



LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE
E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 21 KM 32+700
E KM 33 "VAL SILLARO" NEL COMUNE DI CASTEL DEL RIO
CUP C27H24000290001

PROGETTO ESECUTIVO

PROPRIETÀ E DIRITTI DEL PRESENTE DISEGNO SONO RISERVATI - la riproduzione e l'uso senza permesso sono vietati - ownership and copyright are reserved - reproduction is strictly forbidden	COMMITTENTE:	 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA		DIREZIONE GENERALE Servizio Struttura Speciale Alluvione via San Felice, 25 - 40131 BOLOGNA		PROGETTO:	 THESIS ENGINEERING Studio Tecnico di Ingegneria 40037 Sasso Marconi (BO) - Galleria G. Marconi n.13 tel. +39.051.4982260 E-mail: thesis@studiothesis.it Prof. Ing. CLAUDIO COMASTRI							
	FUNZIONI PROCEDIMENTO:	Responsabile Unico Procedimento: dott. Ing. Lucia MOLICA-FRANCO Supporto al RUP: dott. Ing. Mirko OCCHI dott. Ing. Sara PAGLIARULO												
REVISIONI: AGGIORNAMENTI:	7													
	6													
	5													
	4													
	3	CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	REVISIONE			THS2024004_S04_Qb.III.01_R03	MAGGIO 2026							
2	CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	REVISIONE			THS2024004_S04_Qb.III.01_R03	GENNAIO 2026								
1	CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	AGGIORNATO PER INTERVENTI KM 32+700 e km 33+00			THS2024004_S04_Qb.III.01_R03	04/12/2025								
1° EMISS.	CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA			THS2024004_S04_Qb.III.01_R03	28/01/2025								
	RICHIEDENTE/APPLICANT:	OGGETTO:			FILE:	DATA:								
ELABORATO/DRAWN BY:		Ing. Claudio Comastri		CONTROLLATO/ CHECKED BY:		Ing. E.Comastri		APPROVATO/APPROVED BY:		Ing. Claudio Comastri				
FIRMA/SIGNATURE				DATA/DATE		FIRMA/SIGNATURE		DATA/DATE		FIRMA/SIGNATURE				
PROGETTO:	UBICAZIONE:	STRADA PROVINCIALE N. 21 "VAL SILLARO"												
		COMUNE DI CASTEL DEL RIO												
ELAB.	Titolo	INTERVENTI ALLE PROGRESSIVE km 32+700 e km 33+00				SCALA:	-		REVISIONE.:	3		DATA:	MAGGIO 2026	
		RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA				TAVOLA N.:		R03						

1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO

Il presente capitolo riporta una sintesi dello studio geologico e sismico dei tratti della SP 21 interessati dalla mobilitazione di dissesti gravitativi. Si tratta di due frane di cui la prima ha coinvolto e distrutto il ponte sul rio di Montale, la seconda ha dislocato un tratto della SP21 in prossimità della località Giugnola. Entrambi questi dissesti hanno manifestato dinamiche e processi assimilabili agli "Scorrimenti traslativi di roccia su piani di strato", in contesti litologici molto simili. Le frane hanno coinvolto materiali rocciosi stratificati di natura arenacea, sabbioso, marnosa, argillosa e limosa.

1.1 Geologia e geomorfologia

1. Ponte sul rio di Montale

Il dissesto manifestatosi lungo la vallecchia del rio di Montale ha coinvolto entrambi i versanti nelle immediate adiacenze del corso d'acqua, tra 525 e 475 m s.l.m. di quota. Il rio di Montale poco oltre il ponte si unisce al rio Cà di Tonno originando il rio Ronzone, affluente del torrente Sillaro in destra idrografica.

Il dissesto si presenta composito, mobilitando materiali rocciosi evidentemente fratturati e detensionati, su parti di versante ripide, che al momento dell'evento si presentavano rivestite da alberi ed arbusti.

La descrizione della struttura geologica dell'area esaminata adotta le suddivisioni e le interpretazioni contenute nella carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo edita in rete all'indirizzo <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/cartografia-geologica-1>, sito dell'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia Romagna (progetto nazionale CAR.G. - CARTografia Geologica), di cui lo stralcio relativo alla zona in esame è riportato di seguito. Ai dati di inquadramento desunti da questa cartografia si sono aggiunte le osservazioni e i rilievi svolti sul campo nel corso dell'indagine.

Nell'area affiorano rocce riferite alla Formazione Marnoso-Arenacea, unità geologica che affiora estesamente a est della valle del Sillaro in tutto l'Appennino romagnolo, il cui nome formazionale deriva dalla composizione litologica, costituita da una alternanza ritmica di arenarie e marne in strati piano paralleli.

Questa successione stratigrafica si depositò durante il Miocene (tra il Burdigaliano superiore e il Tortoniano superiore) su fondali profondi, in ambienti di piana bacinale.

In questo periodo il sollevamento dell'Appennino era già iniziato ma la catena montuosa ancora non emergeva ancora dal mare e alla sua fronte, verso NE si era venuto a creare un bacino marino stretto e profondo, allungato sino ai piedi delle Alpi.

Qui, per un lungo periodo, la sedimentazione fu dominata dal sopraggiungere di correnti sottomarine improvvise, dette correnti di torbida, in grado di trasportare enormi volumi di detriti sabbiosi e argillosi in un tempo geologicamente istantaneo.

Ogni strato che si osserva rappresenta quindi il prodotto di questo processo di trasporto e

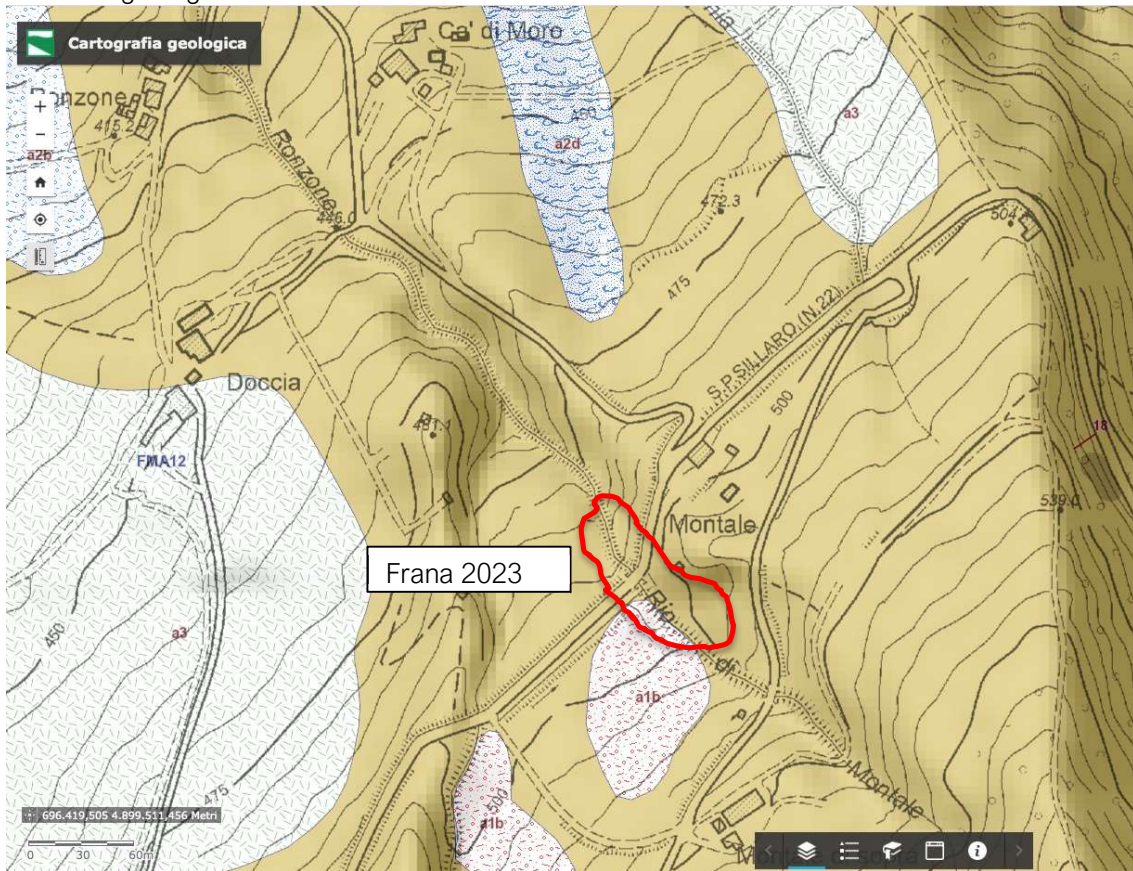
sedimentazione ed è generalmente costituito da una "coppia" di rocce diverse: alla base il detrito grossolano, sabbioso, forma un letto di arenarie, mentre verso l'alto il sedimento più fine, argilloso, forma un letto di marne. Le rocce derivate da questo tipo di sedimentazione sono chiamate torbiditi. Molti dei granuli sabbiosi della Marnoso Arenacea derivavano dall'erosione di rocce alpine, testimoniando che queste montagne erano già emerse dal mare ed erano solcate da fiumi che finivano nello stesso mare che bordava l'Appennino.

Gli studi del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna, ora Area Geologia Suoli e Sismica, hanno portato a suddividere questa formazione in diverse sotto-unità stratigrafiche, con la definizione di membri e litofacies, distinti principalmente sulla base dei caratteri litologici e della posizione stratigrafica.

Nell'area del dissesto del rio di Montale è stata riconosciuta e cartografata la sotto-unità FMA 12, denominata Membro di Castel del rio; secondo la cartografia CarG, la frana si sviluppa interamente in questa sotto-unità, coinvolgendo lungo il versante sinistro del rio di Montale una sottile fascia di un precedente dissesto, classificato come "Deposito di frana attiva per scivolamento" (a1b).

Dal punto di vista litotecnico il corpo di frana ha interessato ammassi rocciosi strutturalmente ordinati, costituiti da alternanze di livelli lapidei (come arenarie cementate, calcareniti ecc..) e livelli pelitici, con livelli pelitici che possono essere prevalenti, con un rapporto di arenarie/pelite variabile da 1/5 a 3/1.

Carta geologica della vallecola del rio di Montale nel tratto interessato dal dissesto.



Legenda



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.



a3 - Deposito di versante s.l.

Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso



a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.



FMA12 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio

Torbiditi arenaceo-siltitico-marnose (A/P variabile). Arenarie medie e fini, talora grossolane. Siltiti e marne, rare emipelagiti. Possono abbondare i letti arenacei spessi (A/P fino a >20), con strati talora amalgamati; per il resto prevalgono quelli medi e sottili. Talora si inseriscono pacchi di strati decametrici più pelitici con A/P < 3 (fino a 1/2) talora cartografati (ap - orizzonte arenaceo-pelitico). Localmente distinta una litofacies pelitico-arenacea (FMA12c). Possono essere presenti riempimenti di canali arenacei (rc). Limite inferiore su FMA11 o su FMA10. Potenza fino a 850 m. (Tortoniano)

L'assetto geomorfologico e idrogeologico del tratto di versante interessato dai dissesti lungo la SP21 è strettamente legato alla struttura geologica e alle condizioni litotecniche dell'area.

I processi in atto sono governati dall'erosione lineare che segna tutti i corsi d'acqua del reticolo idrografico, ai quali si deve la tendenza evolutiva che porta all'approfondimento dei solchi vallivi e il procedere di correlati dissesti gravitativi.

Si ricorda che per frane attive s'intendono i depositi **"associati a processi gravitativi in atto al momento del rilevamento, o che ricorrono con un ciclo il cui periodo massimo non supera quello stagionale"**, mentre per frane senza indizi di evoluzione, o frane quiescenti, si intendono gli accumuli di terreno dovuti a processi gravitativi **"non attivi al momento del rilevamento, per le quali però esistono indizi che ne dimostrino un'oggettiva possibilità di riattivazione, in quanto esse non hanno esaurito la loro potenzialità di evoluzione"** (VARNES, 1978; GNGFG, 1987, CRUDEN & VARNES, 1996). Una definizione più esaustiva e con indirizzo più applicativo è quella tratta dai documenti del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, secondo la quale per frana quiescente si intende un:

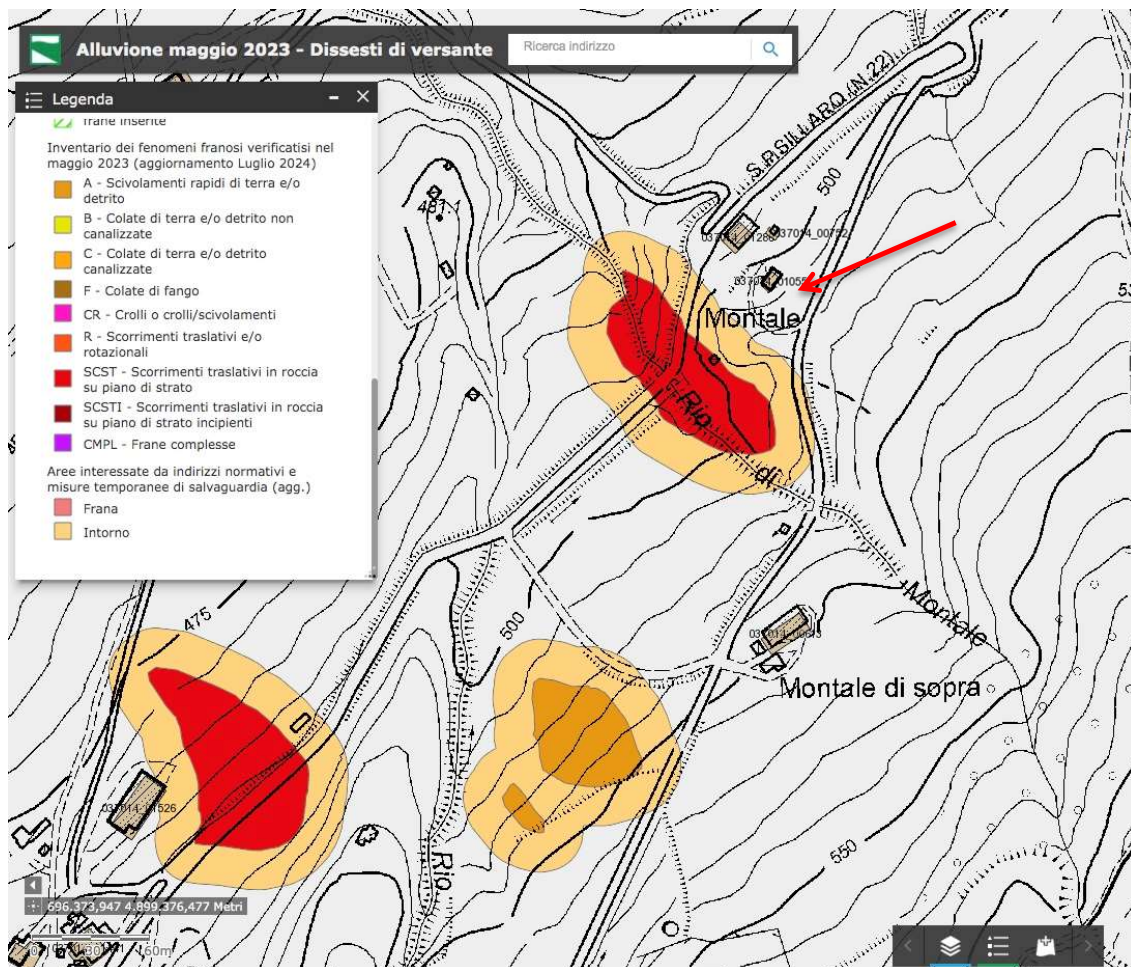
"Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici e strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi"

Dal punto di vista litologico le frane sono composte da materiali incoerenti a composizione eterogenea e granulometria molto varia, accumulati per gravità e con assetto caotico. Frequentemente i corpi di frane quiescenti presentano, al loro interno, riattivazioni più o meno estese. I depositi di versante sono costituiti invece da materiale roccioso eterogeneo e di dimensione molto varia, mescolati tra loro, formando accumuli con una tessitura peculiare, costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi). La genesi dei depositi di versante può essere gravitativa (serie di piccole frane, soliflusso e creeping), e/o da ruscellamento superficiale.

Ciò premesso, si osserva che lungo il fianco sinistro della vallecchia del rio di Montale era stata cartografata, a monte della SP21, una deposito di frana attiva per scivolamento, in minima parte coinvolto nella frana del 2023 (vedi cartografia nelle pagine precedenti). La zona di distacco del dissesto 2023 si localizza in massima parte in zone dove in precedenza non erano cartografati dissesti.

Nella cartografia "Alluvione 2023 – Dissesti di versante", redatta dall'Area Geologia, Sismica e Suoli della Regione Emilia Romagna, la frana del rio di Montale è stata classificata tra gli

"Scorrimenti traslativi in roccia su piano di strato" così come riportato nella cartografia che segue. Si tratta di dissesti che interessano versanti a pendenze medio-alte, dove la stratificazione è disposta a franapoggio inclinata come il pendio, nei quali il primo spessore della formazione rocciosa scivola sul tetto di uno strato argilloso sottostante. Questo fenomeno è innescato tipicamente dall'infiltrazione delle acque superficiali, che scorrendo lungo lo strato argilloso, impermeabile, causano la diminuzione dei parametri di resistenza, avviando al tetto dello strato lo scorrimento della frana.



2. Giugnola

Il dissesto manifestatosi lungo la SP21 in vicinanza della località Giugnola, si è staccato 15-20 m sopra la sede stradale, lungo il versante destro del torrente Sillaro, tra 550 e 475 m s.l.m., subito a valle di un crinale secondario che separa la vallecchia del rio Cà di Tonno dal versante del Sillaro.

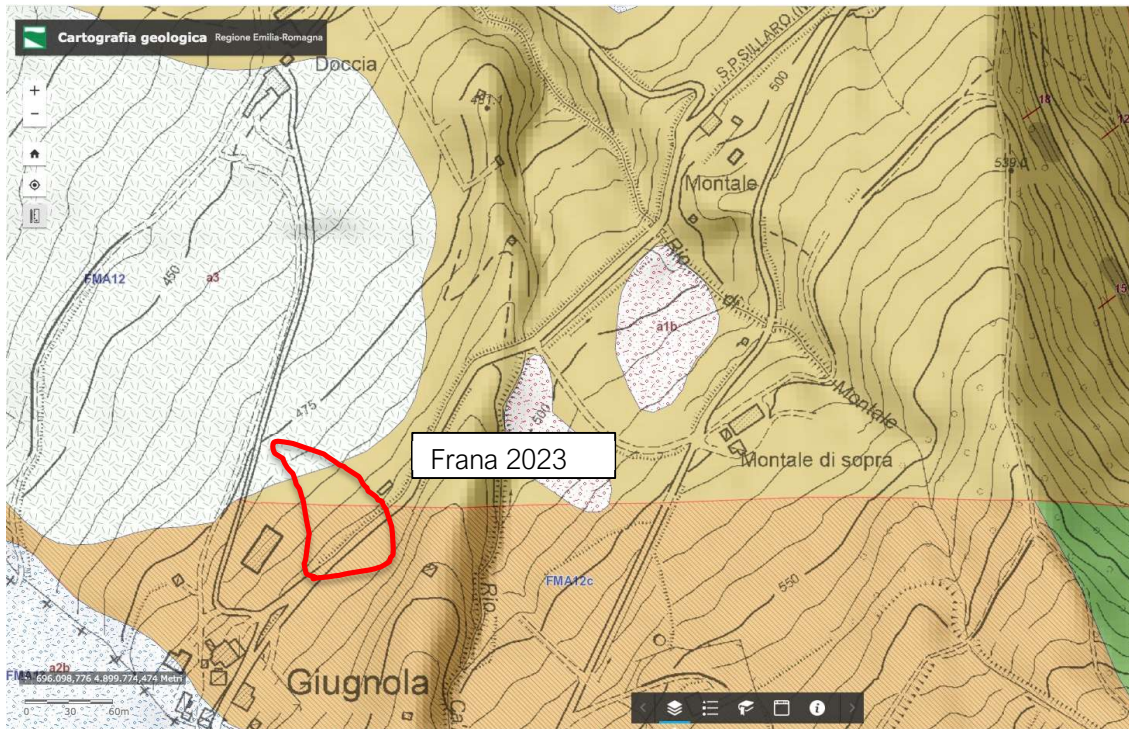
Anche in questo caso, la descrizione della struttura geologica dell'area esaminata adotta le suddivisioni e le interpretazioni contenute nella carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo edita in rete all'indirizzo <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/cartografia-geologica-1>, sito dell'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia Romagna (progetto nazionale CAR.G. - CARtografia Geologica), di cui lo stralcio relativo alla zona in esame è riportato di seguito. Ai dati di inquadramento desunti da questa cartografia si sono aggiunte le osservazioni e i rilievi svolti sul campo nel corso dell'indagine.

Per la descrizione di dettaglio delle unità affioranti, appartenenti alla Formazione Marnoso-Arenacea, si fa riferimento al paragrafo precedente.

Il dissesto si sviluppa interamente nel membro di Castel del Rio della Formazione Marnoso-Arenacea (FMA12), coinvolgendo anche una parte di versante formata dalla Litofacies pelitico arenacea (FMA12c), a contatto per faglia verticale con FMA12, come di seguito rappresentato nello stralcio cartografico.

Il membro di Castel del Rio si caratterizza per la presenza di alternanze ritmiche formate da torbiditi arenaceo-siltitici e marnosi, con un rapporto arenarie/pelite variabile. Le arenarie sono a granulometria media e fine, a volte grossolane, alternate a marne, siltiti e rare emipelagiti. Possono trovarsi abbondanti i letti arenacei spessi e con strati amalgamati, anche se prevalgono gli spessori medi e sottili. La potenza di questa unità, riferita al Tortoniano, può raggiungere gli 850 m. La Litofacies pelitico-arenacea è segnata da una prevalenza di strati marnosi.

Dal punto di vista litotecnico si tratta comunque di ammassi rocciosi strutturalmente ordinati, costituiti da alternanze tra livelli lapidei (ad esempio arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc..) e livelli pelitici con un rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.



a3 - Deposito di versante s.l.

Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.



FMA12 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio

Torbiditi arenaceo-siltitico-marnose (A/P variabile). Arenarie medie e fini, talora grossolane. Siltiti e marne, rare emipelagiti. Possono abbondare i letti arenacei spessi (A/P fino a >20), con strati talora amalgamati; per il resto prevalgono quelli medi e sottili. Talora si inseriscono pacchi di strati decametrici più pelitici con A/P < 3 (fino a 1/2) talora cartografati (ap - orizzonte arenaceo-pelitico). Localmente distinta una litofacies pelitico-arenacea (FMA12c). Possono essere presenti riempimenti di canali arenacei (rc). Limite inferiore su FMA11 o su FMA10. Potenza fino a 850 m. (Tortoniano)



FMA12c - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies pelitico-arenacea

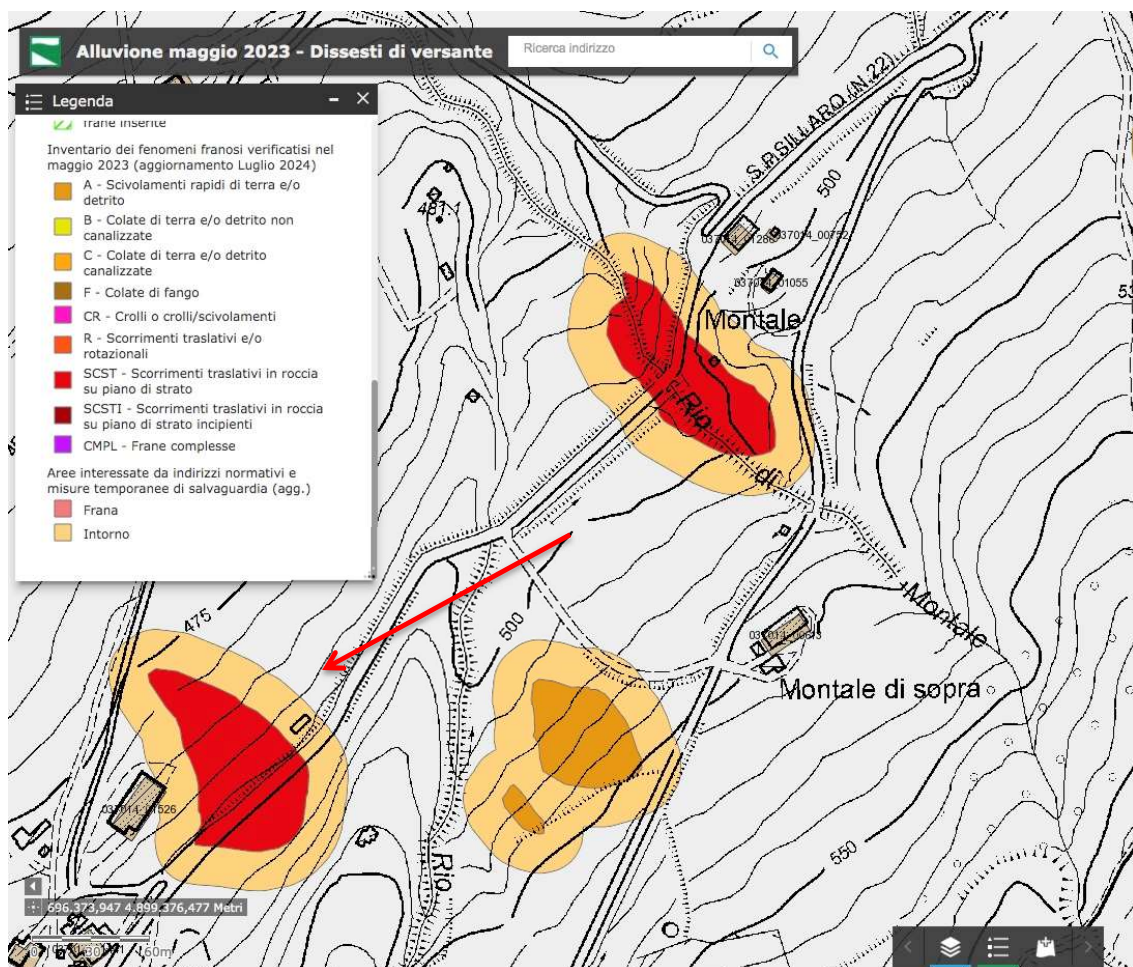
(Tortoniano)

Per la descrizione morfologica del dissesto che ha interessato la sede della SP21 si rimanda al paragrafo precedente.

Il dissesto che ha interessato questo tratto stradale è della stessa tipologia di quello che ha coinvolto i versanti del rio di Montale, trattandosi entrambi di scivolamenti su piani di strato.

Nella cartografia "Alluvione 2023 – Dissesti di versante", redatta dall'Area Geologia, Sismica e Suoli della Regione Emilia Romagna, la frana presso la località Giugnola è stata classificata Ronchi sono classificate tra le "Colate di terra e/o detrito canalizzate" così come riportato nella cartografia che segue.

Come già detto, si tratta di dissesti che interessano versanti a pendenze medio alte, dove la stratificazione è disposta a franapoggio inclinata come il pendio, nei quali il primo spessore della formazione rocciosa scivola sul tetto di uno strato argilloso sottostante. Questo fenomeno è innescato tipicamente dall'infiltrazione delle acque superficiali, che scorrendo lungo lo strato argilloso, impermeabile, causano la diminuzione dei parametri di resistenza, avviando al tetto dello strato lo scorrimento della frana.

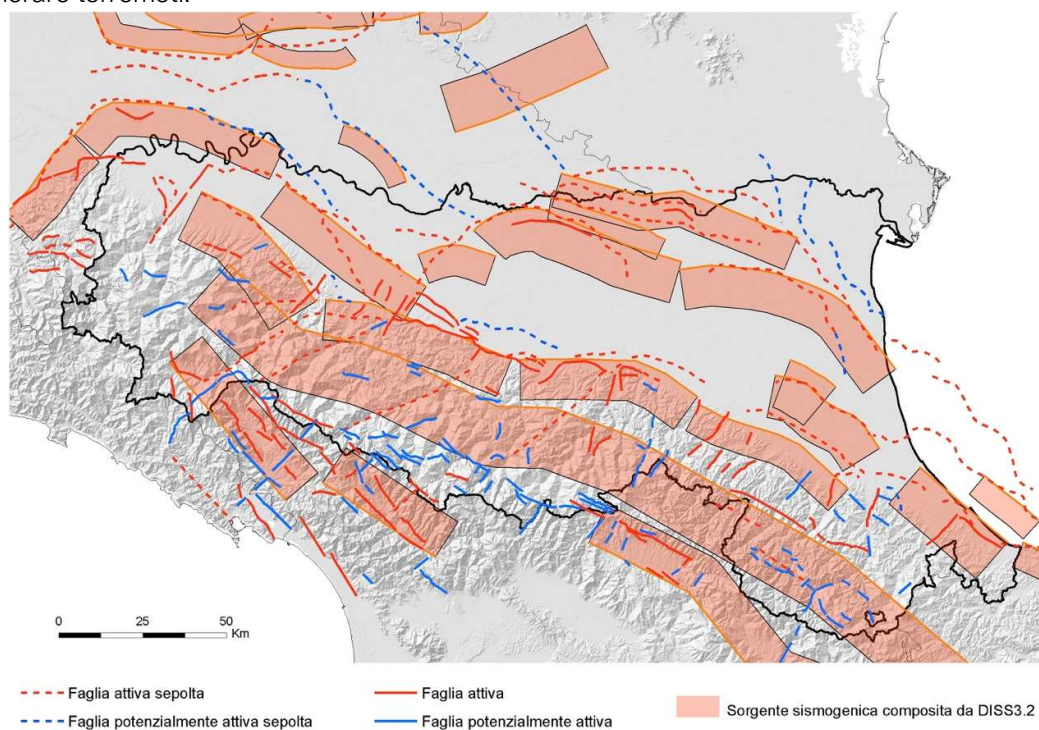


1.2 Sismica

Dal punto di vista della sismicità delle aree interessate dai dissesti descritti, occorre far riferimento a un quadro molto più esteso, dal momento che lo scuotimento sismico può avere origine anche in corrispondenza di strutture lontane da quest'area.

La figura che segue illustra, per l'Appennino tosco-emiliano-romagnolo e la Pianura Padana centrale e orientale, il confronto tra le zone in grado di generare terremoti di magnitudo almeno pari a 5,5 (DISS Working Group, 2015) e le principali faglie attive riconosciute (Martelli et al, 2017). Come già evidenziato, faglie attive potenzialmente sismogenetiche, capaci di generare forti terremoti in Emilia-Romagna, sono localizzate in profondità, nel basamento del medio e alto Appennino, lungo il margine appenninico-padano e in corrispondenza degli archi formati dalle strutture sepolte della pianura padana (Pieghe Emiliane, Pieghe Ferraresi e Pieghe Adriatiche). I dati strumentali, relativi ai terremoti dal 1981 in avanti (vedi catalogo ISIDe, INGV; ISIDe Working Group, 2015), indicano che i terremoti emiliano-romagnoli hanno origine per lo più a profondità comprese tra 35 e 5 km; i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nella zona del margine appenninico-padano e del basso e medio Appennino.

Le strutture sismogenetiche sono strutture geologiche (faglie, accavallamenti) che possono generare terremoti.



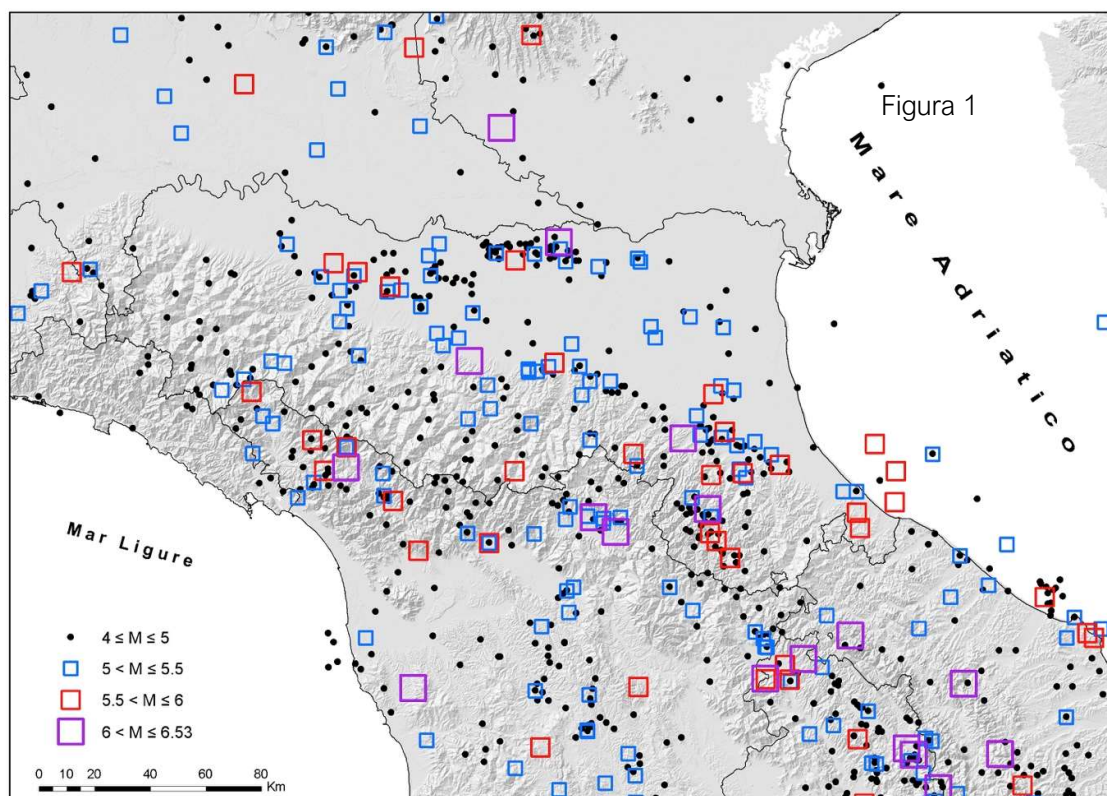
Confronto tra le zone sismogenetiche in grado di generare terremoti $M > 5,5$ (DISS Working Group, 2015) e le principali faglie attive riconosciute (Martelli et al., 2017a) nell'Appennino tosco-emiliano-romagnolo e la Pianura Padana centrale e orientale.

1.1 Sismicità osservata

Il Comune di Castel del Rio è stato interessato da terremoti di diversa intensità e, come tutta la Regione Emilia Romagna, hanno storicamente risentito, e tuttora possono risentire, di forti terremoti avvenuti in aree sismogenetiche extraregionali, alcune delle quali hanno generato terremoti di magnitudo maggiore di 6, come la Garfagnana, il Mugello, la Valtiberina e le Marche settentrionali.

Nella figura che segue sono rappresentati gli epicentri dei principali terremoti (magnitudo stimata almeno uguale a 4) che hanno interessato il territorio regionale negli ultimi 1.000 anni.

Epicentri dei principali terremoti ($MW \geq 4$) che hanno interessato l'Emilia-Romagna negli ultimi



1.000 anni (Rovida et al., 2016; ISDe Working Group, 2015).

Di seguito si riportano i dati ricavati dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani dal 1000 al 2020 consultabile nel sito di INGV all'indirizzo:

<https://emidius.mi.ingv.it/>

relativi i Comuni di Casalfiumanese e Castel del Rio, nella pagina seguente si riportano il grafici a partire dall'anno 1000.

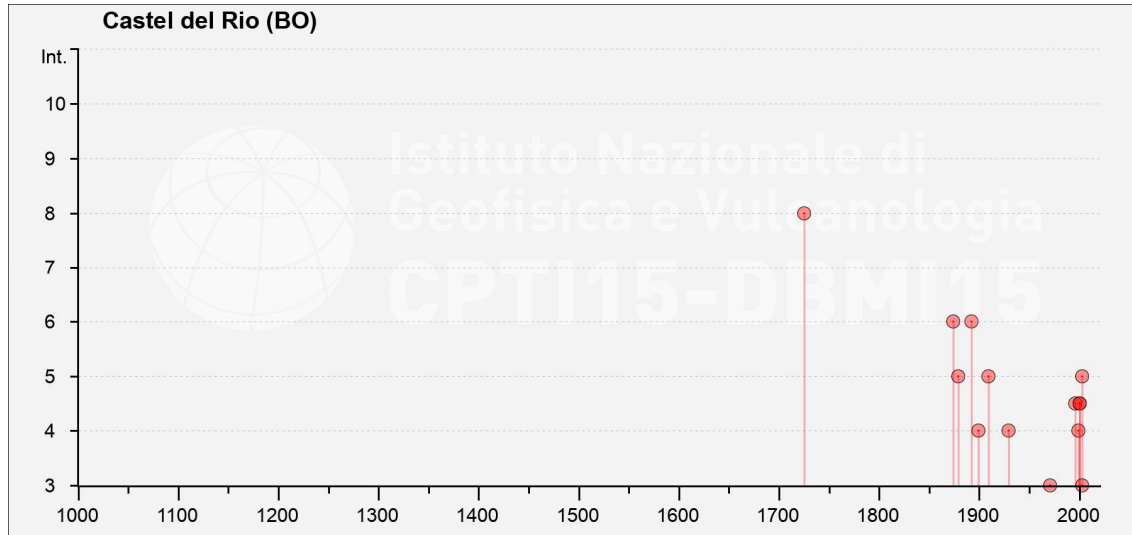


Grafico dell'andamento temporale degli eventi sismici in relazione alla loro intensità

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>

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

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>