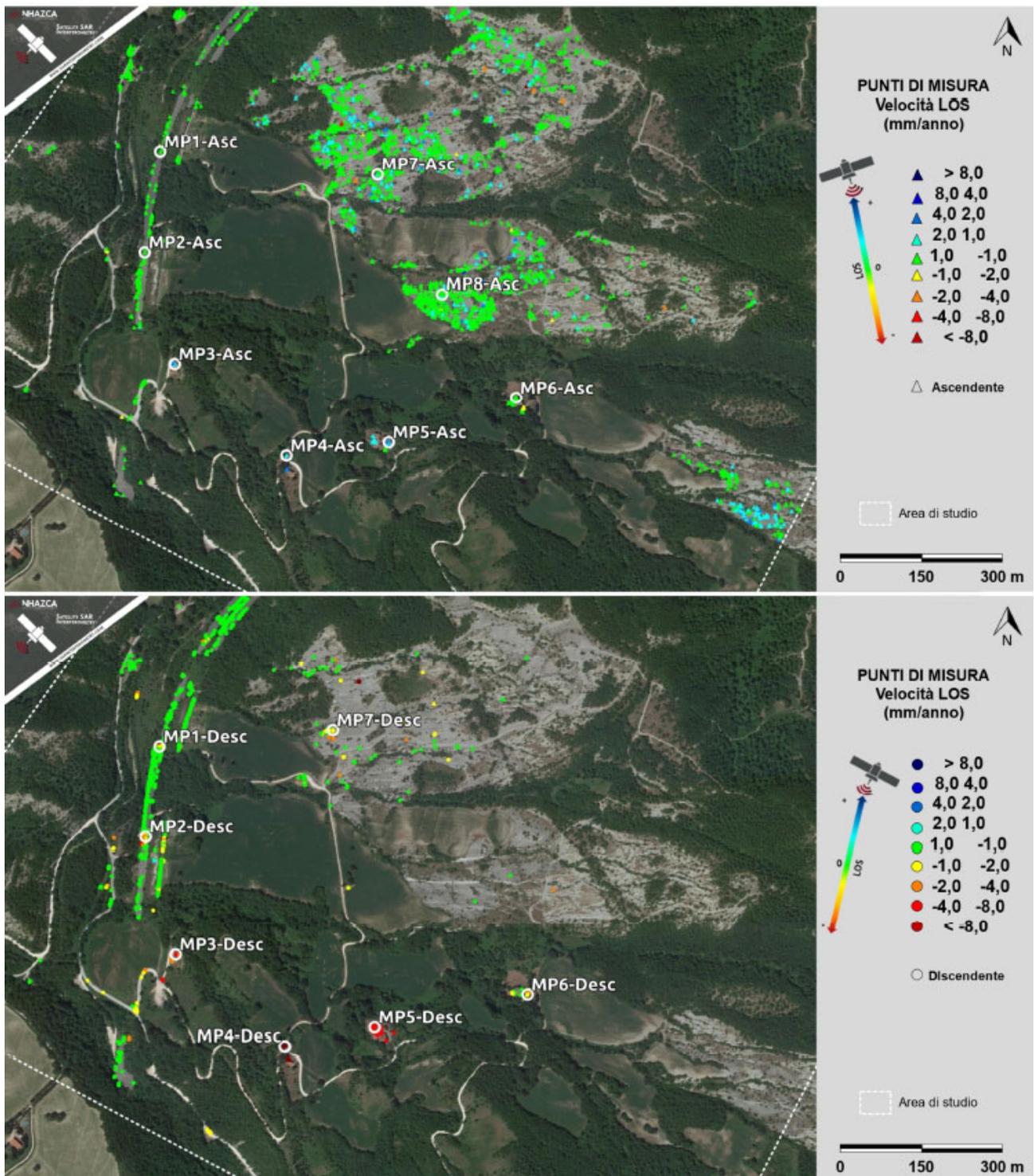


Figura 24 - Velocità dei punti di misura lungo la LOS ottenute da analisi A-DInSAR per gli stack ascendente (in alto) e discendente (in basso) per le aree relative al Settore 1.

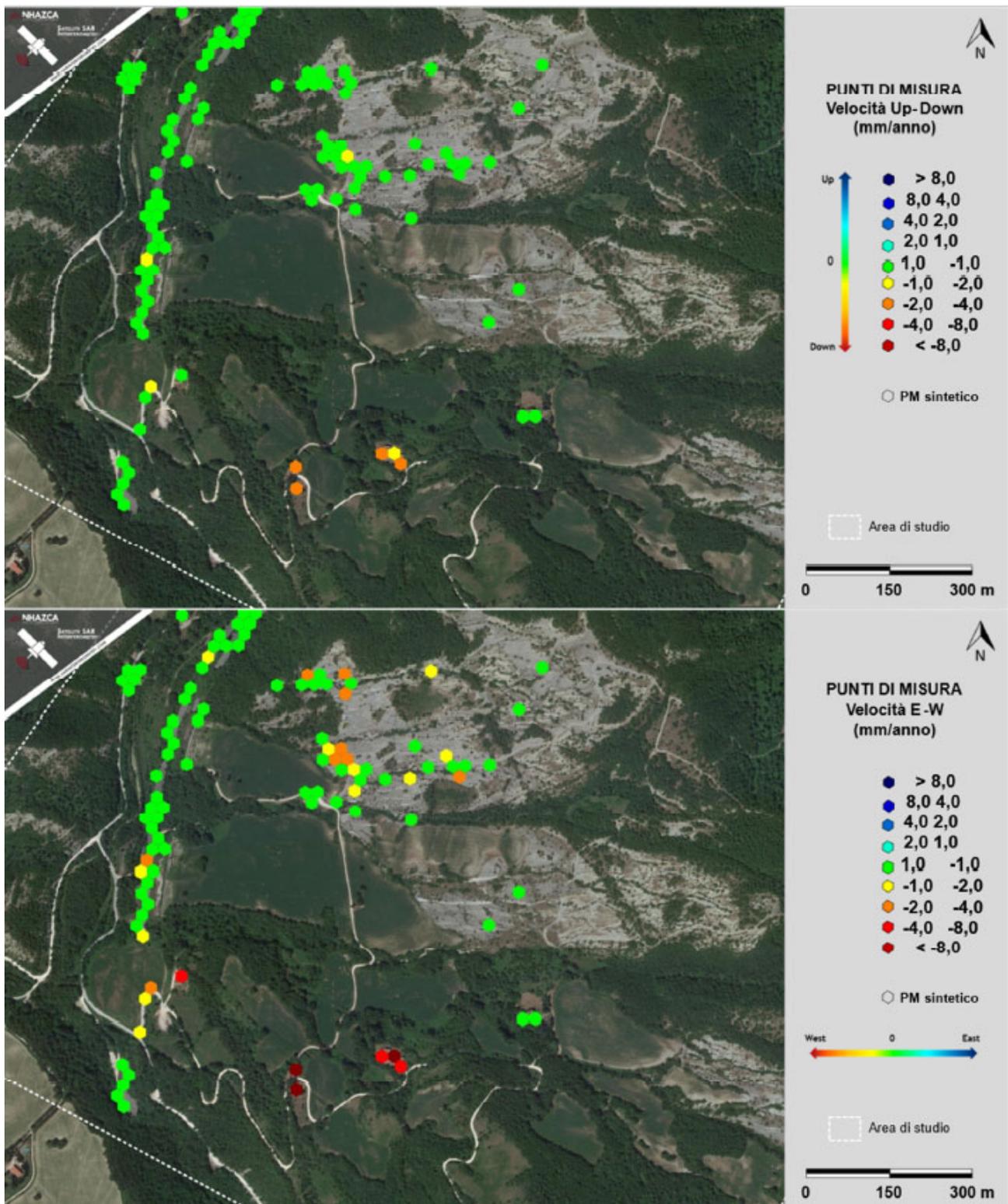


Figura 25 - Velocità dei punti di misura sintetici (direzione verticale ed Est-Ovest) per le aree comprese nel Settore 1

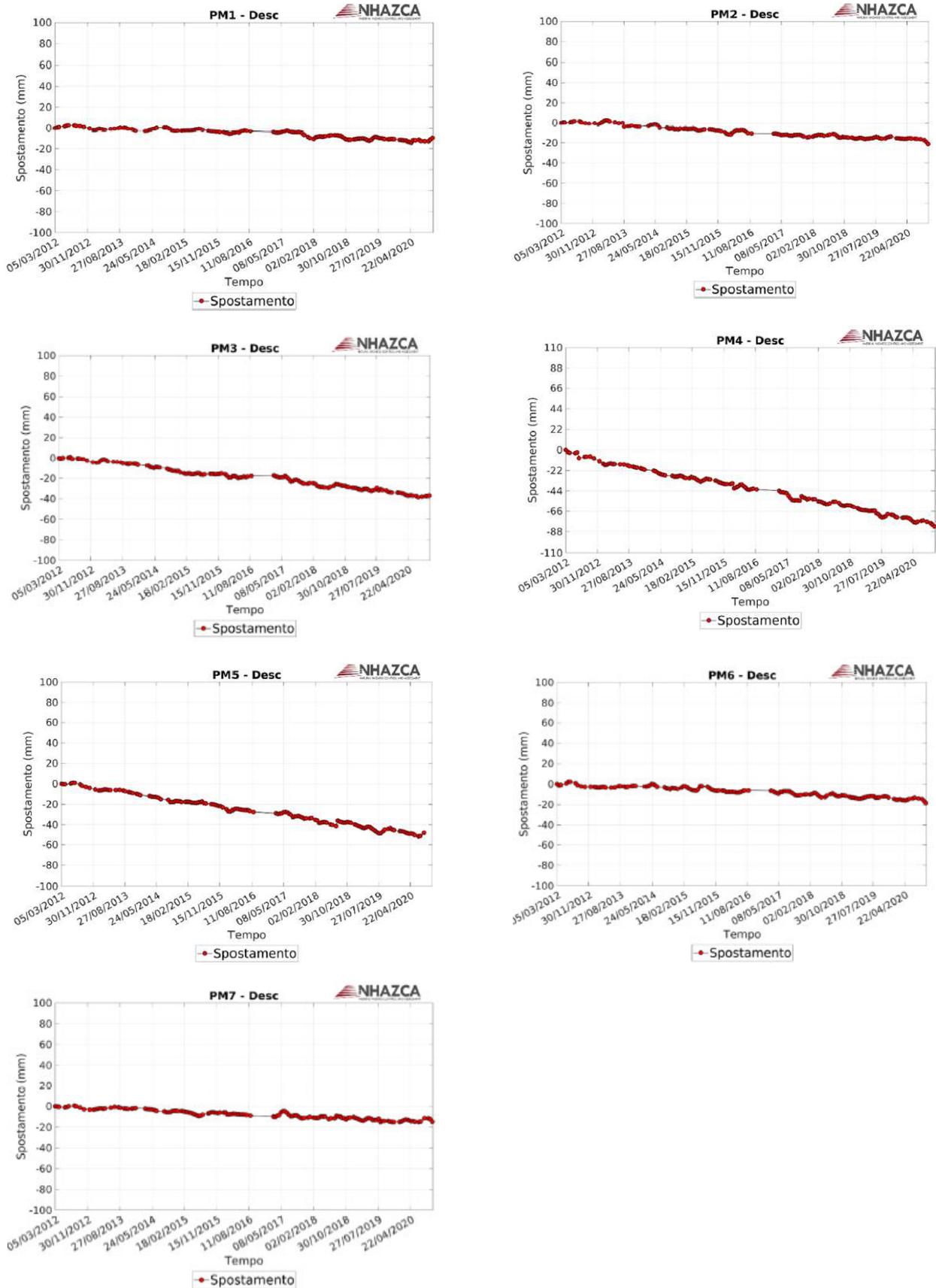


Figura 26 – Esempio di serie temporali di spostamento dei punti di misura (Settore 1 - stack discendente, cfr. ubicazioni in Figura 24)

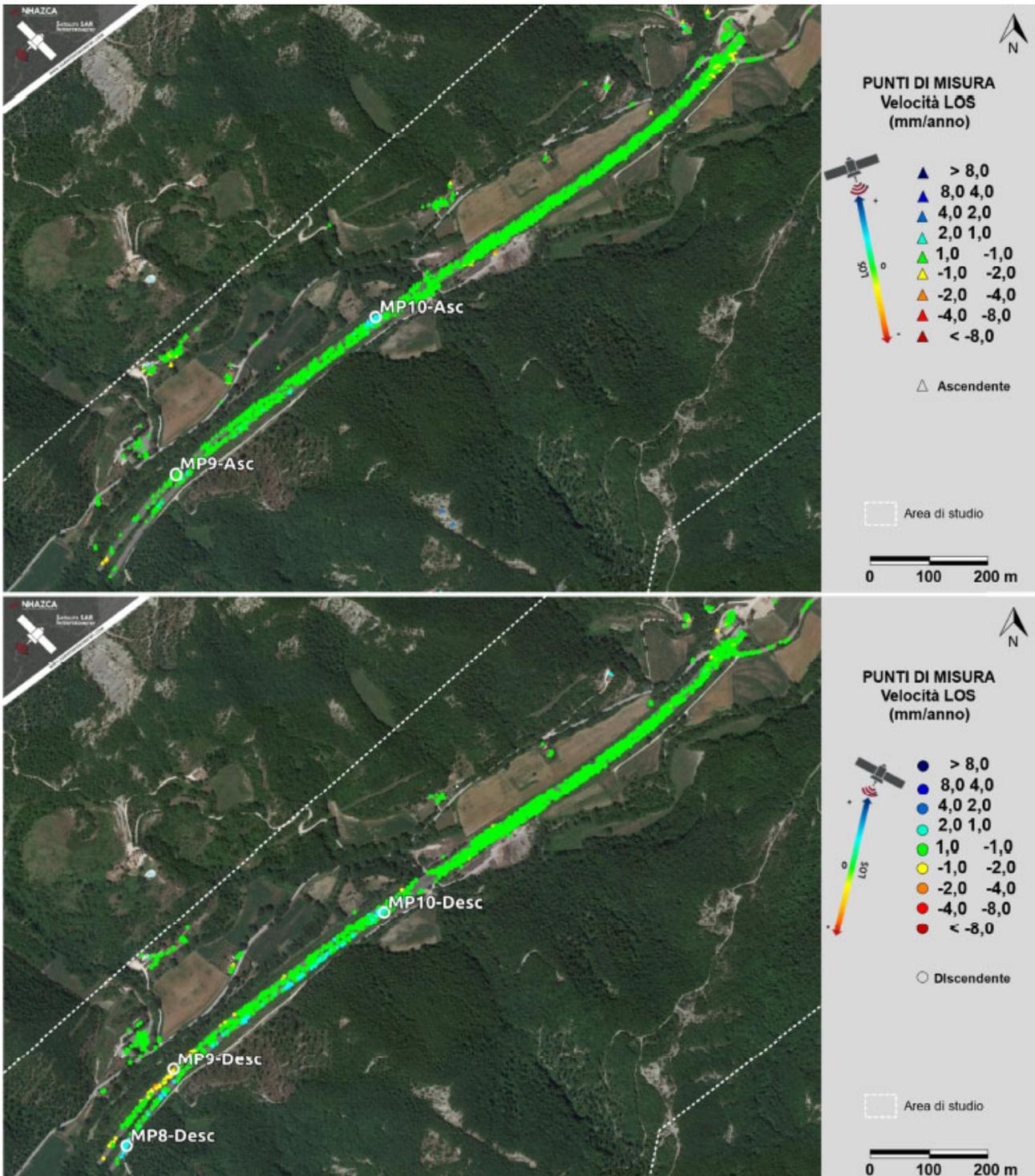


Figura 27 - Velocità dei punti di misura lungo la LOS ottenute da analisi A-DInSAR per gli stack ascendente (in alto) e discendente (in basso) per le aree relative al Settore 2.

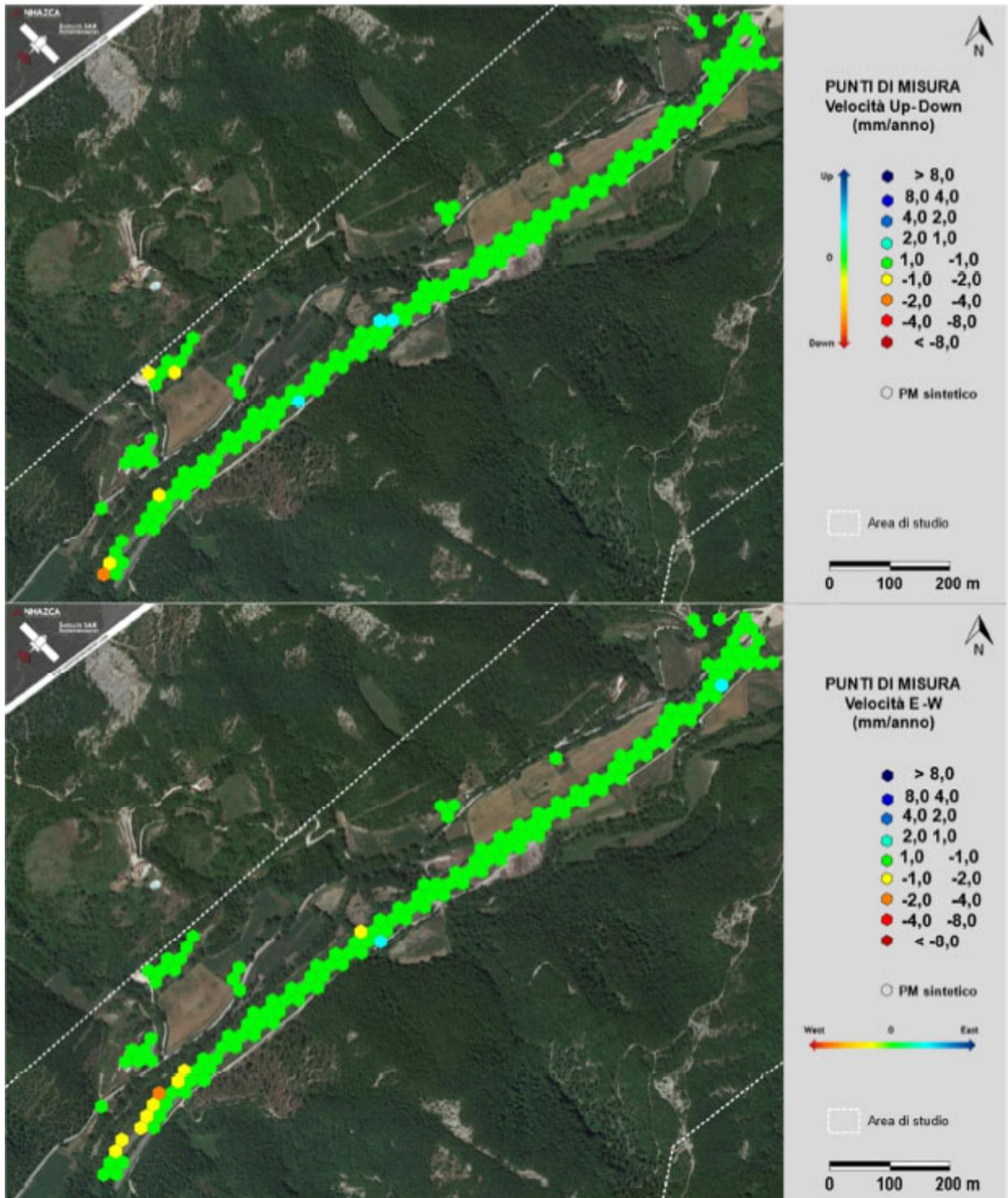


Figura 28 - Velocità dei punti di misura sintetici (direzione verticale ed Est-Ovest) per le aree comprese nel Settore 2.

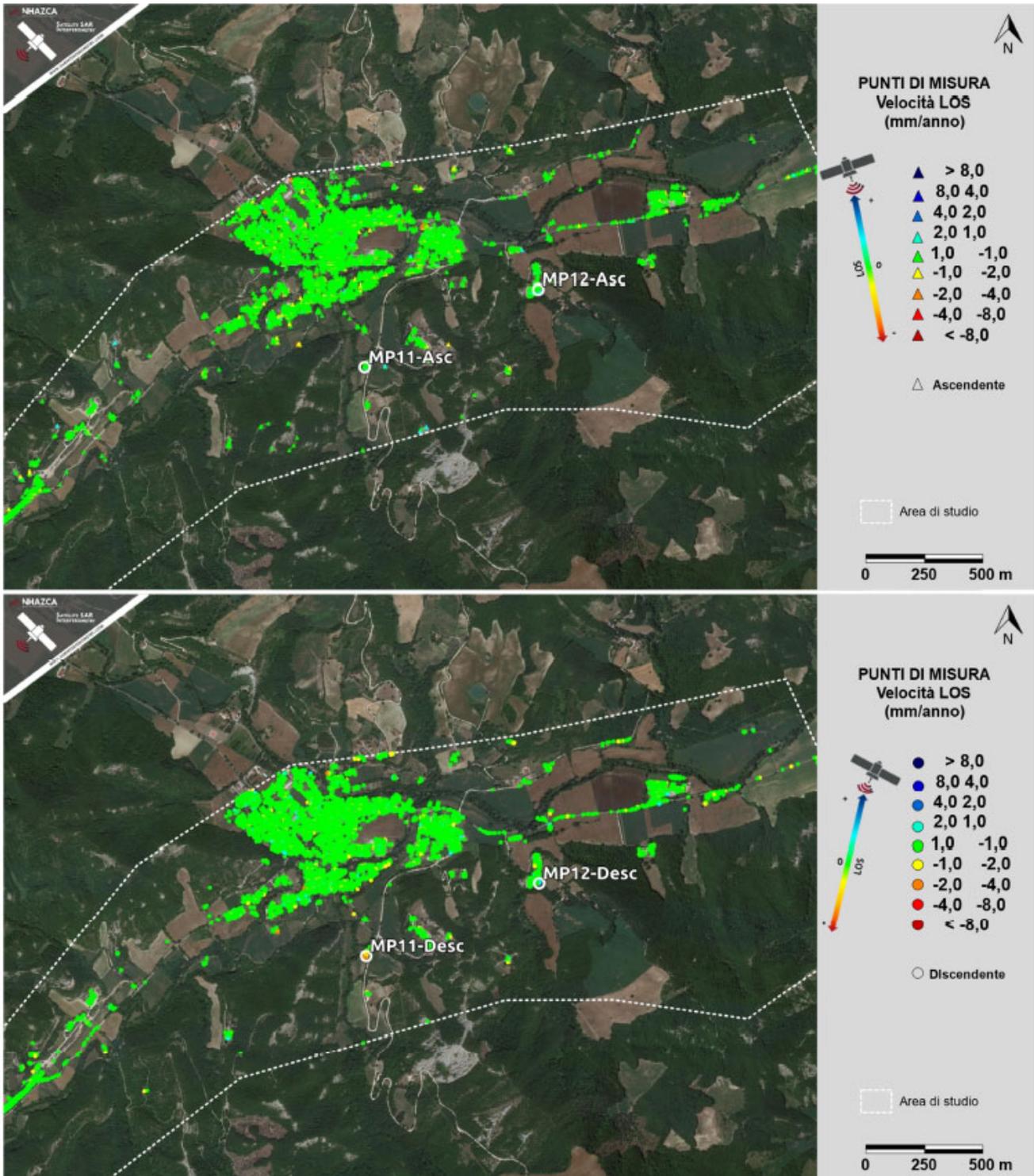


Figura 29 - Velocità dei punti di misura lungo la LOS ottenute da analisi A-DInSAR per gli stack ascendente (in alto) e discendente (in basso) per le aree relative al Settore 3.

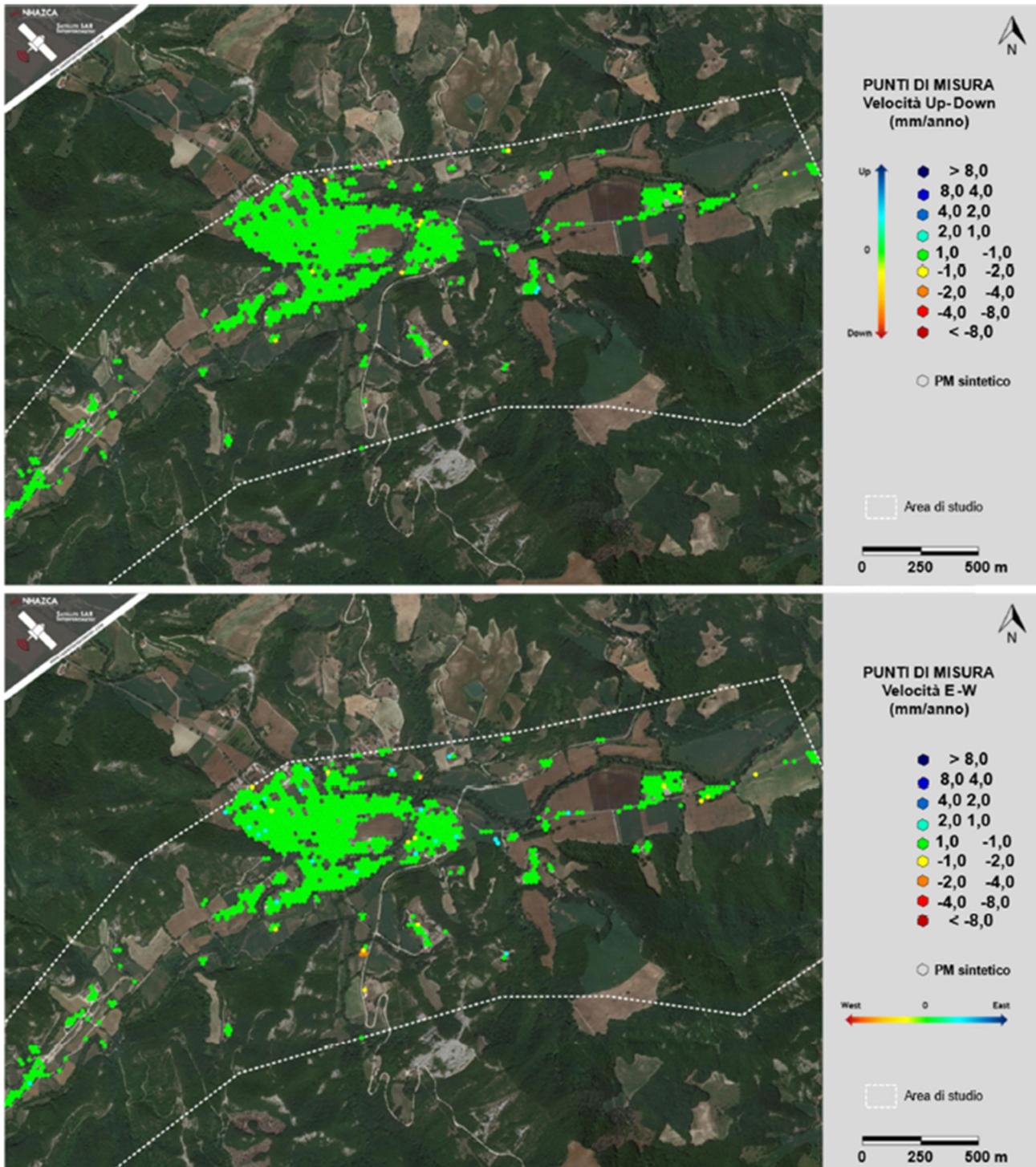


Figura 30 - Velocità dei punti di misura sintetici (direzione verticale ed Est-Ovest) per le aree comprese nel Settore 3.

8 ASSETTO IDROGEOLOGICO

8.1 Caratteri idrogeologici dei terreni

I complessi idrogeologici presenti sono essenzialmente di quattro tipi:

- Depositi colluviali e detritici di versante

Hanno permeabilità per porosità di valore basso a causa dell'elevata presenza di matrice limosa nei depositi. Possono esistere locali circolazioni idriche negli orizzonti più grossolani. In questi corpi geologici sono quindi possibili le manifestazioni sorgentizie, non rilevanti perché, a causa delle dimensioni areali e di spessore limitate, il volume immagazzinato è scarso.

- Depositi alluvionali

Sono caratterizzati da una permeabilità per porosità di valore da medio ad elevato, essendo costituiti da depositi ciottoloso - ghiaiosi potenti pochi metri. Si tratta di un acquifero continuo, ma povero di risorsa, drenato dal torrente S. Antonio e dal F. Metauro. Trova una limitata utilizzazione con alcuni pozzi privati.

- Depositi di frana

Sono costituiti prevalentemente da materiale argilloso limoso che ingloba frammenti lapidei. Essi sono dotati di elevata porosità ma bassissima permeabilità. Sono da considerare saturi per gran parte dell'anno, poiché il drenaggio naturale è difficile.

- Formazione Marnoso Arenacea

Nel suo insieme, almeno rispetto alle altre formazioni, questa si può considerare impermeabile; però la varietà delle rocce che la costituiscono determinano un comportamento idrologico complesso, che va dall'impermeabilità più tipica, alla permeabilità più facile.

Le marne e le argille marnose in parte arenacee, che predominano nella formazione, sono tipicamente impermeabili; quando le arenarie contengono una matrice marnosa o sono molto cementate, hanno un'impermeabilità acquisita; nelle arenarie più fortemente cementate e con basso tenore marnoso si può avere invece permeabilità per fessurazione.

Considerata la netta anisotropia strutturale (fitta alternanza di strati a diversa permeabilità), si può affermare che la permeabilità è, in queste rocce, una grandezza nulla quando il deflusso avviene in direzione normale agli strati, massima (compatibilmente con la permeabilità degli strati più lapidei) quando il deflusso avviene in direzione parallela agli strati.

La prevalenza della componente pelitica e il fatto che in profondità le fratture tendono ad essere maggiormente serrate, escludono una circolazione idrica profonda significativa. Modesti accumuli idrici esistono nelle zone deformate e fratturate da accidenti tettonici dove, in alcuni casi, sono stati misurati valori del k di permeabilità dell'ordine dei 10^{-5} cm/sec.

Tuttavia, per avere degli accumuli idrici sotterranei debbono esserci favorevoli condizioni al contorno (ad esempio pieghe a sinclinale).

Una certa circolazione idrica uniforme, anche se a carattere essenzialmente stagionale, è presente nell'orizzonte superficiale della formazione costituito dalla copertura detritica colluviale e dalla zona di alterazione e degradazione. Tale orizzonte è comunque di modesto spessore (mediamente 2 – 3 m) e ben drenato da fossi e incisioni torrentizie.

Si segnala infine la presenza di acque sulfuree nella formazione Marnoso-Arenacea di facies umbra, la cui genesi è attribuita alla scomposizione di solfuri (pirite, marcassite) presenti nella formazione. In letteratura è segnalata la sorgente Cà Costantino nel territorio di Mercatello sul Metauro.

8.2 Schema idrogeologico

La geologia di quest'area, con la costante e pervasiva presenza di litotipi appartenenti alla Formazione Marnoso-Arenacea, fa sì che non esistano estesi sistemi acquiferi. L'intera zona, infatti, è costituita da rocce a bassa permeabilità d'insieme, ma con discreta capacità d'immagazzinamento: i livelli marnosi rappresentano degli orizzonti a bassissima permeabilità così che, anche se nei livelli arenacei vi è la presenza di acqua, essa riesce a permeare l'ammasso roccioso solo molto lentamente. Pertanto, la circolazione sotterranea è diffusa, di tipo "compartimentato", ma quantitativamente limitata. Dove le arenarie sono più fratturate e dove si è più sviluppata la coltre di alterazione superficiale, si trovano acquiferi epidermici discontinui, i quali alimentano piccole sorgenti e sostengono il deflusso di base dei corsi d'acqua a regime prevalentemente stagionale. Altra situazione favorevole all'immagazzinamento è quella in cui estese fasce cataclastiche interessano l'ammasso roccioso: in questi casi il flusso idrico può aumentare notevolmente, come conseguenza dell'aumento della permeabilità secondaria, in virtù della fratturazione spinta e pervasiva. Alcune di queste fasce sono state intercettate dal cunicolo pilota e dal successivo allargò della esistente galleria.

In effetti, avendo la galleria un tracciato che si sviluppa interamente all'interno della Marnoso-Arenacea, formazione per lo più a bassa permeabilità e priva di sistemi acquiferi estesi, le interferenze con eventuali falde acquifere sono ridotte. Fanno eccezione, così come segnalato nel corso dei lavori, alcuni tratti in cui si sono osservate venute d'acqua sia dalla calotta che dai piedritti, rispettivamente nei tratti fra le progressive: 1750-1850, 1950-1990, 2900-3030 (riferite all'imbocco lato Marche). Si tratta di apporti che si concentrano ai bordi della zona di sovrascorrimento, sia sul lato umbro (in corrispondenza alla località Campolungo) che su quello marchigiano (La Pianaccia – Monte La Casina). Data la lunghezza della galleria, che attraversa lo spartiacque Tirreno-Adriatico con andamento rettilineo e pressoché unica pendenza, i vari afflussi intercettati, per quanto limitati, si sommano e determinano, all'imbocco marchigiano della galleria, un efflusso variabile da 5 a 20 litri/sec.

Localmente, ed in particolare tra le progr.ve 3250 e 3270 circa (riferite all'imbocco lato Umbria, corrispondenti alle prog.ve 2670 – 2690 dal lato Marche), alle venute d'acqua si associa la presenza di idrogeno solforato: tale apporto è da considerarsi legato alla dissoluzione di minerali quali pirite e marcasite, presenti nella compagine rocciosa, ma considerata la ubicazione, non è da escludersi la risalita dal basso, veicolata dalle linee di sovrascorrimento che "pescano" da circuiti idrici profondi, negli stessi livelli che ospitano sacche di gas metano.

Nella zona, inoltre, sono segnalate alcune sorgenti ed opere di captazione per acqua idropotabile. In particolare, si riportano quelle per le quali sono disponibili dei dati di portata.

- | | |
|---|-------------------------|
| - sorgente Parnacciano (Comune di San Giustino) | Q = 1,5 litri/sec |
| - sorgente Ca' Renzetti (Comune di San Giustino) | Q = 0,6 litri/sec |
| - sorgente Ciarella (Comune di Mercatello sul Metauro) | Q = 0,5 – 1,0 litri/sec |
| - sorgente sulfurea Ca' Costantino (Comune di Mercatello sul Metauro) | Q = 1,5 – 2,5 litri/sec |

Oltre a quest'ultimo caso, sono da segnalare altre sorgenti sulfuree, confermate da venute in galleria di acque della stessa composizione.

È da segnalare, inoltre, una captazione superficiale ubicata presso il Pian Marzolino, lungo il Fosso della Guinza, con una portata di circa 5 litri/sec.

8.3 Interferenza acquiferi – opere

8.3.1 Intersezione lato Umbria

In corrispondenza dell'imbocco lato Umbria, si nota una debole venuta d'acqua con carattere di stillicidio, semi-permanente, attraverso la esistente paratia di imbocco (vedi foto di **Figura 31**). Si tratta di un esempio di locale falda confinata all'interno della Formazione Marnoso-Arenacea, con un andamento del flusso che sembra

condizionato dalla giacitura della formazione, che in questo settore immerge a O-SO. Il flusso poi alimenta il Fosso del Casale, e riemerge a valle della strada provinciale, tramite un tombinamento (cfr. **Figura 32**).



Figura 31: Imbocco della galleria Guinza lato Umbria, con la paratia di micropali tirantati attraverso cui è visibile l'afflusso idrico permanente (o semi-permanente). A meno del "disturbo idrogeologico" ed effetto drenante indotto dagli scavi e dalle fessurazioni secondarie, i punti di afflusso sembrano allineati all'incirca lungo l'immersione (linea gialla tratteggiata, componente lungo la paratia) della stratificazione della Marnoso-Arenacea.

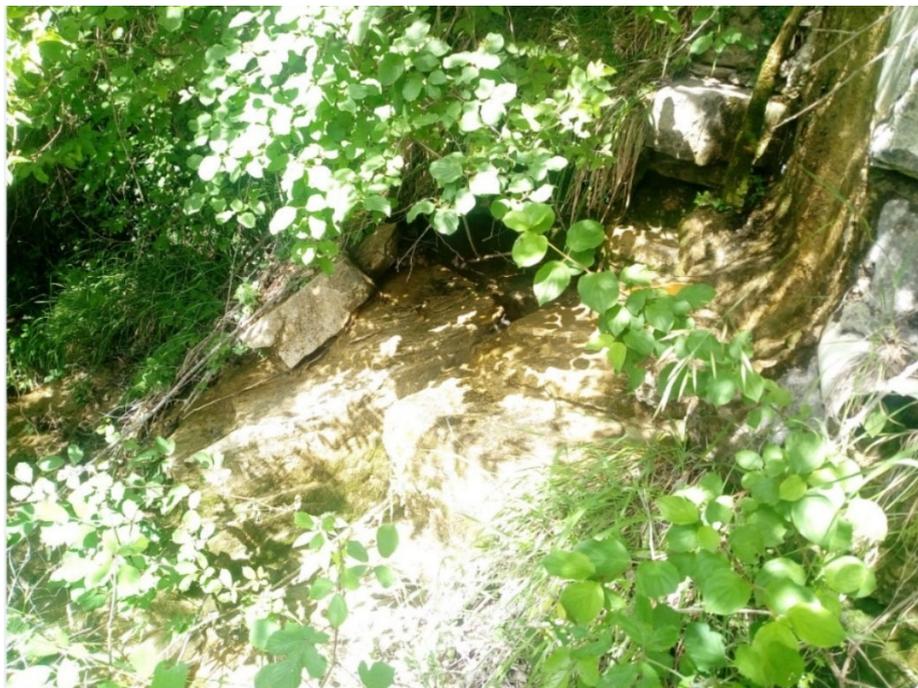


Figura 32: Uscita dell'attraversamento idraulico sotto la strada provinciale, con flusso limitato ma comunque presente.

8.3.2 Intersezione lato Marche

Le opere per la realizzazione del collegamento con la viabilità esistente lato Marche sono di limitato impatto dal punto di vista geologico, geotecnico, e anche idrogeologico, in quanto comportano limitati movimenti terra, prevalentemente in rilevato.

La falda di base è drenata dal Torrente S. Antonio, ed è contenuta nei depositi alluvionali, che lungo l'alveo si presentano erosi quasi sempre fino alla loro base, costituita dalla Formazione Marnoso-Arenacea.

9 GAS METANO

Nell'ambito della Formazione Marnoso-Arenacea, sotto alte coperture, si possono rinvenire sacche di gas metano. Come già riportato nella relazione geologica del progetto di completamento della galleria redatto da Geodata del 1996, a più riprese, durante lo scavo del cunicolo pilota, la lavorazione è stata sospesa a causa di venute di gas: in particolare, sono state segnalate alle progr.ve (dall'imbocco lato-Marche) 3480, da 3200 a 2600, 2360 e 1720.

Se riportate lungo il profilo geologico, tali zone corrispondono rispettivamente:

- all'estesa fascia cataclastica presente tra Campolungo e Il Puntone
- alla zona tettonizzata sul lato umbro del sovrascorrimento del Monte La Casina
- localmente nella zona marchigiana in associazione alle faglie principali.

Tali ubicazioni non differiscono di molto da quanto riportato a proposito delle venute d'acqua in galleria; è ragionevole ipotizzare, anche in questo caso, una risalita dei gas da livelli più profondi lungo linee di debolezza rappresentate da faglie, sovrascorrimenti e zone cataclastiche, ed una locale formazione di sacche in corrispondenza di "trappole" che più facilmente possono crearsi al nucleo di strutture plicative sbloccate da linee di faglia.

È da segnalare, comunque, che durante lo scavo di allargò della galleria vera e propria, le venute di gas sono state molto minori, quasi inesistenti, segno che la gran parte di esse sia stata smaltita dal cunicolo pilota, essendosi le sacche "svuotate".

Comunque, sarà bene mantenere le precauzioni e procedure di sicurezza relativamente alla possibilità di incontrare sacche di gas in tutta la tratta fra le progr. 2500 e 4300 (dall'imbocco lato Umbria).

10 SILICE LIBERA CRISTALLINA

Gli effetti sulla salute umana dell'inalazione di silice libera cristallina (SLC) sono ampiamente documentati nella letteratura medico-scientifica, alla quale si rimanda per approfondimenti.

In Italia non esiste un limite di riferimento ufficiale per l'esposizione professionale a SLC adottato ai sensi della normativa per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori sul luogo di lavoro (leggasi D.Lgs. 81/2008). Al riguardo, il TLV dell'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) viene spesso adottato sia nei contratti collettivi nazionali di lavoro, sia dagli organi di controllo quale riferimento per la valutazione della salubrità degli ambienti di lavoro. L'ACGIH assume come TLV-TWA per la polvere di SLC respirabile (peso/volume di aria) il valore di 0,025 mg/m³. Le varie normative europee stabiliscono limiti da 0,05 a 0,15 mg/m³.

La Formazione Marnoso-Arenacea è tra quelle le cui polveri sono maggiormente ricche in SLC, come risulta sia da considerazioni mineralogiche, sia dall'esame di studi quali ad esempio "Valutazione dell'esposizione a silice libera cristallina nello scavo di gallerie dell'Appennino umbro-marchigiano" (INAIL – 2011).

Da esso risulta che negli scavi di gallerie all'interno della Formazione Marnoso-Arenacea, si sono registrati valori di SLC al 90° percentile (cioè la concentrazione al di sotto della quale si situa il 90% delle misure) di 0,175 mg/m³, e al 50° percentile pari a 0,060 mg/m³.

11 SISMICITÀ DELL'AREA

11.1 Zonazione sismogenetica

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

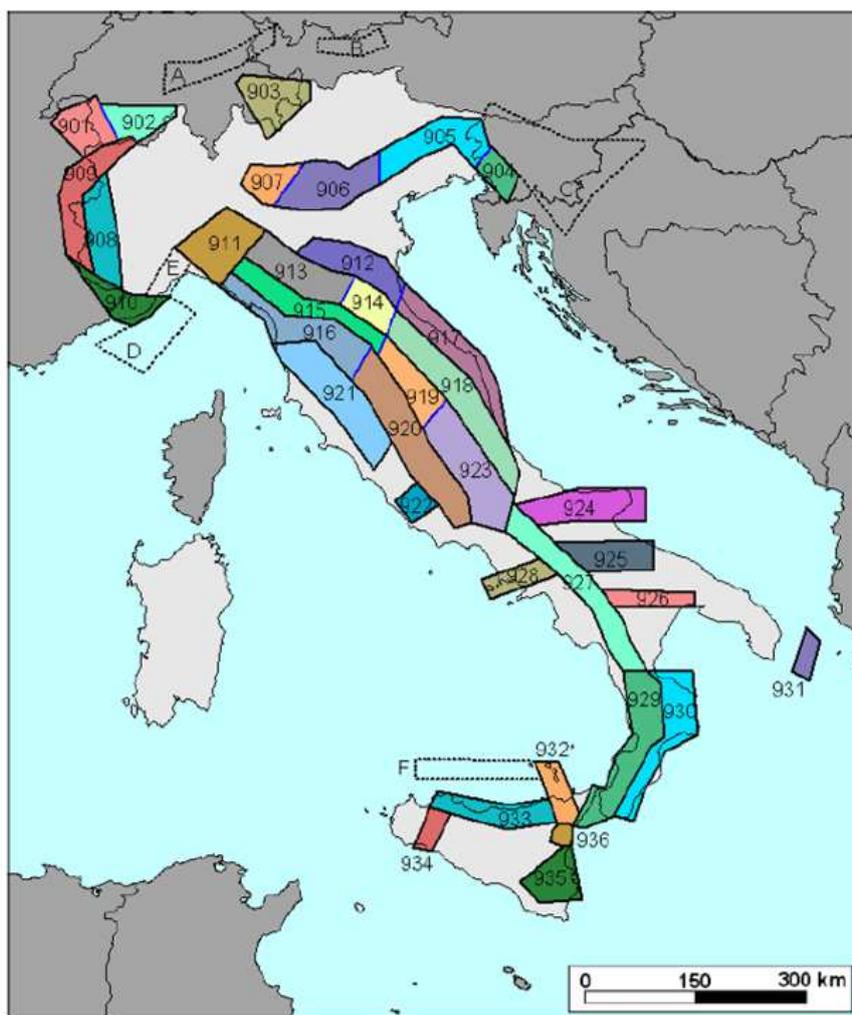


Figura 33 – Zonazione sismogenetica ZS9, dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

Come è possibile verificare dalla figura soprastante, la zona in esame ricade in un'area a cavallo tra diverse zone sismiche, tra cui la 920, 919, 918, 916 e 915. In linea generale, tali zone, identificano la sismicità appartenente alla fascia appenninica e pede-appenninica adriatica. Tale sismicità, del centro Italia, è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

11.2 Sismicità storica e aspetti sismogenetici

Il territorio in esame si colloca tra la fascia appenninica ad alta sismicità e la fascia pede-appenninica adriatica a bassa o bassissima sismicità. La sismicità del centro Italia è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

In particolare, sono state individuate diverse sorgenti sismogenetiche disposte lungo il margine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale. Gli studi di Neotettonica indicano per l'area di studio un sollevamento pressoché continuo nel Pliocene e nel Quaternario e un sollevamento tardivo, a partire dal Pliocene superiore. Tale differenziazione potrebbe aver provocato tensioni tettoniche nella zona di passaggio. Il campo macrosismico delineato dalle isoiste generalmente presenta andamento "appenninico".

Tra le strutture sismogenetiche più importanti, il "Sistema dell'Etruria" (noto in letteratura anche come "Faglia Altotiberina") è una faglia normale di estensione regionale, riconosciuta tramite evidenze di campo (Boncio et al., 1998) e dati di sottosuolo (Anelli et al., 1994; Barchi et al., 1998). Questo sistema raggiunge profondità di 12-14 km sotto la fascia a pieghe/sovrascorrimenti tra Umbria e Marche (Boncio et al., 1998 and 2000). I numerosi studi geologici e sismologici indicano l'attività della zona estensionale, suggerendone un ruolo nello scollamento basale delle faglie normali sismogenetiche immergenti ad Ovest.

Entrando più nel dettaglio, per quanto riguarda le faglie attive in generale, cioè quelle strutture che possono generare eventi sismici di significativa entità, il riferimento ufficiale è il *DISS 3.3.0 (Database of Individual Seismogenetic Sources)*, una banca dati continuamente aggiornata a cura dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia). Il DISS, consultabile online, fornisce una rappresentazione cartografica della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale nell'area di interesse; inoltre può essere interrogato per dare informazioni sulle varie sorgenti sismogenetiche. Nella rappresentazione cartografica, le strutture sismogenetiche sono delle campiture associate a dei rettangoli; si tratta, grosso modo, della rappresentazione planimetrica di piani di faglia, o gruppi di piani, la cui orientazione ed immersione sono simboleggiate dai rettangoli gialli.

La figura seguente e la successiva tabella, tratte dal DISS, rappresentano le strutture sismogenetiche interferenti con il progetto.

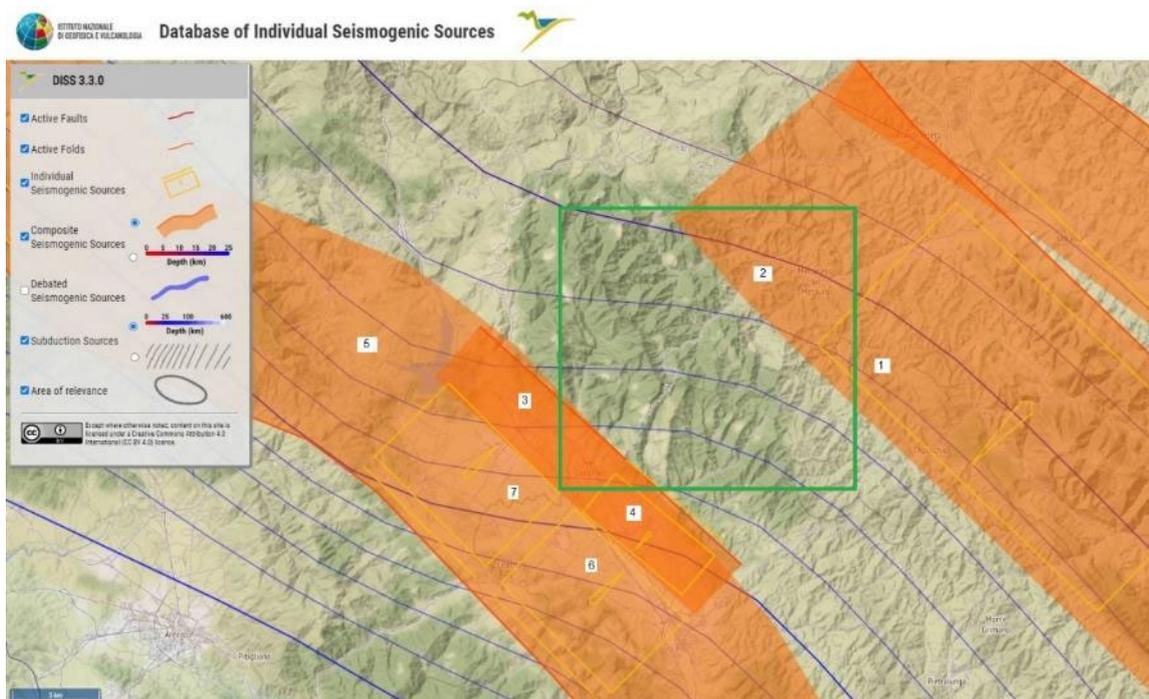


Figura 34: Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS v. 3.0, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss>), identificata dal riquadro verde; ogni struttura è associata a un numero riportato nella tabella successiva

1
ITIS047: Cagli (SS individuale)
Profondità: 2 – 8.7 km
Magnitudo max associata: 6.5
2
ITCS129: Painsimeleto-Bavareto (SS composita)
Profondità: 1 – 10 km
Magnitudo max associata: 7.1
3
ITCS041: Sansepolcro (SS composita)
Profondità: 1 – 5 km
Magnitudo max associata: 5.8
4
ITIS065: Selci Lama (SS individuale)
Profondità: 1 – 4 km
Magnitudo max associata: 5.5
5
ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa (SS composita)
Profondità: 0.5 – 8 km

Magnitudo max associata: 6.9
6
ITIS063 – Monterchi (SS individuale)
Profondità: 0.5 – 4 km Magnitudo max associata: 5.8
7
ITIS064 – Anghiari (SS individuale)
Profondità: 0.5 – 4 km Magnitudo max associata: 5.8

Tabella 1 - Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS v 3.0, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss>)

Si nota che l'area in esame è, in parte, direttamente interferente con sorgenti sismogenetiche (es. "2" - ITCS129 Piandimeleto-Bavareto) ed inoltre sotto il tiro incrociato di possibili sollecitazioni sismiche provenienti da diverse sorgenti poste nelle vicinanze, con magnitudo all'origine comprese tra 5.5 e 6.5.

Nel sito dell'INGV è possibile consultare anche il *DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015* (v.3.0), il quale 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 1000-2014.

Di seguito è riportata la tabella di sintesi rappresentante l'elenco dei terremoti ricercato per la località San Giustino, in ordine decrescente di intensità macrosismica risentita nel sito di riferimento, preceduta dalla tabella di inquadramento; a partire dall'anno 1000 d.C., risulta un numero totale di eventi pari a 31.

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
9	1789	09	30	10			Alta Valtiberina	73	9 5.89
8	1832	01	13	13			Valle Umbra	101	10 6.43
7	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10 5.99
7	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7 5.04
6	1919	10	25	13	51		Alta Valtiberina	30	6 5.03
6	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 5.97
5	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7 5.06
5	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina	55	4.42
5	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6 4.63
4-5	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5 3.77
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8 5.66
4-5	1998	04	03	07	26	3	Appennino umbro-marchigiano	14	5.10
4	1892	11	21				Alta Valtiberina	22	5-6 4.25
4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7 5.09
4	1989	07	09	03	54	3	Montefeltro	48	5 4.09
4	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490	5.22
4	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437	5.47
4	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786	5.62
4	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5 4.47
F	1731	03	29				Alta Valtiberina	9	6 4.76
F	1973	04	19	17	41	3	Pietralunga	22	7 4.61
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5 4.26
3-4	1993	01	17	10	51	2	Alta Valtiberina	76	5 4.26
3-4	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6 4.72
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395	4.78
3-4	2002	02	21	14	36		Casentino	43	5 4.09
2-3	2000	08	01	02	34	3	Montefeltro	84	5-6 4.27
2	1971	02	11	18	49	2	Valle del Chiascio	71	6 4.61
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6 4.46
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5 4.29

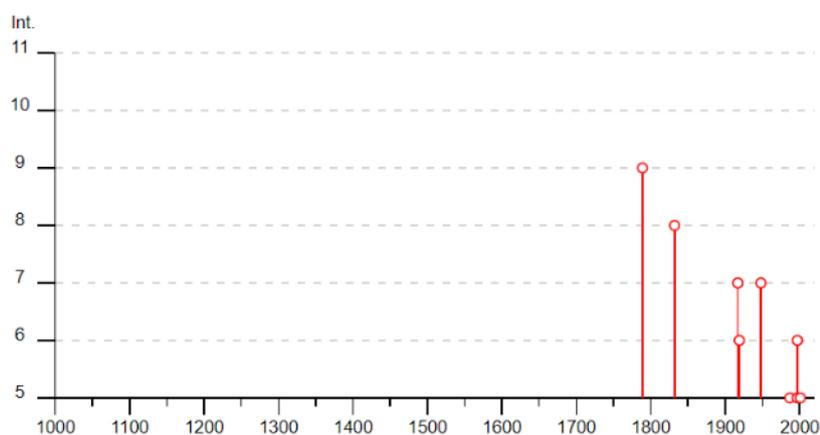


Figura 35 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015, per la località San Giustino: catalogo di sito e distribuzione temporale eventi con $IS \geq 5$

Come risulta dalla precedente tabella il territorio di San Giustino è stato interessato direttamente nel periodo storico da n.9 terremoti di intensità di sito $IS \geq 5$.

11.3 Faglie capaci

Il database denominato “ITHACA” (ITaly HAZard from CApable faults), a cura dell’ISPRA, fornisce lo stato delle conoscenze sulla distribuzione nel territorio nazionale della fagliazione attiva superficiale: giacitura, geometria, cinematica, terremoti associati, tasso di deformazione medio e cartografia di dettaglio.

La consultazione del database “ITHACA – Catalogo delle faglie capaci”, possibile al link di collegamento <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html> ha consentito di verificare che il progetto non interferisce con alcuna delle faglie attive capaci ad oggi individuate, essendo la più vicina situata ad almeno 6 km più a sud-ovest e corrispondente alla faglia normale *San Giustino – Badiali*.

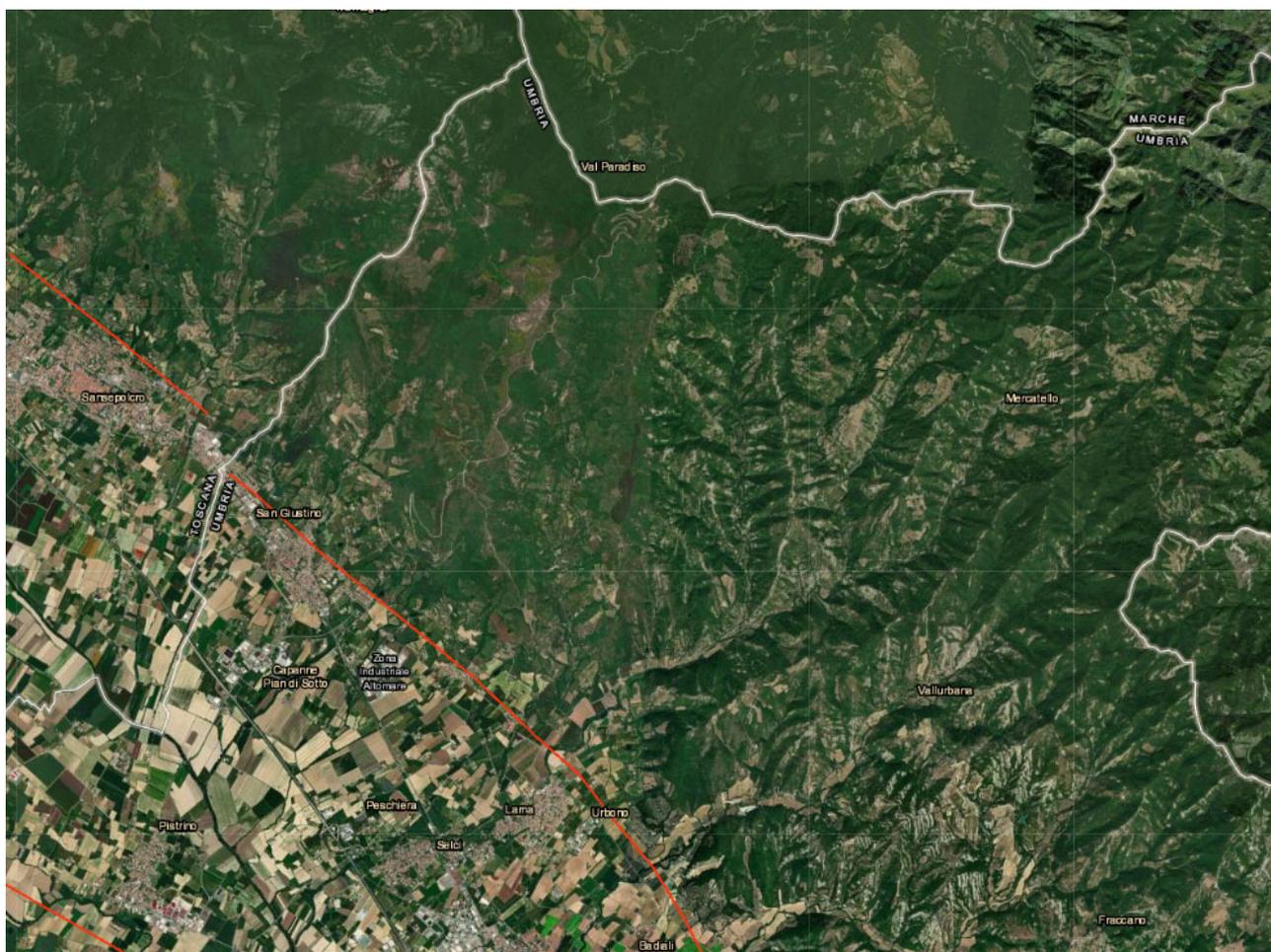


Figura 36 - Stralcio cartografico Progetto ITHACA con indicazione delle faglie capaci (fonte ISPRA-SGI)

11.4 Sismicità locale e stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio, facendo riferimento all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, e degli atti di recepimento delle Regioni, il Comune di San Giustino è classificato in Zona Sismica 2.

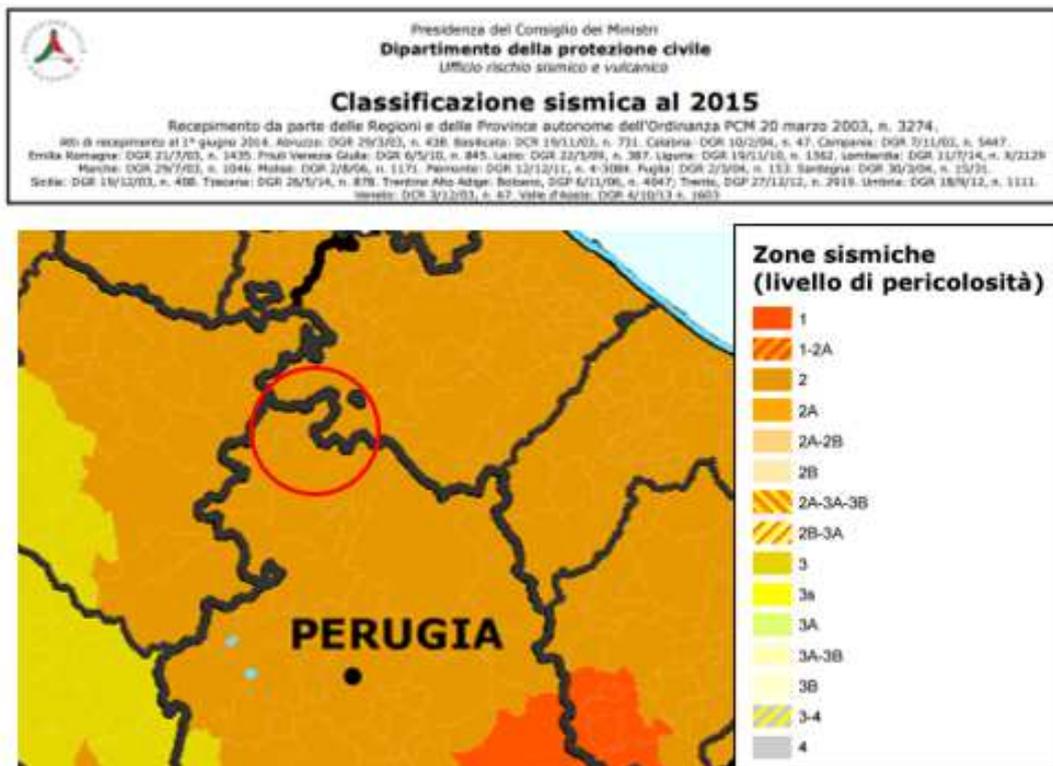


Figura 37 - Classificazione sismica al 2015 del Comune di San Giustino (PG), Dipartimento della Protezione Civile – il cerchio rosso identifica l'area in esame

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti

strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		PVR0: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

11.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $CU = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N CU = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

11.6 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F^0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F^0 e T_c^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i d_i}{\sum_{i=1}^4 d_i}$$

in cui:

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici a_g , F_0 , T^*_c ricavati mediante il programma “Spettri NTC ver.1.0.3.xls”, disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e delle opere infrastrutturali di maggiore rilevanza. I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento $V_R=100$ anni.

San Giustino, PG (12.1745-43.5504)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,098	2,342	0,271
SLD	101	0,124	2,338	0,277
SLV	949	0,286	2,402	0,310
SLC	1950	0,360	2,404	0,324

inizio tracciato (12.28391-43.55772)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,333	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,408	0,327

imbocco sud galleria Guinza - lato Umbria (12.28471-43.55962)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,334	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,409	0,327

imbocco nord galleria Guinza – lato Marche (12.29330-43.612806)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,094	2,376	0,277
SLD	101	0,120	2,351	0,284
SLV	949	0,279	2,410	0,316
SLC	1950	0,348	2,427	0,328

fine tracciato (12.32238-43.63828)

	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _C (s)
SLO	60	0,089	2,413	0,282
SLD	101	0,112	2,384	0,289
SLV	949	0,257	2,485	0,319
SLC	1950	0,320	2,516	0,332

Mercatello sul Metauro, PU (12.3376-43.6483)

	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _C (s)
SLO	60	0,088	2,418	0,282
SLD	101	0,110	2,395	0,291
SLV	949	0,250	2,514	0,320
SLC	1950	0,311	2,554	0,333

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi all'imbocco sud della galleria Guinza (lato Umbria), che forniscono, per l'area in esame, i valori di a_g più elevati:

imbocco sud galleria Guinza - lato Umbria (12.28471-43.55962)

	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _C (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,334	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,409	0,327

11.7 Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro & Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in *magnitudo e distanza (M-R)*, che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Il processo di disaggregazione in *M-R* fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, per effettuare tale analisi viene messo a disposizione il sito "<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>", dell'INGV, dove è possibile eseguire l'analisi di disaggregazione.

In particolare, all'interno del sito, è possibile compilare il "modello di pericolosità sismica MPS04-S1", dove dovranno essere riportati il comune oggetto d'indagine o le coordinate, la probabilità di accadimento di un sisma in 50 anni (indicando il valore più vicino al tempo di ritorno prossimo a quello di progetto) e il percentile, che corrisponde a "50" ai sensi delle NTC 2018. In questo modo è possibile avviare il software e ottenere i valori di magnitudo-distanza *M-R* con relativa probabilità di accadimento.

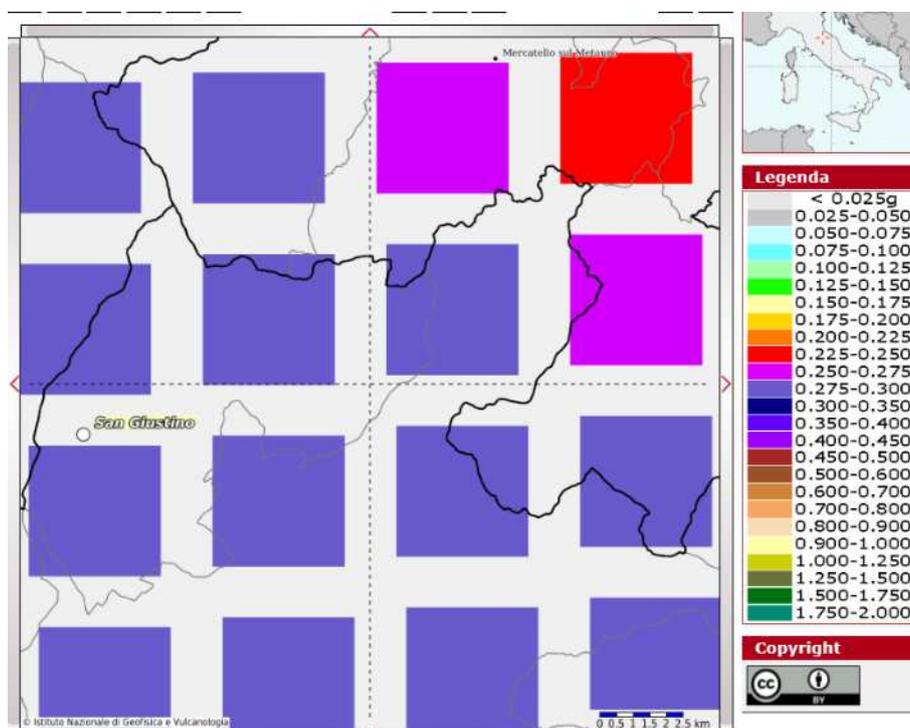
Nel caso dell'infrastruttura in oggetto, sono stati inputati i seguenti dati:

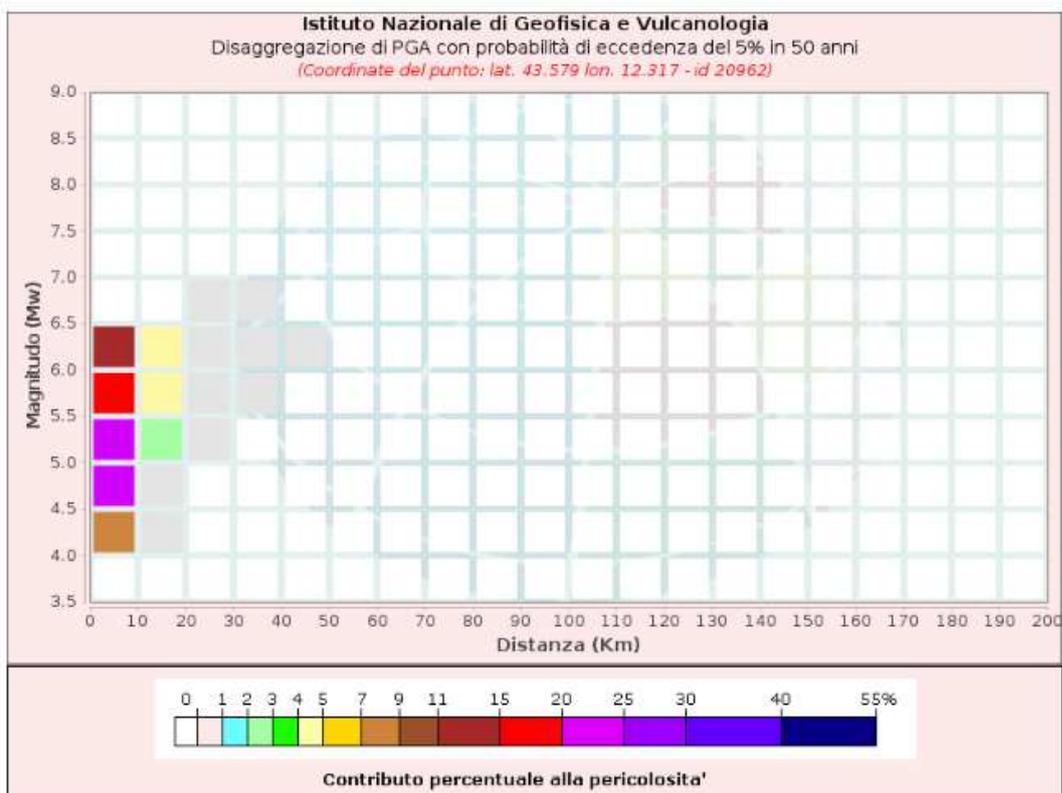
- Coordinate imbocco Umbria: Lon. 12.28471; Lat. 43.55962;
- Valore vita di riferimento $V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni
- Valore tempo di ritorno prossimo a quello di progetto (ovvero $T_r = 949$): $T_r = 975$, corrispondente alla probabilità di accadimento del 5% in 50 anni

I dati di disaggregazione sismica risultanti, nel caso in oggetto, sono i seguenti (cfr. anche figura sottostante):

- Magnitudo (M) compresa tra 4.0 e 6.5 Mw
- Distanza (R) compresa tra 0 e 20 km

da cui è stata ricavata la coppia magnitudo-distanza (M-R) con maggior probabilità di accadimento, corrispondente ai valori medi di magnitudo 5.33 Mw e distanza 5.66 km.





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni
(Coordinate del punto: lat. 43.579 lon. 12.317 - id 20962)

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	8.4000	24.1000	24.0000	19.4000	11.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0082	0.5520	2.4000	4.4600	4.3600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0081	0.3170	0.7800	0.0089	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0648	0.0035	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	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

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.33	5.66	1,22

Figura 38 – Risultati dell'analisi di disaggregazione sismica

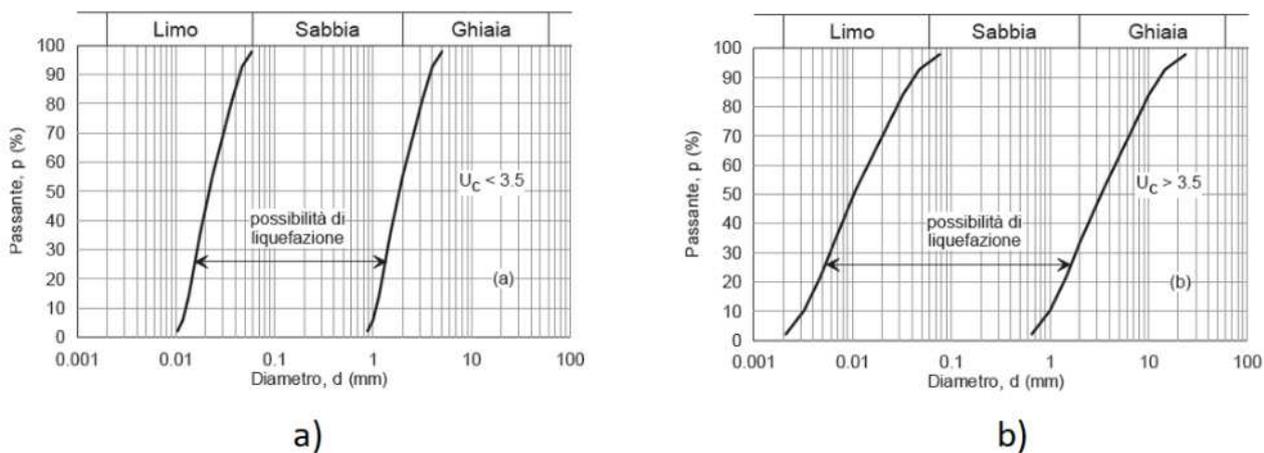
11.8 Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche, in terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni sismiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere dunque stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Come già analizzato negli elaborati geotecnici di progetto definitivo, in corrispondenza del collegamento lato Umbria e dell'imbocco lato Marche della galleria Guinza, la litostratigrafia marnoso-arenacea a prevalente componente pelitica impedisce la formazione di orizzonti idrici significativamente in rete: non essendo presente una falda lateralmente continua, si esclude che le opere in progetto possano essere interessate da fenomeni di liquefazione.

In corrispondenza del collegamento lato Marche e fino a fine tracciato, le indagini hanno intercettato una falda sospesa, circolante nei depositi di versante e alluvionali, sostenuta dal substrato marnoso-arenaceo "virtualmente" impermeabile.

Analizzando inoltre i risultati delle prove eseguite per il sondaggio S13p, è possibile definire quanto segue.

Il report stratigrafico del sondaggio mostra fino a 9.0 m la presenza di detriti di versante, localmente costituiti da argille limose e limi argillosi debolmente sabbiosi poco consistenti. In successione, è stata rilevata la presenza delle alluvioni terrazzate, formate da clasti e ciottoli marnoso-arenacei in matrice limo-argillosa. A 12.0 m da testa sondaggio segue fino alle massime profondità investigate (18.0 m) il substrato flyschoidale, costituito da alternanze decimetriche di marne e arenarie poco alterate e fratturate. Infine, le misure di livello piezometrico disponibili dal sondaggio S13p indicano una soggiacenza di -2.8m da p.c. da quota bocca-foro.

Di seguito viene riportato un grafico contenente le curve granulometriche derivanti dalle analisi di laboratorio dei campioni CR1 e CR2 del sondaggio S13p di cui sopra, in relazione ai fusi granulometrici di normativa.

Dall'esame del caso, si può dichiarare omessa la verifica dei terreni nei confronti della liquefazione, in quanto per il sito di progetto risulta verificata la quarta condizione del § 7.11.3.4.2, per la quale la distribuzione granulometrica è esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

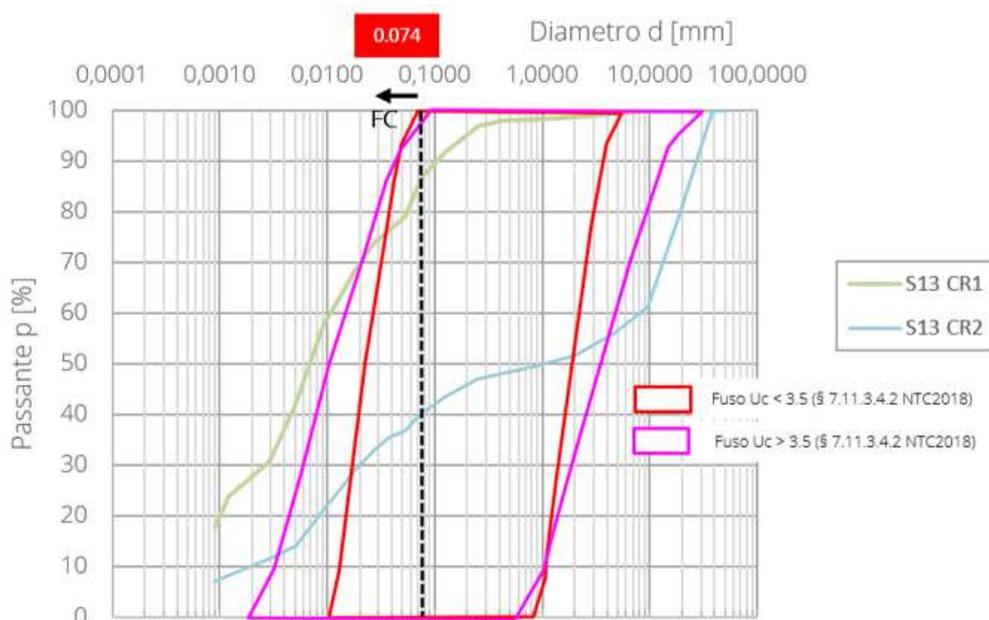


Figura 39 – Sovrapposizione curve granulometriche campioni e fusi limite NTC2018 (par.7.11.3.4.2)

Come già dichiarato in fase di progettazione definitiva, è infine da tener presente che il documento “*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Parti I e II*”, pubblicato nel 2008 da Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, al punto 2.7 delle Linee guida par. 2.7.1 “*Valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione – 2.7.11 Casi in cui si può escludere che si verifichino fenomeni di liquefazione*”, identifica come non liquefacibili o quasi i terreni sabbiosi saturi con frazione di fine “FC” superiore al 20% e indice di plasticità “PI” > 10%, condizioni queste entrambe soddisfatte per i terreni di copertura.

In base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.

11.9 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018.

In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione VS (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall’espressione:

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

con:

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite nella Tab.3.2.II del NTC 2018, riportata di seguito.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

11.9.1 Risultati delle indagini geofisiche eseguite

Dall’analisi dei dati a disposizione dal progetto definitivo, si dispone delle seguenti indagini geofisiche:

- n.1 prospezione sismica in foro tipo down-hole;
- n.6 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n.1 prospezione sismica tipo MASW.

L’indagine down-hole, denominata “S21_DH” ed eseguita nel Marzo 2011, è stata realizzata nel foro di sondaggio S21 che risulta ubicato in prossimità del piazzale antistante l’imbocco lato Umbria della galleria Guinza.

Lo stendimento a rifrazione, denominato “REF R2_S” ed eseguito nel Maggio 2018, è anch’esso ubicato sul piazzale prospiciente l’imbocco lato Parnacciano della galleria Guinza.

La prospezione MASW, denominata "M1", è infine stata eseguita nelle zone prospicienti lo svincolo finale del progetto, in prossimità del centro abitato di Mercatello sul Metauro, realizzata nel Maggio 2018 mediante stendimento di n.24 geofoni a interasse 3 m per una lunghezza globale di circa 69 m.

Nella figura seguente vengono graficati i profili di velocità in onde S restituiti dalla prova tipo down-hole e dalla prospezione sismica tipo MASW.

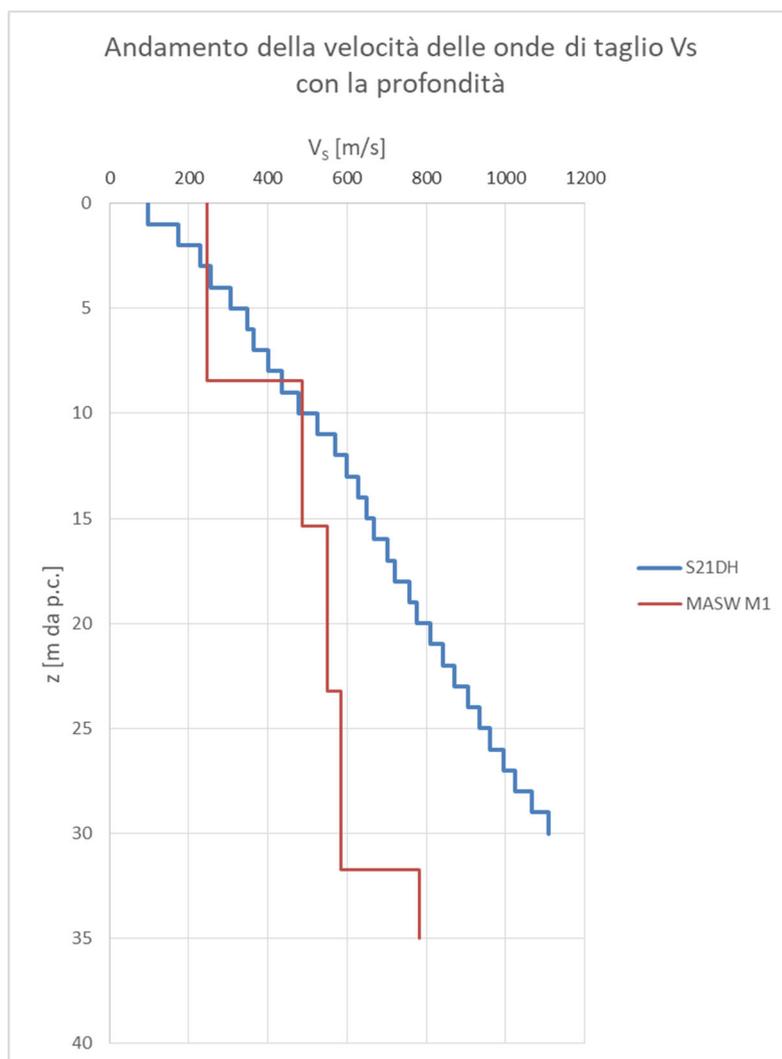


Figura 40 – Grafico di andamento delle velocità delle onde longitudinali V_p e onde di taglio V_s con la profondità

L'analisi del profilo DH, in accordo con la colonna stratigrafica del sondaggio S21, mostra un unico sismostrato correlabile con la formazione marnoso-arenacea, caratterizzato da velocità gradualmente crescenti con la profondità. Il bedrock sismico, inteso come strato caratterizzato da velocità $V_s \geq 800$ m/s, è collocabile ad una profondità di circa 20.0 m.

Riguardo la prova MASW, sono stati riconosciuti n.3 orizzonti significativi con differenti caratteristiche elastomeccaniche. La prova evidenzia una copertura "lenta" ($V_s= 247$ m/s, spessore 8.5 m circa), attribuibile ai detriti di versante; in successione verticale, fino a 32.0 m circa di profondità, è identificabile un orizzonte sismico caratterizzato da velocità $V_s= 500+600$ m/s, correlabile alla formazione marnoso-arenacea. A profondità superiori, si nota un cambiamento di velocità delle onde di taglio ($V_s=780$ m/s), indice della presenza di un ammasso debolmente fessurato o caratterizzato dalla prevalenza della facies arenacea. Tale velocità viene pressoché mantenuta sino alle massime profondità indagate (35 m da p.c.).

Poiché la profondità del bedrock “H” risulta superiore a 30 m, come indicato al §3.2.2 delle NTC2018, la velocità equivalente delle onde di taglio V_s è definita dal parametro V_{seq} , ottenuto ponendo $H=30$ m nell’espressione riportata al § 4.2 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla scorta dei valori di velocità equivalente delle indagini di cui sopra, risultati compresi tra 360 m/s e 800 m/s, essendo anche in presenza di “rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità”, risulta possibile definire in questo caso una categoria di sottosuolo tipo B.

La tomografia in onde S associata alla base sismica a rifrazione “REF_R2_S” evidenzia un andamento abbastanza regolare dei sismostrati (cfr. figura sottostante), mostrando in media valori di V_s ovunque superiori rispetto a quelli delineati dalle indagini sismiche discusse in precedenza (oltre 1000 m/s), indicando un sottosuolo riconducibile ad una categoria A.

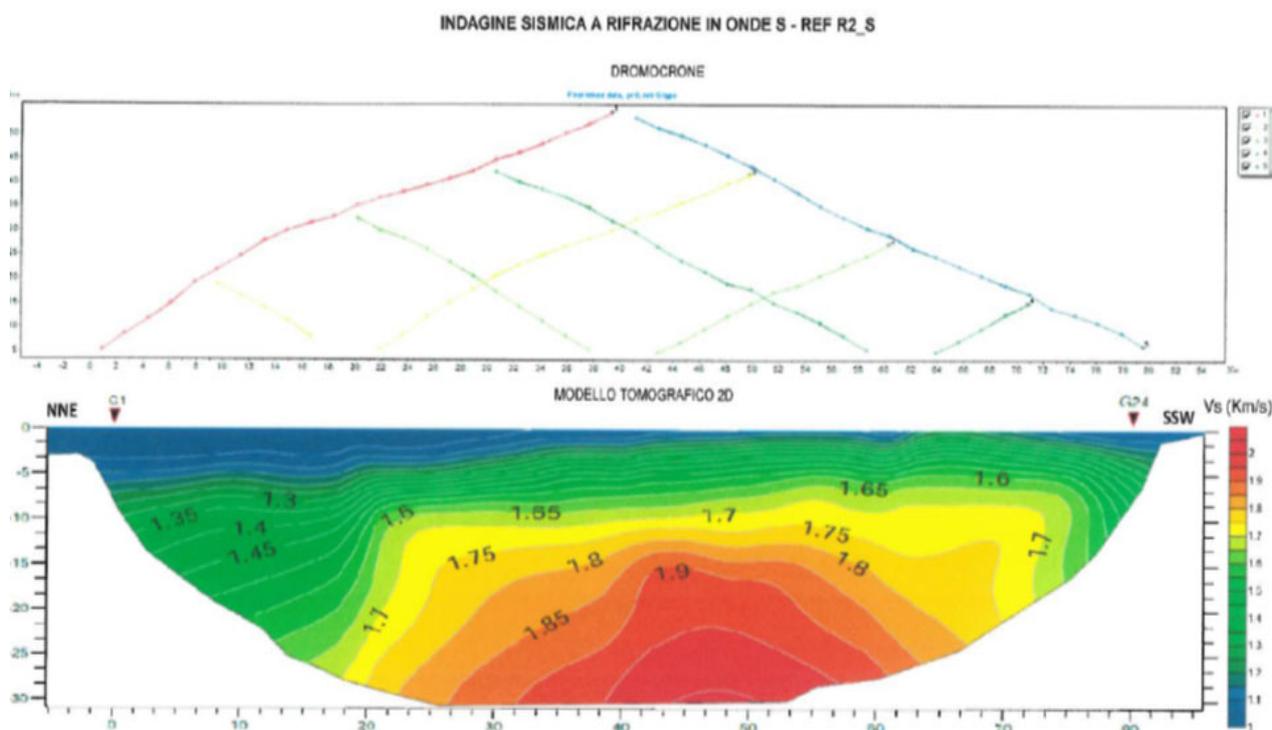


Figura 41 – Sezione sismica derivante dalla tomografia ad onde S dello stendimento a rifrazione

Tuttavia, come categoria di riferimento per le valutazioni strutturali e geotecniche è da impiegarsi una **categoria di sottosuolo di tipo B**, visto in particolare che l’adozione della categoria A non costituirebbe un’assunzione progettuale nel senso della sicurezza.

11.9.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prove eseguite, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e, soprattutto, delle opere da realizzare, è possibile definire, in modo cautelativo, una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (cfr. anche l’elaborato di progetto **T00GE00GETCS01÷04A** - Planimetria con classificazione sismica del territorio).

Tale categoria è identificata nei seguenti tratti di tracciato:

- da inizio tracciato all’imbocco sud galleria Guinza (lato Umbria);
- dall’imbocco nord galleria Guinza (lato Marche) all’imbocco sud galleria Valpiana;
- dall’imbocco nord galleria Valpiana all’imbocco sud galleria S. Antonio;

– dall'imbocco nord galleria S'Antonio a fine tracciato.

11.10 Coefficiente di amplificazione topografica per $h > 30$ m

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1 = superficie pianeggiante, T2 = in corrispondenza della sommità di un pendio, T3 = in corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°, T4 = in corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°), si possono adottare i seguenti valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0
T2	1.2
T3	1.2
T4	1.4

11.11 Caratterizzazione sismica dei terreni

I terreni appartenenti ai tratti di tracciato definiti al **punto 11.9.2** sono caratterizzati dalla **categoria di sottosuolo B**.

In caso di categoria topografica T1 ($S_T=1$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.118
SLD	101	0.149
SLV	949	0.324
SLC	1950	0.379

in caso di categoria topografica T2 ($S_T=1.2$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.142
SLD	101	0.179
SLV	949	0.388
SLC	1950	0.455

in caso di categoria topografica T3 ($S_T=1.2$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.142
SLD	101	0.179
SLV	949	0.388
SLC	1950	0.455

in caso di categoria topografica T4 ($S_T=1.4$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.165
SLD	101	0.209
SLV	949	0.453
SLC	1950	0.531

11.12 Analisi pseudostatiche

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno W considerato. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi mediante dei coefficienti di proporzionalità diretta denominati coefficienti sismici orizzontale e verticale e indicati con k_h e k_v rispettivamente. I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018):

$$\begin{aligned} F_h &= k_h \cdot W \\ F_v &= k_v \cdot W \end{aligned} \quad \text{con} \quad \begin{aligned} k_h &= \beta \cdot a_{max} / g \\ k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h \end{aligned}$$

dove:

- a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g = accelerazione di gravità;
- β = coefficiente di riduzione di a_{max} .

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

11.12.1 Stabilità dei fronti di scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nei metodi pseudostatici i valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in mancanza di studi specifici, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s da utilizzare risulta (cfr. § 7.11.4.):

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

11.12.2 Opere di sostegno

La sicurezza delle opere di sostegno deve essere garantita prima, durante e dopo il terremoto. È ammesso l'uso di metodi pseudo-statici come specificato nel § 7.11.6.2.1.

I valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche strutturali e geotecniche si ottengono a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** come visto nei precedenti paragrafi della relazione e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m da utilizzare risulta:

$$\beta_m = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

Per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

11.12.3 Manufatti scatolari

Il calcolo delle spinte delle terre sui ritti dei manufatti scatolari è stato eseguito assimilando tali opere ad opere di sostegno rigide, che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m può essere considerato pari a 1.

11.12.4 Paratie

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente a_h pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

g = accelerazione di gravità

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera

β = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale a_v dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale oppure mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);

S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori dei coefficienti α e β possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.2I* e *Figura 7.11.3* delle NTC 2018):

