

“SERRA DEL CORVO”

Progetto di impianto di accumulo idroelettrico

Comune di Gravina in Puglia (BA)

COMMITTENTE



COORDINAMENTO / MANDANTE



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

PROGETTAZIONE STRUTTURALE / MANDATARIA



Progettisti: Prof. D. Calcaterra
Prof. L. Ferranti

Studio delle dinamiche di versante e dell'assetto geologico-strutturale dell'area di progetto



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	24/01/2022	L. Ferranti	D. Calcaterra	C. Pasqua

Codice commessa: 1373 Codifica documento: 1373-A-DS-R-01-0

**Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio ad alta flessibilità
nel Comune di Gravina in Puglia (BA)**



Studio delle dinamiche di versante e dell'assetto geologico-strutturale nell'area di progetto



Relazione - aggiornamento

Gruppo di lavoro

Prof. Domenico Calcaterra
Prof. Luigi Ferranti
Dr. Diego Di Martire
Dr. Luigi Guerriero
Dr. Francesco Iezzi

Gennaio 2022

INDICE

1. Premessa	3
2. Materiali e metodi	5
2.1. <i>Analisi geologico-strutturale e delle faglie attive</i>	5
2.2. <i>Mappatura delle frane da prodotti cartografici e fotografici</i>	5
2.3. <i>Mappatura delle frane da dati interferometrici</i>	6
3. Analisi geologico-strutturale e sismotettonica	8
3.1. <i>Quadro stratigrafico</i>	8
3.2. <i>Assetto strutturale</i>	16
3.3. <i>Faglie attive e capaci e sorgenti sismogenetiche</i>	18
3.4. <i>Sismicità e deformazione attiva</i>	21
4. Studio dei fenomeni d'instabilità di versante.....	26
5. Carta-inventario dei fenomeni franosi e stima delle geometrie di frana	29
6. Mappatura dei fenomeni franosi da dati interferometrici	32
6.1 <i>Perimetrazione delle aree critiche</i>	32
6.2 <i>Confronto dei dati interferometrici con la Carta-inventario ufficiale</i>	35
6.3 <i>Confronto dei dati interferometrici con la Carta-inventario ottenuta da rilevamento e fotointerpretazione</i>	37
7. Considerazioni sulle possibili interferenze	38
Riferimenti bibliografici e sitografici	42

1. Premessa

Nello scorso mese di luglio Edison S.p.A. ed il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II sottoscrivevano una Convenzione di ricerca, avente per oggetto uno "Studio geologico delle possibili interferenze tra opere in progetto, dissesti di versante e lineamenti tettonici", con riferimento all'esecuzione di un progetto relativo ad un nuovo impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio ad alta flessibilità da realizzare nel Comune di Gravina in Puglia (BA).

In ottemperanza a quanto previsto all'art. 5 della Convenzione, in questa sede si presenta la Relazione conclusiva sulle attività svolte ai fini dell'individuazione delle possibili interferenze critiche o criticità, d'ordine geologico e geologico-tecnico, che potrebbero insorgere tra le opere connesse con l'impianto in progetto.

Per ciascuna delle opere in progetto, le considerazioni di merito sono state articolate su alcuni temi principali, quali assetto geologico locale, faglie e frane.

Le problematiche geologico-strutturali sono state valutate tramite un rilevamento speditivo (seppur dettagliato nelle zone sensibili), l'analisi dei sondaggi disponibili, con estrapolazione dell'assetto geologico-strutturale a poche centinaia di metri nel sottosuolo, e lo studio delle principali faglie presunte che potrebbero interagire con le opere in progetto. In aggiunta, è stato valutato il potenziale di attivazione in superficie delle stesse faglie in occasione di eventi sismici significativi su faglie limitrofe di importanza regionale (cosiddetta "capacità" delle faglie).

Le frane sono state valutate in funzione delle evidenze emerse dalla fotointerpretazione di supporti adatti alla visione stereoscopica (cd. foto aeree) e dall'analisi ed interpretazione di dati satellitari (forniti da TRE Altamira S.p.A. - periodo 2015-2021), ottenuti mediante la tecnica dell'Interferometria Differenziale SAR (DInSAR).

In merito al lavoro svolto, si sottolinea che la ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale, ancorché rigorosa nei suoi contenuti fondamentali, deve considerarsi puramente schematica nel dettaglio, in particolare per quanto concerne la sua estrapolazione in profondità. Similmente, la valutazione della capacità delle faglie deve considerarsi preliminare attesa la necessità degli approfondimenti suggeriti nella parte finale di questo rapporto.

Per quanto riguarda lo studio dei dissesti di versante, è necessario sottolineare che i risultati derivanti dalle analisi dei dati satellitari ottenuti mediante l'applicazione della tecnica DInSAR consentono di identificare solo ed esclusivamente spostamenti in superficie, senza fornire alcuna informazione sull'eventuale prosecuzione in profondità di detti spostamenti.

Analogamente, la fotointerpretazione fornisce informazioni sulla presenza/assenza lungo i versanti di possibili corpi geologici instabili in superficie, che, solo in taluni casi e per confronto tra

immagini di età diversa, possono essere integrate da informazioni sullo stato di attività di tali corpi.

Pertanto, ogni e qualsivoglia considerazione sulla suscettibilità di attivazione delle faglie potenzialmente capaci e sull'andamento in profondità di faglie e frane è da intendersi come esclusivamente ipotetica e bisognevole di verifiche/conferme da attuare mediante un'adeguata campagna di indagini geognostiche e geofisiche, integrate da un idoneo monitoraggio strumentale.

2. Materiali e metodi

2.1. Analisi geologico-strutturale e delle faglie attive

Partendo dalla base geologica esistente (Foglio 188 "Gravina in Puglia" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000; si fa notare che non esiste cartografia geologica CARG in scala 1:50.000), si è proceduto a rilevamenti speditivi nella porzione di maggior interesse dell'area di progetto, mirati alla comprensione dei rapporti stratigrafico-strutturali e dell'assetto geologico in profondità.

La ricostruzione della stratigrafia è stata effettuata mediante analisi dei sondaggi disponibili più significativi, corroborate da osservazioni di campagna che hanno fornito vincoli sull'andamento tridimensionale dei corpi geologici.

L'esistenza delle faglie presenti in letteratura è stata valutata attraverso elementi morfostrutturali desumibili dall'analisi di foto aeree e immagini satellitari. La ricostruzione delle stratigrafie è stata fondamentale per verificare i rigetti massimi di lungo termine sulle faglie in questione.

Infine, è stata valutata la pericolosità sismica ricadente nell'area sulla base di informazioni derivanti dai *database* esistenti su faglie attive, sorgenti sismogenetiche, sismicità storica e strumentale.

2.2. Mappatura delle frane da prodotti cartografici e fotografici

Al fine della realizzazione di un inventario delle frane presenti nell'area di studio, è stato in primo luogo consultato il *database* dei fenomeni franosi sviluppato nell'ambito del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia – Trigila et al., 2007) e quello del PAI dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Basilicata, ora Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale. Successivamente, è stata eseguita un'analisi congiunta geomorfologica e geologico-tecnica della cartografia, dei modelli digitali del terreno, delle immagini satellitari ad alta risoluzione e delle foto aeree disponibili. In particolare, sono stati utilizzati la Carta Tecnica Regionale della Regione Puglia in scala 1:5000 in formato *raster*, il *Digital Elevation Model* (DEM) prodotto dalla Regione Puglia con cella quadrata di lato 5 m, le immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite negli anni 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e le foto aeree IGM acquisite nel 2003 (scala 1:33000). Ai fini dell'analisi, i prodotti cartografici digitali e il DEM sono stati analizzati in ambiente GIS, le immagini satellitari sono state analizzate in ambiente Google Earth e le foto aeree, acquisite in formato digitale, sono state stampate ad alta risoluzione e analizzate attraverso visione in stereoscopia.

L'individuazione dei fenomeni è stata basata sul riconoscimento di associazioni di elementi morfologico/deformativi diagnostici di processi di frana attivi o quiescenti/relitti. Considerando un approccio interpretativo a fattore di scala crescente e le caratteristiche delle rocce affioranti,

potenzialmente predisponenti rispetto a frane da scorrimento e/o colata di terra, si è innanzitutto ricercato i) morfologie concave, eventualmente ad anfiteatro, diagnostiche di aree di svuotamento da frana e ii) morfologie convesse, eventualmente lobate, rappresentative di aree di accumulo da frana.

È stato quindi ricostruito il reticolo idrografico, ponendo particolare attenzione alla presenza di eventuali anomalie geomorfologiche, anche legate a fenomeni di cattura, ed è stato eseguito un confronto in termini di posizione rispetto alle aree concavo-convesse su versante. Tipica infatti è, a titolo di esempio, i) la condizione di impostazione del reticolo di drenaggio al margine di morfologie convesse derivati dall'accumulo di materiali di frana per scorrimento-colata e ii) la presenza di anomalie nel *pattern* di drenaggio (biforcazione discendente) nelle aree di transizione tra le zone di alimentazione e quelle di accumulo di grandi colate di terra.

Nell'ambito delle macroaree precedentemente descritte (concavo-convessità), sono stati poi ricercati meso-elementi diagnostici di processi di frana quali scarpate, aree caratterizzate da superficie irregolare (*hummocky surfaces*), creste longitudinali ai canali di frana (*flank ridges*), morfologie da pressione e "piegamento" (*pressure ridges*) o sovrapposizione, superfici in contropendenza, depressioni locali, ecc..

Una volta riconosciuti, gli elementi descritti hanno concorso alla perimetrazione dei fenomeni di frana e alla loro classificazione secondo i criteri di Cruden & Varnes (1996). In particolare, sono stati riconosciuti frane da colata di terra e scorrimento, eventualmente combinati in sistemi di frana con stile di attività complesso. I fenomeni, così riconosciuti, sono stati vettorializzati e riportati in una Carta-inventario georeferenziata.

2.3. Mappatura delle frane da dati interferometrici

La metodologia utilizzata nel presente studio per la perimetrazione di fenomeni franosi mediante interpretazione di dati interferometrici (PS – *Permanent Scatterers* – Ferretti et al., 2001), si basa sulla procedura LaDIS (*Landslide Detection Integrated System* – **Fig. 2.1**), pubblicata da Di Martire et al. (2016). Le fasi fondamentali dell'indagine sono state:

- acquisizione di dati interferometrici rappresentanti le velocità medie e le serie temporali degli spostamenti di *target* al suolo, definiti *Permanent Scatterers* (PS);
- perimetrazione delle aree critiche: ambiti caratterizzati dalla presenza di PS con velocità elevata, in relazione ad apposite scale di velocità (fornite da TRE Altamira S.p.A., responsabile del processamento delle immagini);
- confronto dei dati interferometrici con la Carta-inventario ufficiale mediante operazioni di *map-overlay* in ambiente GIS;

- confronto dei risultati ottenuti dalle analisi dei dati interferometrici (aree critiche) con la Carta-inventario ottenuta mediante fotointerpretazione e rilevamento, effettuata mediante operazioni di *map-overlay* in ambiente GIS.

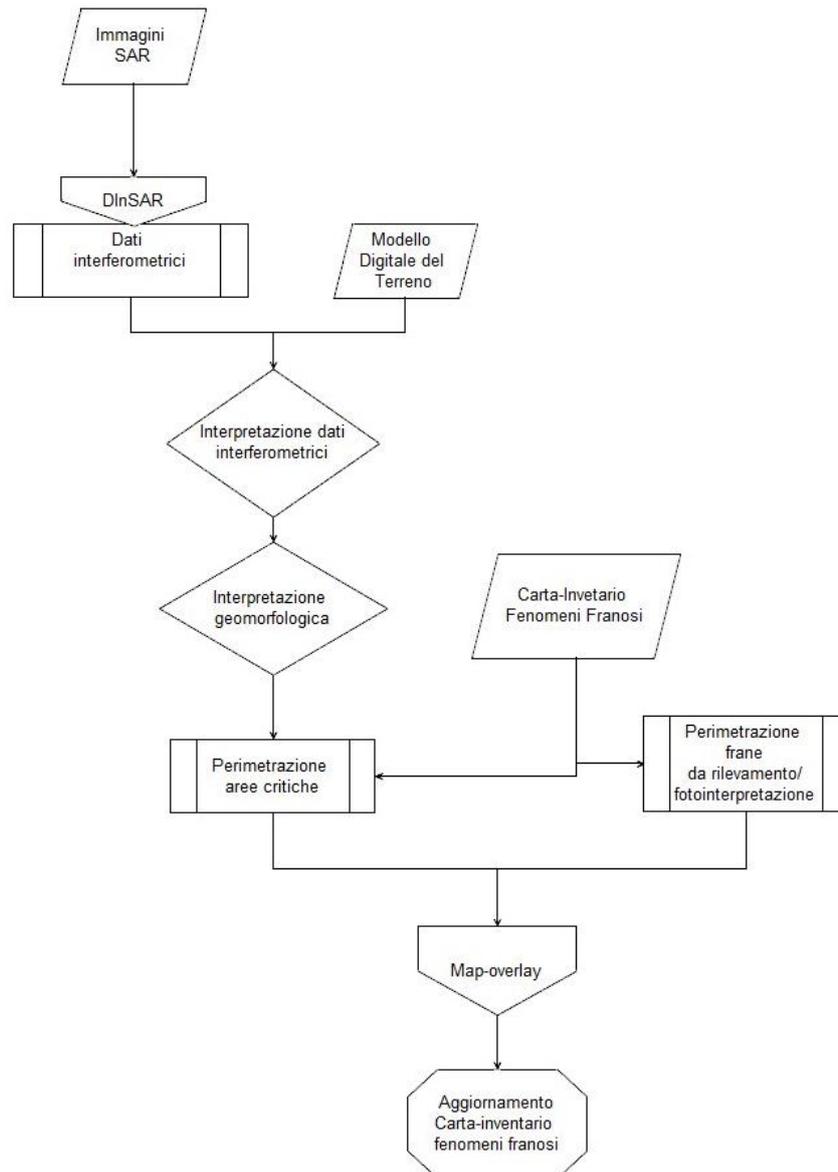


Figura 2.1. Schema logico della procedura LaDIS.

3. Analisi geologico-strutturale e sismotettonica

3.1. Quadro stratigrafico

L'area in esame è parte del margine orientale dell'Avanfossa Bradanica ed è caratterizzata dall'affioramento delle successioni marine e/o transizionali di colmamento dell'avanfossa e di successioni continentali depostesi durante e dopo il suo sollevamento ed emersione (Pieri et al., 1996).

Nell'area in esame e nelle zone limitrofe, il riempimento dell'avanfossa raggiunge spessori di 400-600 m come desumibile dall'esame della Carta del *top* della Piattaforma Apula (Nicolai & Gambini, 2007) e dalla stratigrafia dei pozzi Genzano e Banzi, prossimi al margine appenninico (**Fig. 3.1**). Dalla mappa si evidenzia che l'area di indagine è prossima al margine della Piattaforma Apula che verso O si flette sotto la Catena Appenninica (**Fig. 3.1**). Nello specifico, il *top* della piattaforma apula si dovrebbe localizzare grossomodo attorno ai 5-600 m e 4-500 m sotto il livello topografico, rispettivamente in corrispondenza dell'invaso di monte e di quello di valle.

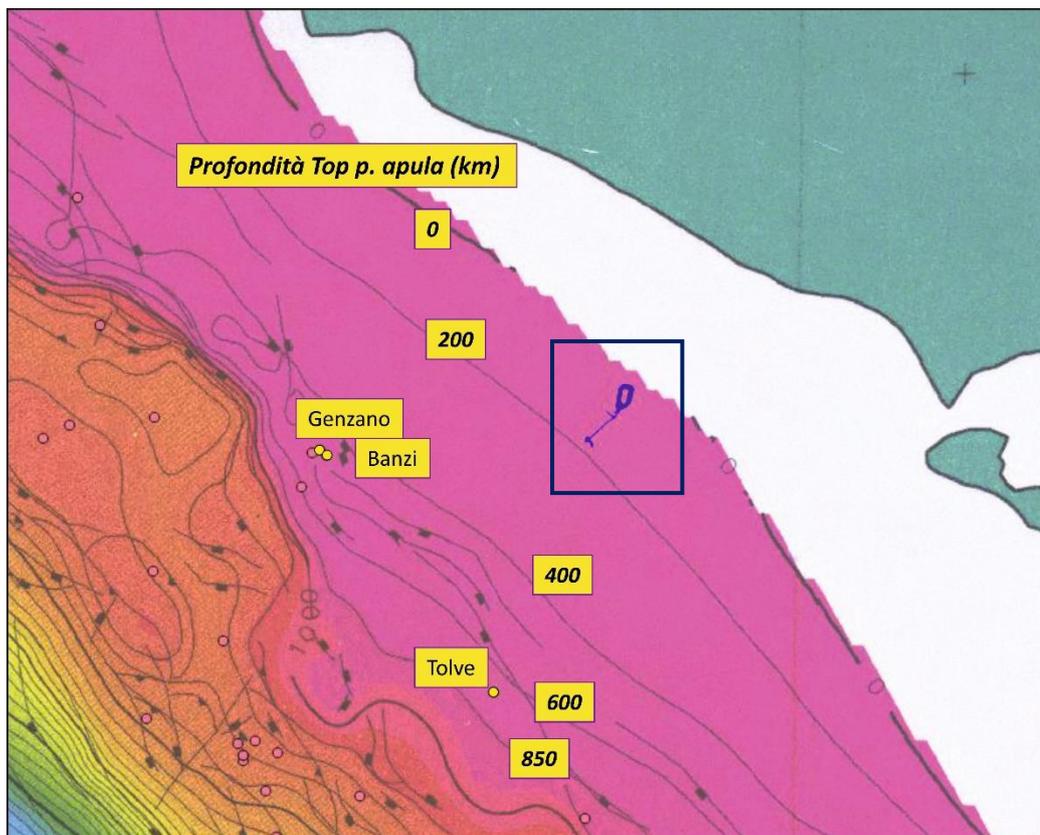


Figura 3.1. Carta strutturale del *top* della Piattaforma Apula (Nicolai & Gambini, 2007) con sovrapposta la zona d'indagine. In evidenza le isobate (in m b.s.l.) del *top* apulo e la posizione dei pozzi Banzi, Genzano e Tolve.

Nell'area di Serra del Corvo la successione bradanica, costituita da differenti formazioni (**Fig. 3.2, Tab. 3.1**) è presente in affioramento per circa 200 m, mentre la restante parte fino al *top* della Piattaforma Apula (*top* dei carbonati meso-cenozoici) si rinviene nel sottosuolo fino a 0-200 m sotto il livello del mare, quindi fino ad oltre 600 m sotto la quota topografica (**Fig. 3.1**).

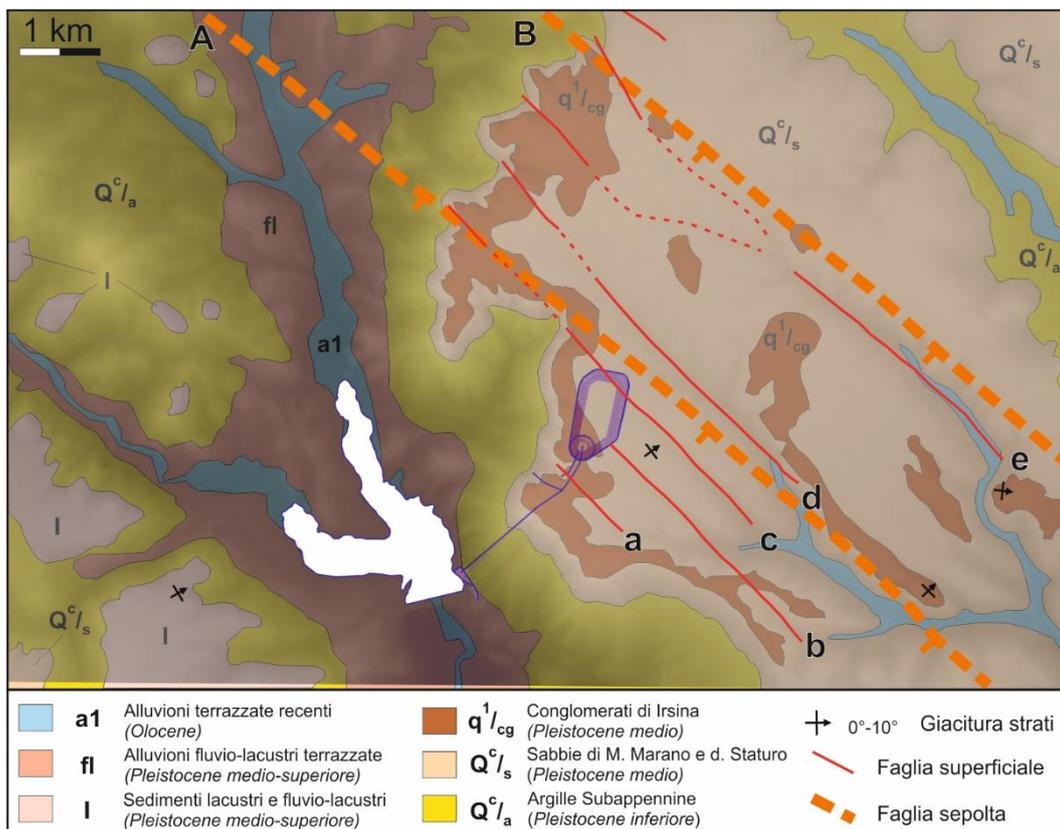


Figura 3.2. Carta Geologica schematica dell'area circostante l'impianto di Serra del Corvo (da Carta Geologica d'Italia, Foglio Gravina in Puglia, scala 1:100.000) sovrapposta al DEM TinItaly (Tarquini et al., 2007). Le lettere A, B si riferiscono alle faglie profonde: "A", faglia sepolta, tratta dal Modello Strutturale d'Italia scala 1:500.000; "B", faglia sepolta, tratta dalla Carta Neotettonica d'Italia scala 1:500.000); le lettere "a", "b", "c", "d" simboleggiano le faglie superficiali riportate nel Foglio Gravina in Puglia. Le sigle corrispondono a quelle in Tabella 3.1. In bianco il bacino di Serra del Corvo.

Il rilevamento speditivo effettuato nell'area dove insistono le opere, assieme all'analisi dei sondaggi, ha permesso di costruire una Carta geologica di maggior dettaglio, modificando in parte i limiti presenti nel Foglio Gravina in Puglia, nonché di aggiungere dati giacaturali per verificare l'assetto stratigrafico-strutturale (**Fig. 3.3**).

La base della successione bradanica affiorante (**Tab. 3.1; Tav. 1A, 1B**) è rappresentata dalla Formazione delle **Argille Grigio-Azzurre** (o Subappennine, localmente note come Argille di Gravina), costituita da emipelagiti argilloso-siltose, a luoghi laminate e con livelli di macrofossili marini (**Fig. 3.4a, b**). Nelle carote si presenta come un'alternanza di livelli grigi chiari, classificabili

come limi argillosi, e grigi scuri di granulometria più fine, argilloso-limosa (**Fig. 3.4b**). L'età è compresa tra Emiliano p.p. e Siciliano (Pleistocene inferiore), sebbene la parte non affiorante possa raggiungere intervalli cronostratigrafici più antichi (Lazzari & Pieri, 2002; CARG, Foglio 471 Irsina scala 1:50.000).

Formazione	Sigla Carta Geologica d'Italia 1:100000	Litologia	Spessore massimo (m)	Età
	a1	alluvioni terrazzate recenti		Olocene
	fl	alluvioni terrazzate antiche di ambiente fluvio-lacustre		Pleistocene medio-superiore
	l	sedimenti lacustri e fluvio-lacustri		Pleistocene medio-superiore
Conglomerati di Irsina	q 1/cg	conglomerati alluvionali poligenici con lenti sabbiose ocracee o rossastre	20	Pleistocene medio p.p.
Sabbie dello Staturo	q 1/s	sabbie fini quarzoso-micacee ocracee o rossastre	45 (Sabbie di M. Marano e dello Staturo)	Pleistocene medio p.p.
Sabbie di M. Marano	Q c/s	sabbie fini calcareo-quarzose giallastre-avane, loc. livelli arenacei, calcari farinosi, lenti conglomeratiche e livelli macrofossili		Siciliano- Pleistocene medio p.p.
Argille Grigio-Azzurre (o Subappennine)	Q c/a	argille grigio-azzurre più o meno siltose e sabbiose, macrofossilifere	460-560	Emiliano p.p.-Siciliano

Tabella 3.1. Quadro stratigrafico dell'area di studio.

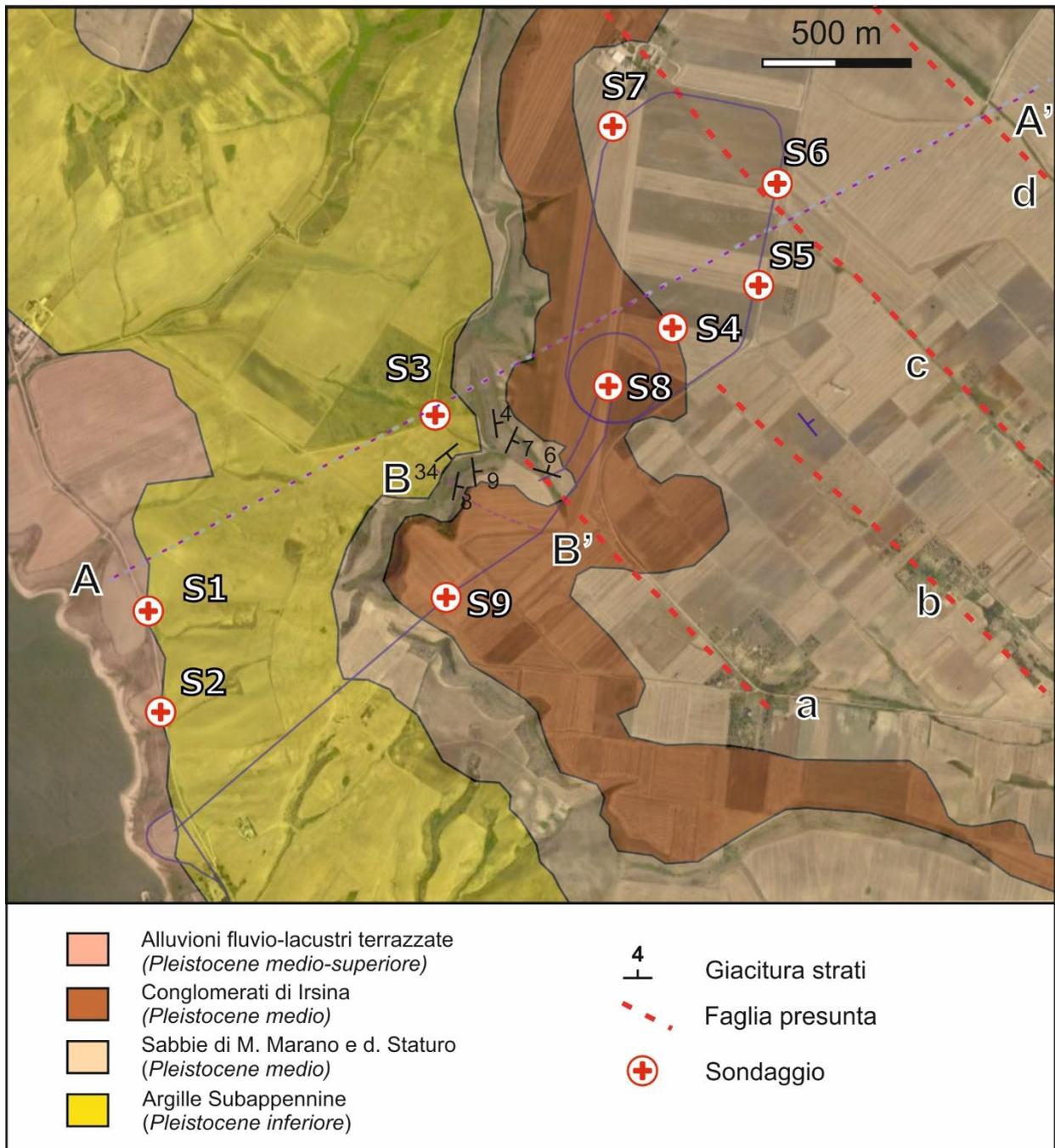


Figura 3.3. Carta Geologica dell'area dell'impianto di Serra del Corvo (modificata da Carta Geologica d'Italia, Foglio Gravina in Puglia, scala 1:100.000, e integrata con dati giacaturali originali). Le lettere "a", "b", "c", "d" simboleggiano le faglie superficiali riportate nel Foglio Gravina in Puglia. Sono mostrate la traccia delle sezioni AA' (Tav. 1A) e BB' (Tav. 1B) e l'ubicazione di alcuni sondaggi.



Figura 3.4. a) livello macrofossilifero nella parte sommitale delle Argille Grigio-Azzurre alla base di M. Marano (coord. 605989 E, 4523686 N); b) parte alta delle stesse nel sondaggio S3.

Alle Argille Subappennine seguono depositi regressivi sabbioso-conglomeratici raggruppabili in tre Formazioni (**Tab. 3.1; Tav. 1A**). La più bassa è la Formazione delle **Sabbie di M. Marano** (la sezione-tipo deriva da un rilievo presente nell'area in esame, **Fig. 3.3**), formate da sabbie calcareo-quarzose giallastre e avana ben classate di ambiente marino-transizionale, con sporadici livelli di arenarie, calcari farinosi e lenti conglomeratiche **Fig. 3.5**), di età compresa tra il Siciliano e il Pleistocene medio p.p. (Lazzari & Pieri, 2002; 0,65-0,66 Ma secondo Patacca & Scandone, 2007). Le sabbie cementate (arenarie) spiccano grazie all'erosione differenziale (**Fig. 3.5a**) e sono caratterizzate dalla presenza di strutture sedimentarie (laminazione incrociata, controimpronte da flusso e trascinamento; **Fig. 3.5b, c**). I livelli di microconglomerati e calcareniti molto cementate (**Fig. 3.5d**) si rinvengono in particolare nella parte bassa della successione. Nella parte alta sono frequenti livelli e plaghe di *caliche*.

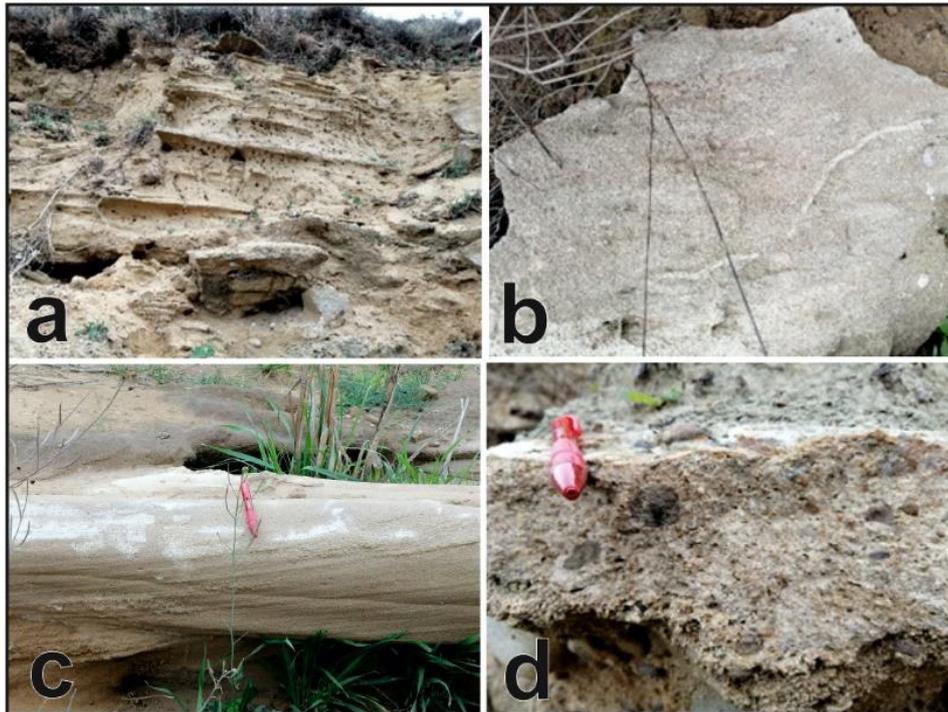


Figura 3.5. Litofacies nelle Sabbie di M. Marano: a) alternanze di livelli cementati e sciolti; b) controimpronte da flusso; c) laminazione incrociata; d) microconglomerato basale.

Come osservato alla base di M. Marano, il contatto basale con le sottostanti argille limose è netto e presenta una ben rilevabile discordanza angolare, marcata da un livello di conglomerati mal assortiti (**Fig. 3.6**). L'angolo di discordanza calcolato mediante proiezione stereografica è di circa 5°.

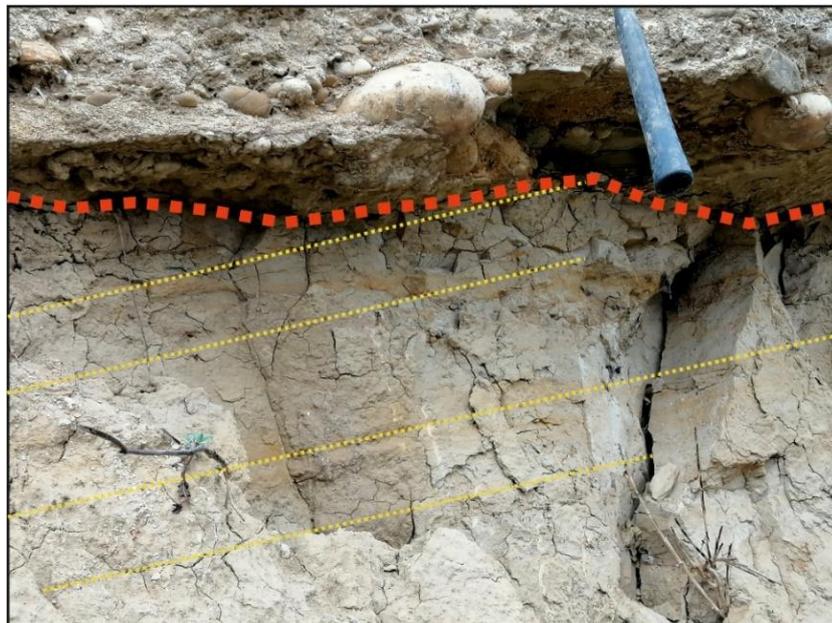


Figura 3.6. Discordanza angolare al passaggio tra i limi argillosi (Argille Grigio-Azzurre, in basso) e conglomerati alla base delle Sabbie di M. Marano (in alto). Le linee sottili gialle marcano la laminazione nei limi, la linea spessa rossa evidenzia la discordanza angolare.

Come desunto dai sondaggi effettuati per le opere in progetto, alle sabbie giallastre si intercalano sabbie ocracee meno classate che dovrebbero rappresentare i termini della Formazione delle Sabbie dello Staturò, di ambiente transizionale e continentale. L'intercalazione rilevata nei sondaggi riflette un contatto di natura eteropica e parzialmente verticale, noto in letteratura. Le intercalazioni di sabbie ocracee, che talora contengono ciottolame di natura e spessore variabile (**Fig. 3.7**), sono più frequenti nella parte alta dei sondaggi, testimoniando la progressiva tendenza regressiva. Sulla base dei calcoli stratinomici e dei carotaggi, l'insieme delle sabbie di M. Marano e dello Staturò raggiunge spessori massimi di circa 45 m.



Figura 3.7. Intercalazione di conglomerati mal classati nelle sabbie ocracee della Formazione delle Sabbie dello Staturò.

I sondaggi rilevano inoltre la presenza, nella parte mediana delle sabbie, di un'intercalazione lentiforme di alternanze limoso-argillose e argilloso-limose, a luoghi limoso-sabbiose, talora ricche in bivalvi, con spessori da 10 (sondaggio S8) fino a circa 15 m (sondaggi S4, S6) (**Tab. 1**). Il passaggio alla parte superiore delle sabbie è intercalare con livelli limosi nelle sabbie. La presenza di questa lente, probabilmente una caratteristica locale di quest'area, non era finora nota in letteratura. La presenza della lente di argille è stata altresì evidenziata dalle prospezioni geofisiche (ERT e tomografie sismiche; Censini, 2021), che mostrano rispettivamente un livello a bassa velocità e una diminuzione della resistività in corrispondenza della lente evidenziata dai sondaggi. Il limite meridionale di questa lente potrebbe coincidere con un contrasto laterale di resistività e velocità nelle sezioni geofisiche (Censini, 2021).

Chiude la successione regressiva la Formazione dei Conglomerati di Irsina (**Tab. 1; Fig. 3.2**), rappresentata nell'area da conglomerati alluvionali poligenici (**Fig. 3.8**) e lenti sabbiose ocracee o rossastre, di ambiente continentale, in parziale eteropia con le sottostanti Sabbie dello Staturò e di

M. Marano (cfr. Sabato et al., 2004). La formazione, con spessore massimo di 20 m, ma solo fino a pochi m nei sondaggi a causa di fenomeni erosivi (**Tav. 1A**), è attribuita al Pleistocene medio p.p. (Lazzari & Pieri, 2002; 0,65 Ma secondo Patacca & Scandone, 2007). La sommità della formazione rappresenta la paleosuperficie regressiva (ovvero superficie di emersione policiclica) dell'avanfossa, che si attesta attualmente a una quota di circa 480 m nell'area (**Tav. 1A, 1B**).



Figura 3.8. Conglomerati di Irsina in affioramento presso l'invaso di monte (a) e al M. Marano (b).

La successione regressiva è seguita da depositi post-regressivi di ambiente continentale. Si tratta di alluvioni fluvio-lacustri terrazzate antiche e recenti e di sedimenti lacustri, deposti nelle incisioni e alla base dei versanti dove affiora la successione di avanfossa (**Fig. 3.2; Tab. 3.1**). La loro deposizione è dunque da riferire ad episodi successivi agli eventi sedimentari caratterizzanti le fasi di colmamento del bacino e di emersione della paleosuperficie regressiva. Il sollevamento della successione di avanfossa è stato, infatti, accompagnato da una progressiva incisione e denudazione del rilievo che, interagendo con le oscillazioni climatiche del livello di base, ha consentito la formazione dei terrazzi fluviali e fluvio-lacustri. Un'analisi preliminare ha permesso di distinguere

almeno due ordini di terrazzi posti a circa 280 e 310 m s.l.m. (**Tav. 1A**). Le sabbie limose biancastro-nocciola che si rinvennero nel sondaggio S1, con spessore di circa 4 m, sono considerati il deposito fluvio-lacustre collegato al terrazzo di I ordine. Lembi di superfici terrazzate di tipo erosivo (*strath terraces*) di origine fluviale e lacustre si rinvennero, inoltre, fino a circa 390-400 m di quota.

3.2. Assetto strutturale

La successione stratigrafica regressiva si presenta interessata da un modesto basculamento verso E in direzione delle Murge. Questo basculamento ha provocato la preservazione di lembi dei Conglomerati di Irsina solo sul ciglio dell'altopiano di M. Marano a formare il contorno sommitale della "meseta".

Il valore di basculamento alla scala dell'area di indagine è desumibile dalla giacitura della base delle Sabbie di M. Marano (**Tav. 1A, 1B**) ed è stimabile in circa 1°. Un valore maggiore di basculamento a scala locale è fornito dall'analisi dei dati giacitureali raccolti in campagna nelle Sabbie di M. Marano, e risulta di circa 5° verso l'azimuth N76°E (**Fig. 3.9**). La discordanza angolare evidenziata in precedenza tra le Argille Grigio-Azzurre e le Sabbie di M. Marano (**Fig. 3.6**) suggerisce che il processo di basculamento sia stato di tipo continuo. Tale processo è probabilmente da porre in connessione con l'inizio del sollevamento e la conseguente deposizione della successione regressiva iniziata con le Sabbie di M. Marano, e sia proseguito dopo la deposizione delle sabbie.

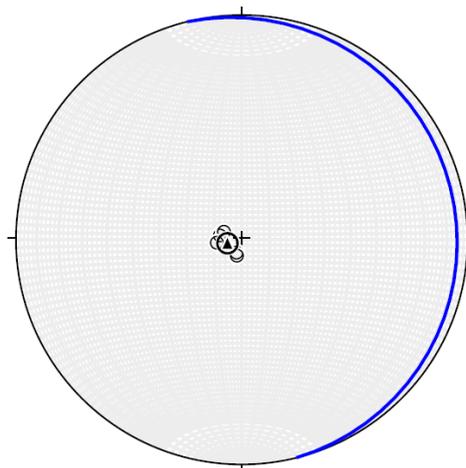


Figura 3.9. Proiezione equiareale, emisfero inferiore, dei poli alle giaciture (cerchi) nelle Sabbie di M. Marano ($n=6$). Il triangolo rappresenta il vettore medio ($256^\circ/85^\circ$), la ciclografica blu il piano medio di giacitura (immersione $076^\circ/05^\circ$).

Il Foglio Gravina in Puglia della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, riporta nell'area in esame un fascio di faglie normali subparallele a orientazione NO-SE (**Fig. 3.2**). Il fascio è costituito da quattro faglie (siglate da "a" a "d" in **Fig. 3.2**) di lunghezza massima <6 km e spaziatura abbastanza

regolare (<1 km). Una quinta faglia subparallela alle altre (siglata come "e") è riportata 2 km a NE della più orientale dell'area in esame (**Fig. 3.2**). Le faglie in questione, sempre sulla base della cartografia ufficiale, avrebbero rigetti cumulativi contenuti (ordine metrico o decametrico). L'inclinazione delle faglie è stata stimata di 70° verso O (**Tav. 1A**) sulla base della sezione geologica n. II presente nel Foglio Gravina in Puglia. Le faglie "a", "b", "c" interagiscono direttamente con le opere in progetto, che comunque sarebbero posizionate nel tetto della faglia "d". Tali faglie non hanno evidenza strutturale sul campo (in ragione dei litotipi di scarsa competenza nei quali si enucleano), ma solo geomorfologica (controllo sul reticolo fluviale).

La faglia "d", posta a soli 500 m dallo spigolo NE del bacino di monte, è posta circa 250 m a NE di una faglia sepolta lunga circa 50 km e immergente a SO, riportata dal Modello Strutturale d'Italia scala, 1:500.000 (faglia "A", **Fig. 3.2**). Sebbene non indicato, è verosimile che la faglia interessi la Piattaforma Apula in profondità, che nella zona del bacino di monte, si attesta attorno al livello del mare (**Fig. 3.1**), dunque a soli circa 500 m sotto la superficie topografica. Pertanto, è certo, sotto l'aspetto trigonometrico, restituendo un valore di inclinazione di circa 65° per la faglia, il collegamento diretto tra la faglia superficiale "d" e la faglia sepolta "A" (e probabilmente anche delle faglie superficiali "a", "b", "c", che rappresenterebbero assieme alla "d" il ventaglio degli *splay* superficiali). In tale ricostruzione le faglie superficiali sarebbero radicate nella Piattaforma Apula e connesse alla sua flessurazione. La faglia "A" sarebbe stata quindi riattivata anche dopo la flessurazione dell'Avampaese Apulo ed il colmamento del bacino di avanfossa creato dalla flessurazione, manifestandosi in superficie attraverso il fascio di faglie "a"-*e*".

In ogni caso, la correlazione tra sondaggi e l'andamento dei limiti stratigrafici riportato nella cartografia ufficiale e in parte verificato sul campo suggerisce che i rigetti cumulativi successivi al Pleistocene medio siano di ordine metrico o sub-metrico (**Tav. 1A**). Questa ipotesi è supportata dai limitati contrasti di resistività desumibili nelle sezioni ERT di dettaglio (Censini, 2021).

La Carta Neotettonica d'Italia (scala 1:500.000) indica la presenza di due faglie normali a carattere regionale poste a NE dell'area di studio, e similmente immergenti a O. La prima di queste (faglia "B") è localizzata circa 5 km a NE della faglia "A" (**Fig. 3.2**). Questa faglia, per la quale la Carta Neotettonica suggerisce un'attività "recente", sulla base delle stesse considerazioni trigonometriche espresse per la faglia A, rappresenta con buona verosimiglianza la prosecuzione sepolta della faglia superficiale "e". La seconda, posizionata a circa 7.5 km dalla faglia "A", corrisponde al bordo morfostrutturale dell'altipiano murgiano ed è nota in letteratura come Faglia di Gravina di Puglia.

La dislocazione lungo queste faglie maestre potrebbe essere responsabile del basculamento delle successioni presenti nel loro letto ed affioranti nell'area in esame, come evidenziato in precedenza (**Fig. 3.9**).

3.3. Faglie attive e capaci e sorgenti sismogenetiche

I cataloghi esistenti delle faglie attive e capaci e delle sorgenti sismogenetiche non riportano elementi nella zona di Serra del Corvo. Tuttavia, esistono faglie e sorgenti in zone limitrofe che devono essere prese in considerazione ai fini della valutazione del potenziale di riattivazione delle eventuali faglie presenti nell'area delle opere in progetto.

Senza considerare la faglia sepolta "B" per la quale non esistono elementi dettagliati di valutazione, la faglia di Gravina di Puglia, citata nella sezione precedente, rappresenta la faglia potenzialmente attiva più prossima alla zona in esame (**Fig. 3.10**). Il catalogo GNDT delle faglie attive (Cinque et al., 2000; Galadini et al., 2000) riporta per la faglia di Gravina di Puglia una lunghezza di 30 km, un limitato tasso di scorrimento (<0.1 mm/a) e una supposta attività nel Pleistocene Medio-Attuale (?). L'area di Serra del Corvo è posta a circa 8 km dalla parte centrale della faglia (dove teoricamente si attendono gli scorrimenti massimi) e risiede nel suo tetto (**Fig. 3.10**), quindi in posizione più suscettibile di scuotimento. Sulla base delle considerazioni di cui sopra, non si esclude che le faglie "a"- "d" che insistono nell'area di progetto (**Fig. 3.2**) possano essere considerate "capaci" di riattivazione in occasione di un evento sismico sulla Faglia di Gravina (ed eventualmente sulla faglia "B"). In ogni caso, come discusso nella sezione precedente, sulla base dei rigetti cumulativi metrici o sub-metrici, i rigetti cosismici ipotizzabili possono essere considerati minimi.

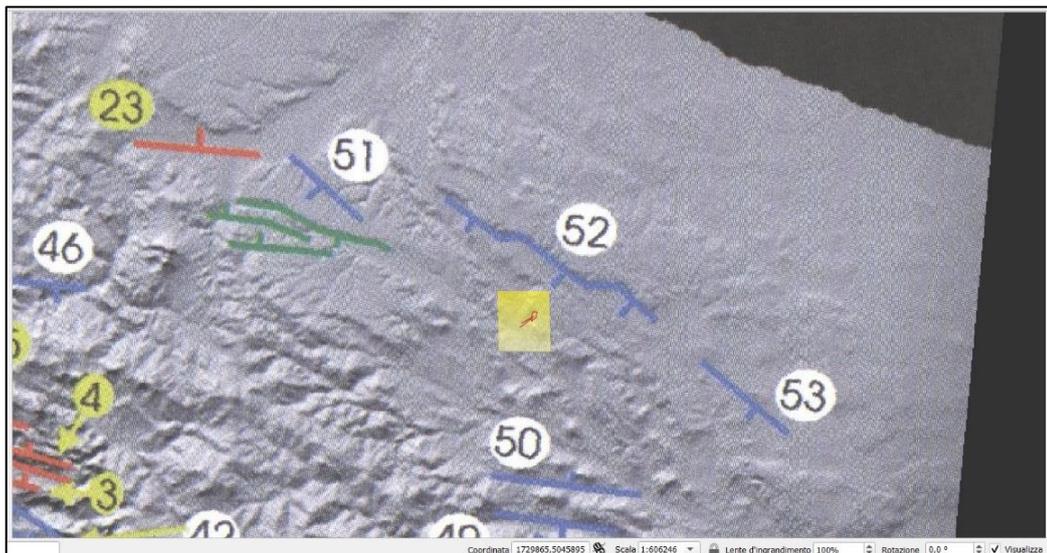


Figura 3.10. Stralcio della Carta delle faglie attive in Italia meridionale secondo il catalogo GNDT (Cinque et al., 2000). L'elemento n. 52 corrisponde alla Faglia di Gravina di Puglia, posta a NE dell'area in esame; l'elemento n. 51 è la Faglia del Torrente Matinella.

Nel catalogo delle faglie capaci ITHACA, gli elementi più prossimi all'area di Serra del Corvo sono poste a NO di essa e coincidono con la parte settentrionale del bordo murgiano verso l'avanfossa

(**Fig. 3.11a**). In particolare, Serra del Corvo dista circa 35 km dalla terminazione SE della Faglia Foggia-Cerignola Sud che rappresenta la prosecuzione settentrionale della Faglia di Gravina di Puglia (**Fig. 3.11b**). Alla prima faglia, lunga circa 36 km e con cinematica normale, è assegnata un'attività storica (<3 ka) sulla scorta della sismicità storica e sull'evidenza di dislocazione di depositi e forme del Pleistocene superiore-Olocene (Patacca & Scandone, 2001). La faglia è considerata "a segmento singolo", quindi potenzialmente in grado di attivarsi per l'intera sua lunghezza. Questa faglia in parte corrisponde (sebbene sfalsata di qualche km a NE in pianta) alla faglia n. 51 del catalogo GNDT (**Fig. 3.10**), nota come Faglia del Torrente Matinella, considerata attiva nel Pleistocene Medio-Attuale (?) con tasso di scorrimento <0.1 mm/a (Cinque et al., 2000).

È importante a tal riguardo precisare che il prof. Ferranti, responsabile per gli aspetti geologico-strutturali di questo gruppo di lavoro, nella sua qualità di consulente esterno per la revisione del catalogo ITHACA, è a conoscenza del fatto che il catalogo è attualmente in aggiornamento e che diverse altre faglie saranno inserite nel settore murgiano.

Nell'area di Serra del Corvo non si conoscono faglie sismogenetiche, sebbene queste siano riportate in territori limitrofi (vedi catalogo delle sorgenti sismogenetiche DISS 3.2.1 dell'INGV - <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>). In particolare, l'area di Serra del Corvo ricade circa 12 km a S della terminazione orientale della sorgente sismogenetica ITCS089 "Rapolla-Spinazzola", e circa 22 km a N della parte centrale della sorgente ITCS005 "Baragiano-Palagianello" (**Fig. 3.12**). In entrambi i casi si tratta di sorgenti composite, ossia sorgenti per le quali non è precisabile la geometria di tutte le singole sorgenti che le costituiscono. Queste sorgenti composite sono orientate all'incirca E-O, e sono tipiche del quadro sismotettonico dell'avampaese e dell'avanfossa sudappenninica, che contengono sistemi di faglie profonde (12-23 km) radicate nella Piattaforma Apula, a carattere trascorrente o transtensivo destro su piani E-O. A queste sorgenti sono attribuite dal catalogo DISS *magnitudo* attese da moderate a forti (fino a Mw 5.8 per la "Baragiano-Palagianello" e Mw 6.3 per la "Rapolla-Spinazzola"). I tempi di ricorrenza di queste sorgenti sono difficilmente stimabili, ma verosimilmente sono di diverse migliaia di anni. Poco vincolato è anche il tasso di scorrimento (0,1-0,5 mm/a, basato su vincoli geodinamici, secondo il catalogo DISS).

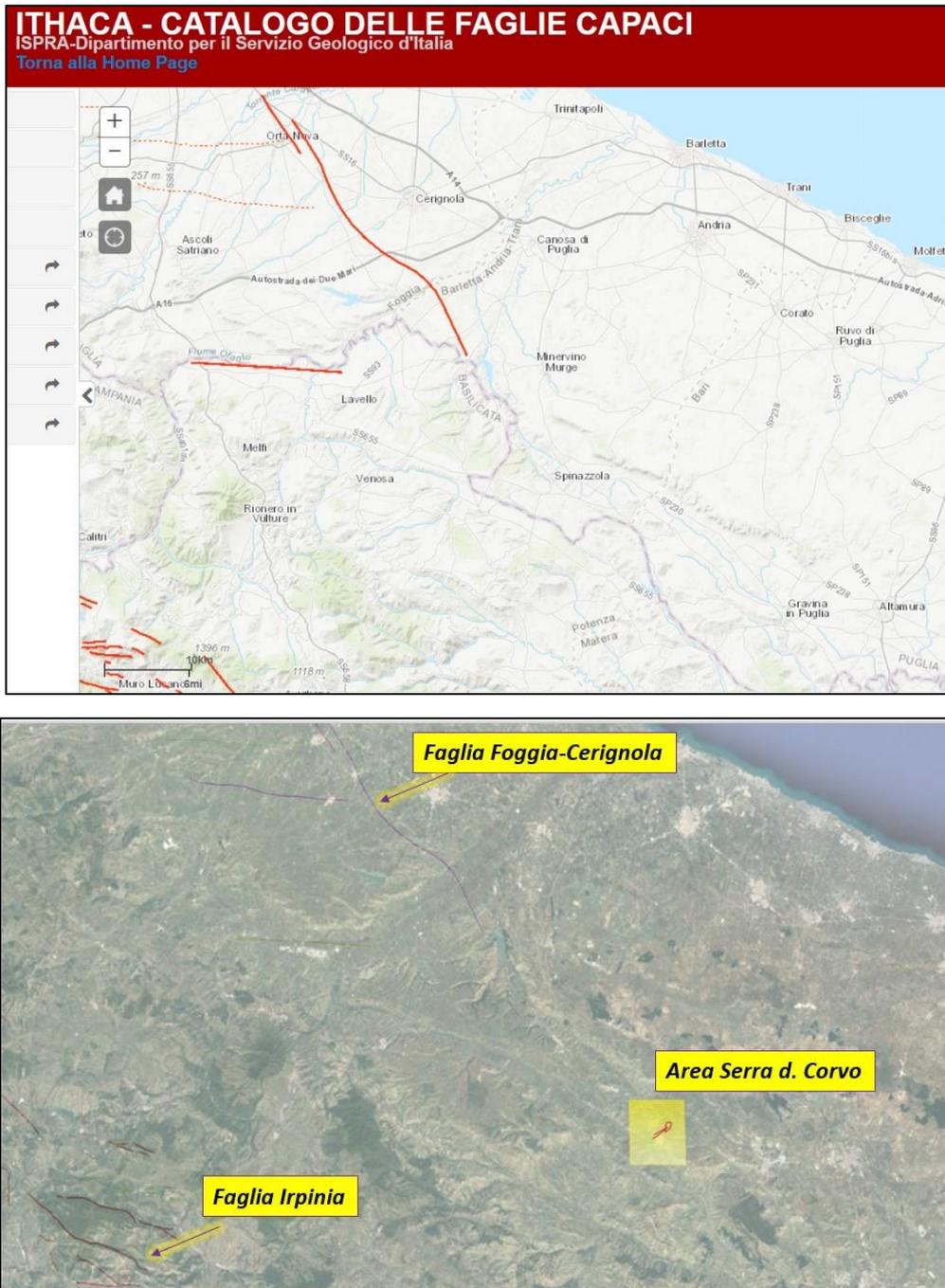


Figura 3.11. a) Faglie capaci presenti nel catalogo ITHACA (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>) nel settore apulo-appenninico centro-settentrionale più prossime al territorio di Serra del Corvo; b) faglie capaci principali di ITHACA nelle aree limitrofe a Serra del Corvo.



Figura 3.12. Stralcio dal catalogo INGV-DISS delle sorgenti sismogenetiche nel settore che comprende l'area di indagine.

3.4. Sismicità e deformazione attiva

L'area in esame ricade in un settore dell'Appennino caratterizzato da livelli di attività sismica bassa, come testimoniato dal catalogo parametrico dei terremoti italiani per la finestra temporale 1000-2019 CE e per le soglie di ingresso dei terremoti, con intensità massima 5 o *magnitudo* 4.0 (**Fig. 3.13**).

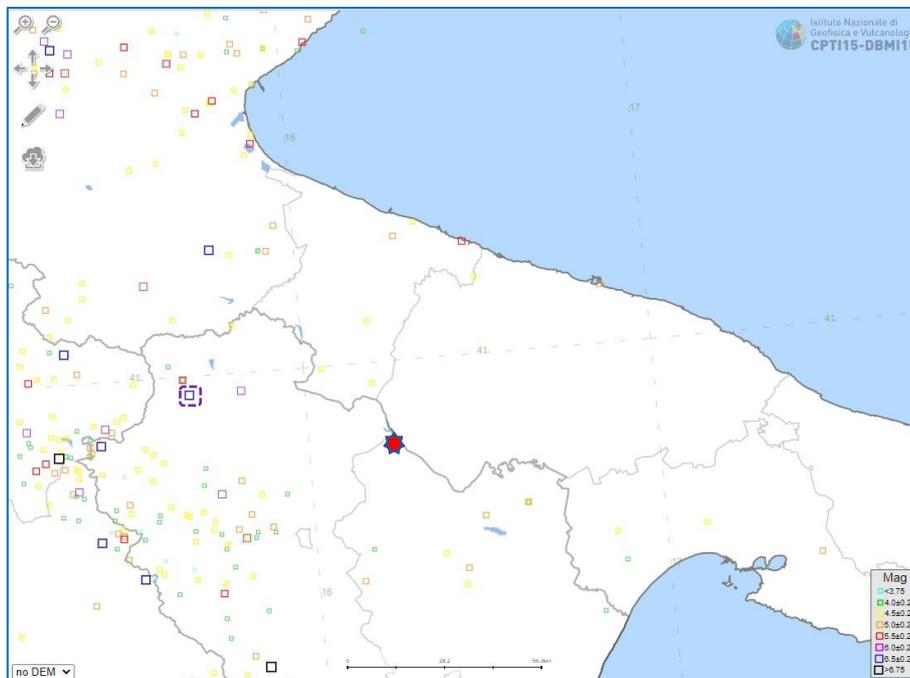


Figura 3.13. Sismicità storica nel settore contenente l'area di indagine (stella rossa) dal catalogo INGV-CPTI15 (Rovida et al., 2021). Il riquadro tratteggiato blu indica l'epicentro macrosismico del terremoto del 1851.

A partire da metà 1800, da quando si hanno dati disponibili per Gravina in Puglia (località quotata più prossima all'invaso) l'area ha sperimentato intensità macrosismiche fino al 7 grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), in occasione del terremoto Mw 6.67 del 1930 in Irpinia (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>) (**Fig. 3.14**). Si ritiene che questo terremoto si sia enucleato sulla sorgente ITIS088 "Bisaccia", posta immediatamente a O della sorgente Rapolla-Spinazzola, a una distanza minima di 53 km dall'area di Serra del Corvo (**Fig. 3.12**). La parte occidentale della sorgente Rapolla-Spinazzola (come sorgente individuale), ritenuta responsabile del terremoto del Vulture del 1851, con Mw 6.3 e scorrimento cosismico (trascorrente) stimato fino a 0,66 m (DISS WG, 2015), ha provocato un'intensità MCS di 6 a Gravina in Puglia (**Fig. 3.14**). L'epicentro macrosismico di questo terremoto è situato circa 50 km a NO dell'area di Serra del Corvo (**Fig. 3.13**). Livelli comparabili di intensità macrosismica (6-7 della MCS) si sono verificati in occasione del terremoto del Gargano del 1948, enucleato da una sorgente posta a circa 90 km a N dell'area in esame. In sintesi, l'area di Serra del Corvo non coincide con la localizzazione di sorgenti sismogenetiche, bensì risente di eventi enucleati su sorgenti più o meno remote localizzate sia nella Catena Appenninica che nell'Avampaese Apulo sepolto o in affioramento, con livelli paragonabili di intensità macrosismica.

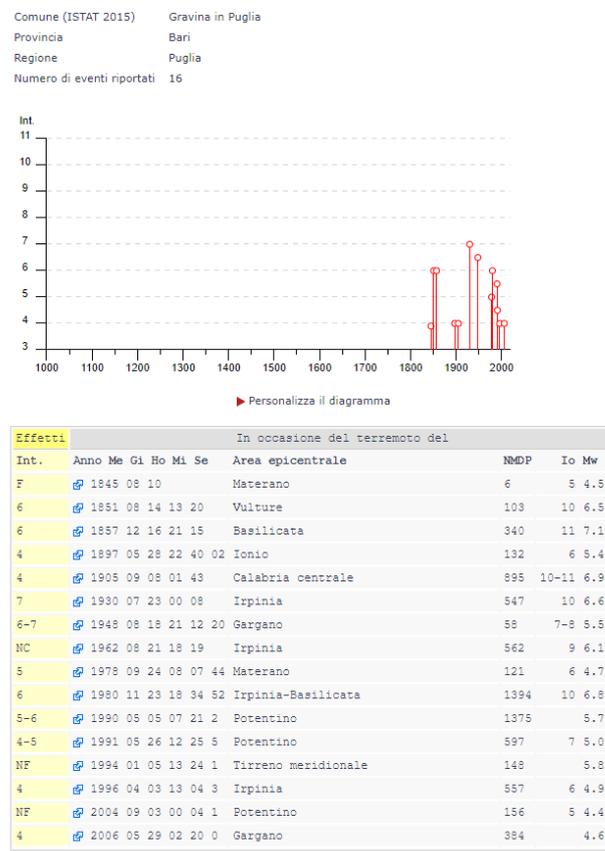


Figura 3.14. Stralcio dal catalogo INGV-DBMI15 delle intensità macrosismiche relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 per la località di Gravina in Puglia.

Più indietro nel tempo, il forte terremoto più prossimo all'area di Serra del Corvo è quello del 20 marzo 1731 (Mw 6.33), noto come terremoto del Tavoliere delle Puglie, con epicentro localizzato circa 62 km a NO dell'area di indagine (**Fig. 3.15**). Nonostante il campo sia aperto a SE per la mancanza di dati, un'intensità intorno a 7 MCS è ipotizzabile per l'area di Serra del Corvo.

L'epicentro del terremoto del 1731 coincide spazialmente con la Faglia Foggia-Cerignola Sud (**Fig. 3.16**), riportata, come visto nella sezione precedente, nel Catalogo ITHACA delle faglie attive e capaci.

Negli ultimi 20-30 anni il tasso di sismicità con localizzazione epicentrale nel territorio di Gravina in Puglia ed aree limitrofe è stato relativamente basso. La zona attorno a Serra del Corvo è caratterizzata da una sismicità di fondo, da eventi sparsi come quello di Altamura del 1988 (Mw 3.4), 33 km a ESE, e da sequenze sismiche come quella di Castel del Monte del 1991 (Mw_{max} 3.1), 26 km a NNE dell'area (**Fig. 3.17**). Questi eventi si attestano tra i 13-20 km. I meccanismi focali calcolati per i due eventi principali (**Fig. 3.17**) sono compatibili sia con l'attivazione di faglie trascorrenti destre ad orientazione E-O, come nel caso dell'evento principale della sequenza di Altamura, sia con quella di faglie normali orientate NNO-SSE come quelle del bordo murgiano (**Fig. 3.10, 3.11**) e dell'area di M. Marano (**Fig. 3.2**).

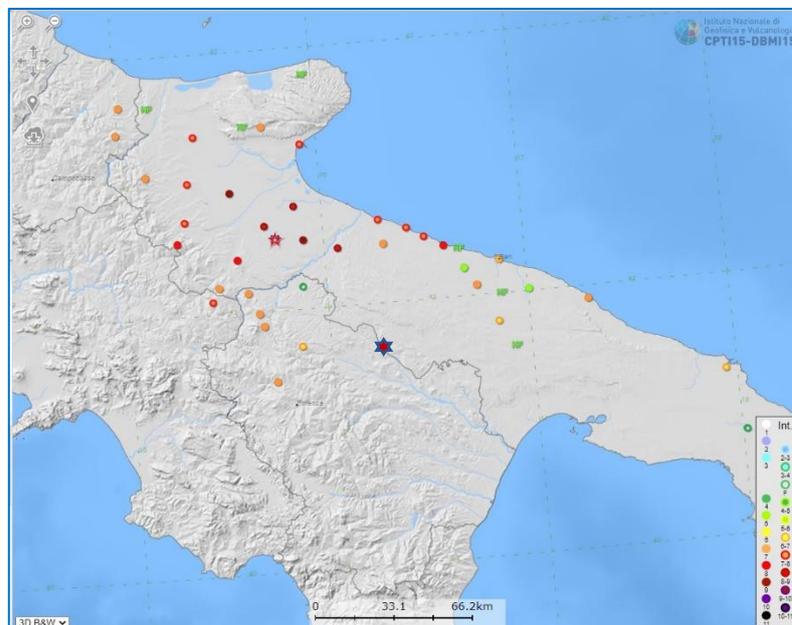


Figura 3.15. Campo macrosismico del terremoto del 20 marzo 1731 dal catalogo INGV-CPTI15 (Rovida et al. 2021). La stella rossa indica la localizzazione dell'area di Serra del Corvo.

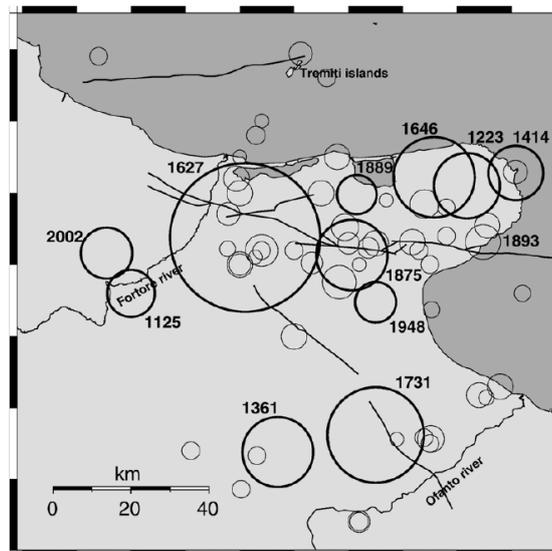


Figura 3.16. Sismicità storica del settore garganico e del Tavoliere delle Puglie. I cerchi sono proporzionali ai volumi focali calcolati secondo la formula di Bath & Duda (1964) per i terremoti estratti dal catalogo CPTI04 (Del Gaudio et al., 2007).

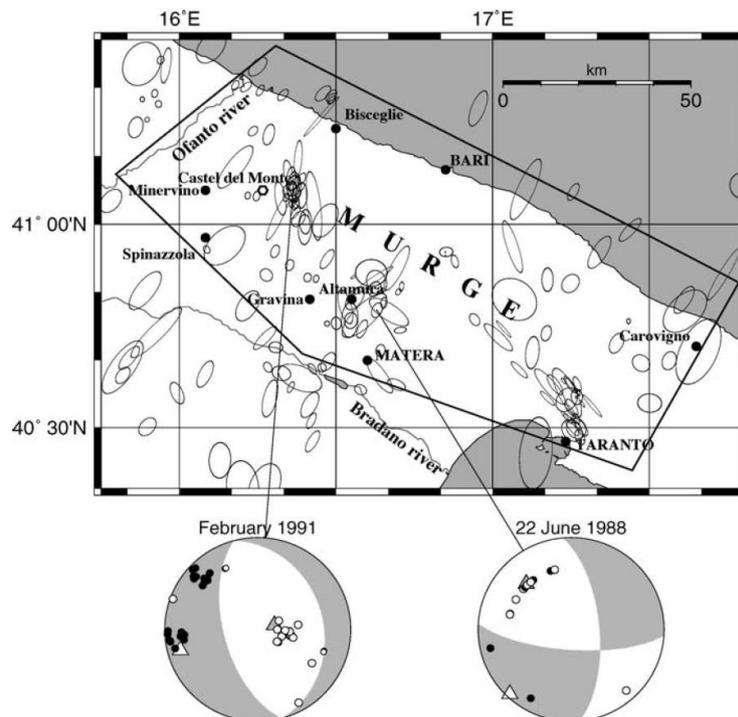


Figura 3.17. Eventi sismici nel settore murgiano con ellissi di errore. In basso i meccanismi focali calcolati per l'evento di Altamura del 1988 e per la sequenza di Castel del Monte del 1991 (Del Gaudio et al., 2005).

Le misure di geodesia GNSS forniscono informazioni sull'attuale tasso di accumulo di *strain* che potrebbe essere del tutto o in parte rilasciato nel corso di futuri terremoti. L'inversione di dati geodetici derivanti da una combinazione di stazioni permanenti (2001-2011) e discrete (1995-2010)

documenta che l'area ricade in una fascia di limitato *strain* volumetrico positivo (dilatazione ad asse da NE-SO a ENE-OSO) compreso tra 10-25 nanostrain/a, e di *shear strain* di 15-20 nanostrain/a (Ferranti et al., 2014). In termini di confronto, questi valori sono posti a NE della fascia di massima dilatazione nella zona assiale della Catena, dove si raggiungono valori di 70-80 nanostrain/a (M. Marzano e Val d'Agri) (**Fig. 3.18**).

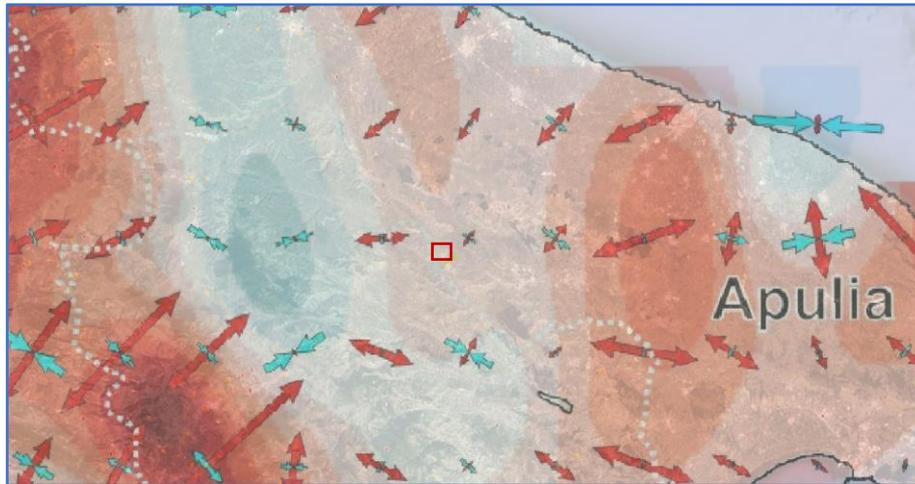


Figura 3.18. Distribuzione epicentrale del campo di strain geodetico areale nell'Appennino campano-lucano (da Ferranti et al., 2014). Il rettangolo rosso indica approssimativamente l'area di studio.

La pericolosità sismica dell'area in esame è dunque legata alla sua contiguità con le strutture sismicamente più attive poste a SO nella zona assiale della Catena. Queste concorrono, con la loro frequenza di attivazione, a influenzare la probabilità di occorrenza di scuotimenti sismici. Le stime basate sulla sismicità storica indicano che intensità macrosismiche del 7 grado MCS e accelerazioni di picco del suolo (PGA) tra 0.11 e 0.13 g hanno una probabilità del 10% di essere superati nell'arco di 50 anni (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/basilicata.html) (**Fig. 3.19**).

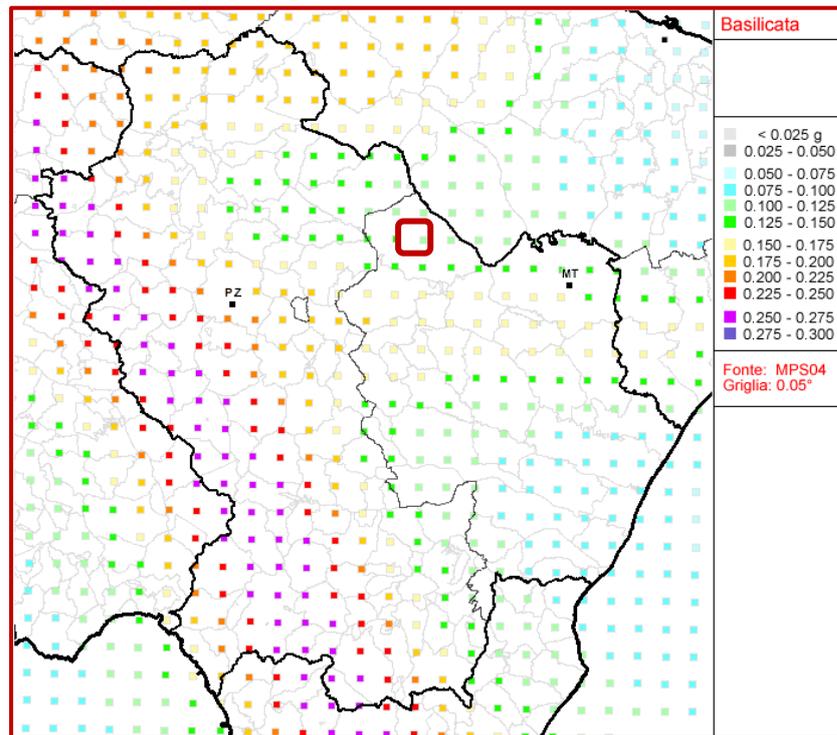


Figura 3.19. Pericolosità sismica di riferimento per la Basilicata. Il riquadro rosso indica approssimativamente l'area di studio.

4. Studio dei fenomeni d'instabilità di versante

L'area di studio è localizzata nel settore di monte del Torrente Basentello e comprende i versanti che costituiscono la sponda sinistra dell'invaso artificiale denominato Lago di Serra del Corvo e la cima del rilievo tabulare associato (**Fig. 4.1**). Detti versanti, degradanti prevalentemente verso O e SO, rappresentano un dominio geomorfologico (inferiore) ben definito in cui i processi agenti e la loro differenziazione spaziale è strettamente correlata con l'assetto geologico locale. L'area di testata del rilievo tabulare è da considerarsi come un dominio a se stante (superiore) in cui agiscono processi diversificati rispetto alle aree di versante, principalmente a causa delle caratteristiche topografiche.

Il dominio geomorfologico inferiore è caratterizzato da versanti impostati sulle rocce della formazione delle Argille Grigio-Azzurre a cui si sovrappongono in sequenza le Sabbie di M. Marano, le Sabbie dello Staturo e i Conglomerati di Irsina. La stratificazione si presenta generalmente a debole reggipoggio verso E, cosicché l'acclività dei versanti varia in funzione delle caratteristiche delle rocce esposte a quella quota (**Fig. 4.1, 4.2**). In particolare, acclività fino a 30° si osservano nei settori superiori più inclinati, corrispondenti all'esposizione in affioramento delle formazioni sabbiose. Acclività intorno a 10° si osservano nei settori inferiori dominati dalla formazione delle Argille Grigio-Azzurre. Tale assetto stratigrafico-strutturale e morfologico rappresenta una condizione tipica, predisponente rispetto allo sviluppo di frane da scorrimento rotazionale e colata di terra. Tali fenomeni, unitamente a fenomenologie di instabilità diffusa, dominano il paesaggio del dominio

geomorfologico inferiore dell'area di studio, esprimendosi con scarpate di dimensioni metriche nelle porzioni superiori dei versanti e con ondulazioni e canali di drenaggio longitudinali di recente incisione nelle porzioni inferiori (**Fig. 4.2**).



Figura 4.1 – Panoramica dei versanti che costituiscono la sponda sinistra dell'invaso di Serra del Corvo.



Figura 4.2 – Panoramica del settore superiore dei versanti nel dominio geomorfologico inferiore. Da notare la variazione della pendenza in funzione della litostratigrafia e le evidenze di instabilità dei versanti (scarpate e ondulazioni).

Il dominio geomorfologico superiore corrisponde alla zona di testata del rilievo tabulare ubicato ad E dell'invaso esistente e su cui è prevista la realizzazione del nuovo invaso. Tale dominio è

caratterizzato da un substrato prossimale costituito dai Conglomerati di Irsina che generalmente presentano spessori di alcuni metri. La superficie tabulare è caratterizzata da una debole inclinazione verso SE e si presenta incisa da canali a sviluppo NO-SE la cui spaziatura laterale aumenta da SO verso NE. Tali canali sono potenzialmente sviluppati lungo lineamenti strutturali con orientamento parallelo a quelli di rilevanza regionale. Il settore distale di quest'area, verso il bacino esistente, rappresenta la zona di transizione tra i domini geomorfologici individuati sia in termini di morfologie, sia in termini di processi. In particolare, le interazioni in termini di processi tra i due domini si sviluppano prevalentemente a causa i) di fenomeni di richiamo (arretramento dell'orlo) legati alle instabilità presenti lungo i versanti e ii) di fenomeni di erosione lungo canali di richiamo che rappresentano il prolungamento del reticolo idrografico del dominio inferiore.

5. Carta-inventario dei fenomeni franosi e stima delle geometrie di frana

La consultazione dei dati disponibili nell'ambito del *database* dei fenomeni franosi sviluppato nell'ambito del Progetto IFFI ha evidenziato l'assenza di fenomenologie nell'area di studio (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi/>). Di contro, i dati derivati dal *database* del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'ex Autorità di Bacino Regionale della Regione Basilicata, ora Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, hanno evidenziato la presenza nell'area di settori a rischio da frana interpretabili come corpi di frana a diverso stato di attività (**Fig. 5.1**).

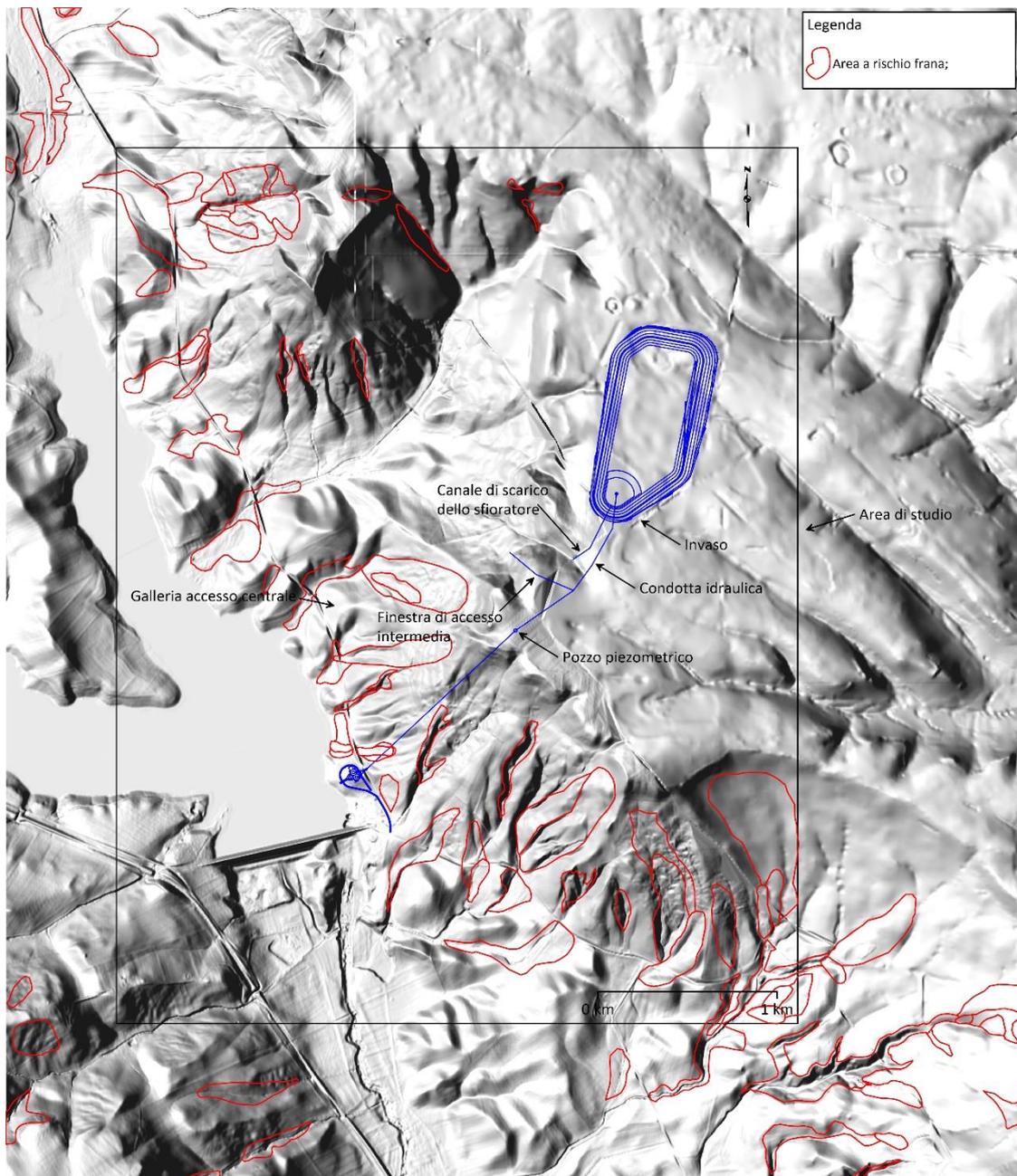


Figura 5.1 – Carta-inventario delle aree a rischio frana derivate dal database PAI nell'area di studio.

La Figura 5.2 riporta i risultati dell'interpretazione dei prodotti cartografici e delle foto aeree in termini di distribuzione e caratteristiche dei fenomeni franosi individuati nell'area oggetto di studio. Tutti i fenomeni censiti si estendono nel dominio geomorfologico inferiore, lungo i versanti degradanti verso il bacino esistente, Lago di Serra del Corvo, e sono riconducibili ad alcune tipologie prevalenti, quali colate di terra e scorrimenti, talora associate a dar luogo ad uno stile complesso, e instabilità superficiali di tipo diffuso (franosità diffusa). Le aree di alimentazione dei fenomeni sono tutte ubicate nelle porzioni superiori dei versanti dove si verifica la transizione tra la formazione delle Argille Grigio-Azzurre e le Sabbie di M. Marano e dello Staturo. Sia i litotipi argillosi che quelli sabbiosi sono interessati da frana da scorrimento e colata. Diversamente, le evidenze riconducibili a fenomeni di frana diffusi coinvolgono esclusivamente i materiali argillosi, soprattutto nelle aree maggiormente acclivi e lavorate per scopi agricoli. Dal punto di vista dimensionale, le aree a franosità diffusa si presentano generalmente più estese e con forma in pianta da sub-triangolare a sub-trapezoidale. Le frane che presentano una componente da colata di terra sono generalmente più estese degli scorrimenti, che si caratterizza, tuttavia, per spessori presunti maggiori.

Con riferimento alla Figura 5.2, nell'area di studio si osserva la presenza di una serie di frane, identificate dalla sigla di classificazione a cui è stato aggiunto il simbolo *, ubicate rispetto alle opere previste in modo tale da richiedere eventualmente un approfondimento conoscitivo riguardante la stima degli spessori dei corpi. In particolare, da N verso S, si osserva la presenza di:

- i) una frana da scorrimento rotazionale - colata di terra denominata 2-4*, di estensione significativa e profondità massima potenziale stimata in meno di 20 m (**Tav. 1A**), il cui orlo superiore è ubicato ad una distanza di circa 100 m dal limite orientale del bacino di monte;
- ii) una frana da scorrimento rotazionale - colata di terra denominata 2-4***, di dimensioni più limitate rispetto alla prima e associata alla stessa in condizioni di coalescenza;
- iii) un'area a franosità diffusa denominata 11*, entro la quale dovrebbe posizionarsi l'imbocco della galleria di accesso alla centrale, dove la profondità dei fenomeni di instabilità non dovrebbe superare il metro (**Tav. 1A**);
- iv) un fenomeno da scorrimento rotazionale - colata di terra denominata 2-4**, di estensione significativa e profondità massima ipotizzabile entro i 20 m, la cui area di accumulo è ubicata in prossimità dello sbarramento del bacino artificiale esistente;

Per tutti i fenomeni da scorrimento e colata di terra è possibile ipotizzare una geometria trasversale alla direzione di movimento della superficie di scorrimento da planare a concava verso l'alto, in

funzione della morfologia locale. Non si osservano elementi di superficie indicativi di potenziali asimmetrie ed eterogeneità delle geometrie profonde di frana.

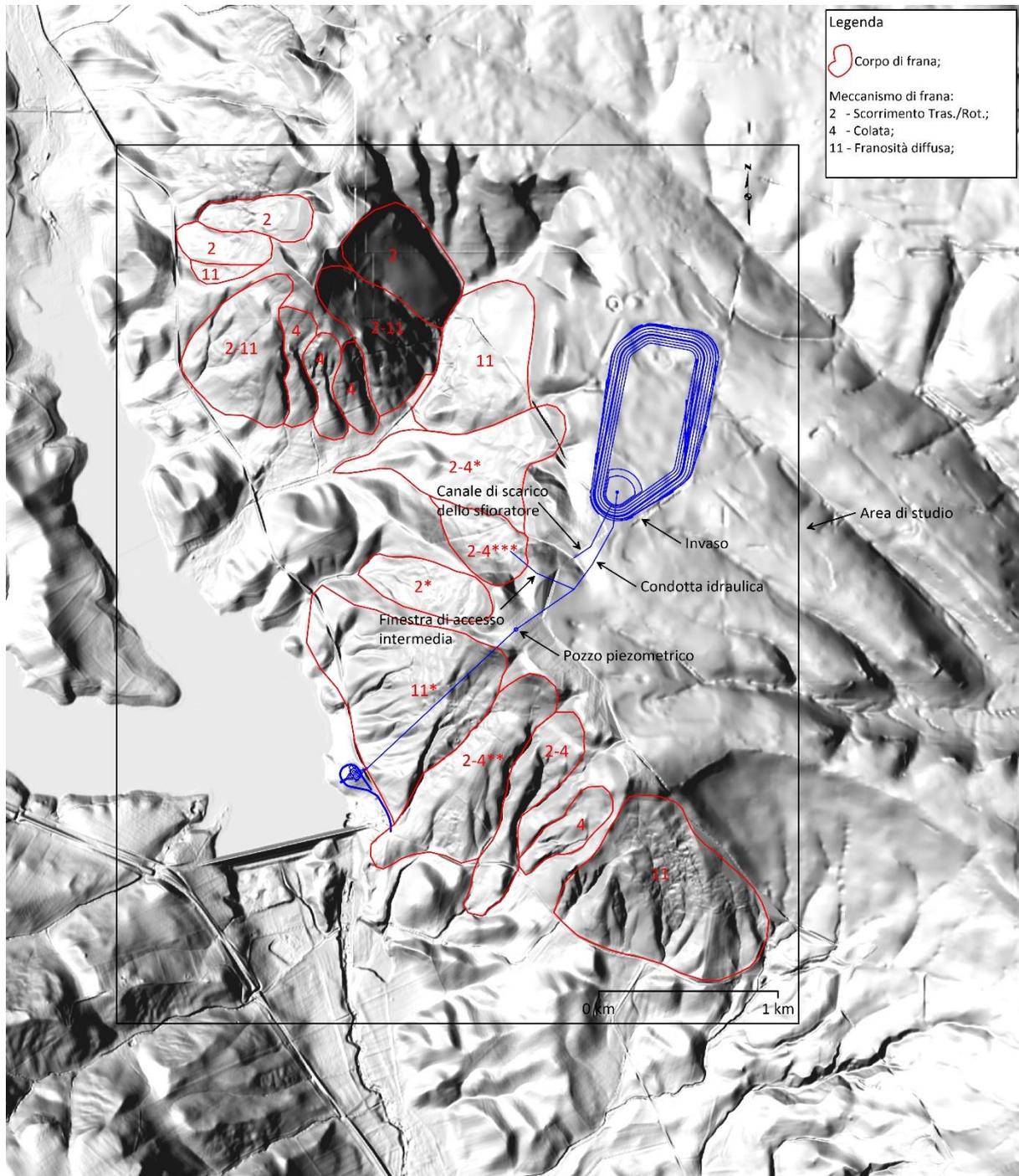


Figura 5.2. Carta-inventario dei fenomeni franosi derivata dall'interpretazione dei prodotti cartografici e delle foto aeree con ubicazione delle opere previste.

6. Mappatura dei fenomeni franosi da dati interferometrici

6.1 Perimetrazione delle aree critiche

La società TRE Altamira S.p.A., come detto in premessa, ha fornito i dati interferometrici ottenuti dal processamento di due *stack* di immagini così costituiti: 36 immagini ALOS-2 *descending* in banda L, che coprono il periodo 22/02/2015 – 31/01/2021 (**Fig. 6.1**) e 301 immagini SENTINEL-1 *ascending* in banda C, che coprono il periodo 08/03/2015 – 16/06/2021 (**Fig. 6.2**). Come indicato da TRE Altamira, che ha processato i dati, mediante l'algoritmo SqueeSAR (Prati et al., 2010) sono stati individuati specifici intervalli di velocità per la classificazione dei *Permanent Scatterers* (PS). In particolare, sono stati considerati sostanzialmente stabili i PS caratterizzati da velocità comprese tra ± 4 mm/anno, intervallo fissato anche in considerazione della tipologia di sensore utilizzato (banda L e C) per le analisi interferometriche.

Dalle **Figure 6.1 e 6.2** si evince la differenza sostanziale tra i due processamenti in termini di numerosità dei PS. Come noto, in aree non urbanizzate la banda L consente di identificare un numero maggiore di riflettori naturali, nello specifico sono stati identificati circa 6800 PS, mentre la banda C seleziona riflettori solo in corrispondenza di strutture ed infrastrutture, per una numerosità pari a circa 3700 PS nell'areale investigato. Pertanto, è stato possibile osservare valori di velocità media variabili tra -22 e 18 mm/anno per il sensore ALOS, mentre per il sensore SENTINEL-1 i valori registrati variano tra -24 e 7 mm/anno. In ogni caso, le due geometrie di acquisizione, integrandosi tra loro, hanno consentito di ottenere una valutazione complessiva dei fenomeni gravitativi in atto.

Per maggiori informazioni circa il processamento si rimanda alla Relazione tecnica fornita da TRE Altamira.

Partendo dai dati precedentemente illustrati ed attraverso l'utilizzo di un modello digitale del terreno (DEM) con risoluzione 10×10 m (Tarquini et al., 2007), si è passati all'individuazione delle aree critiche, in termini di fenomeni d'instabilità di versante, adottando, come detto in premessa, la procedura LaDIS (Di Martire et al., 2016).

La perimetrazione delle aree critiche è stata effettuata selezionando gli ambiti caratterizzati dalla presenza di PS con velocità elevata, in relazione ad apposite scale di velocità. Le analisi sono state condotte sovrapponendo i processati forniti, i quali, essendo stati acquisiti con geometrie differenti (*ascending* e *descending*) hanno consentito di ottenere una visione più completa dei fenomeni gravitativi in atto.

Pertanto, con l'ausilio delle curve di livello estratte dal DEM e mediante interpretazioni geologico-applicative, è stato possibile perimetrare le aree critiche (**Fig. 6.3**). Dalle analisi sono state individuate circa 30 aree critiche, presumibilmente corrispondenti a dissesti di versante, distribuite

nell'intero areale investigato. Come è evidente dalla **Figura 6.3**, alcune di tali aree sembrerebbero interagire con le opere in progetto.

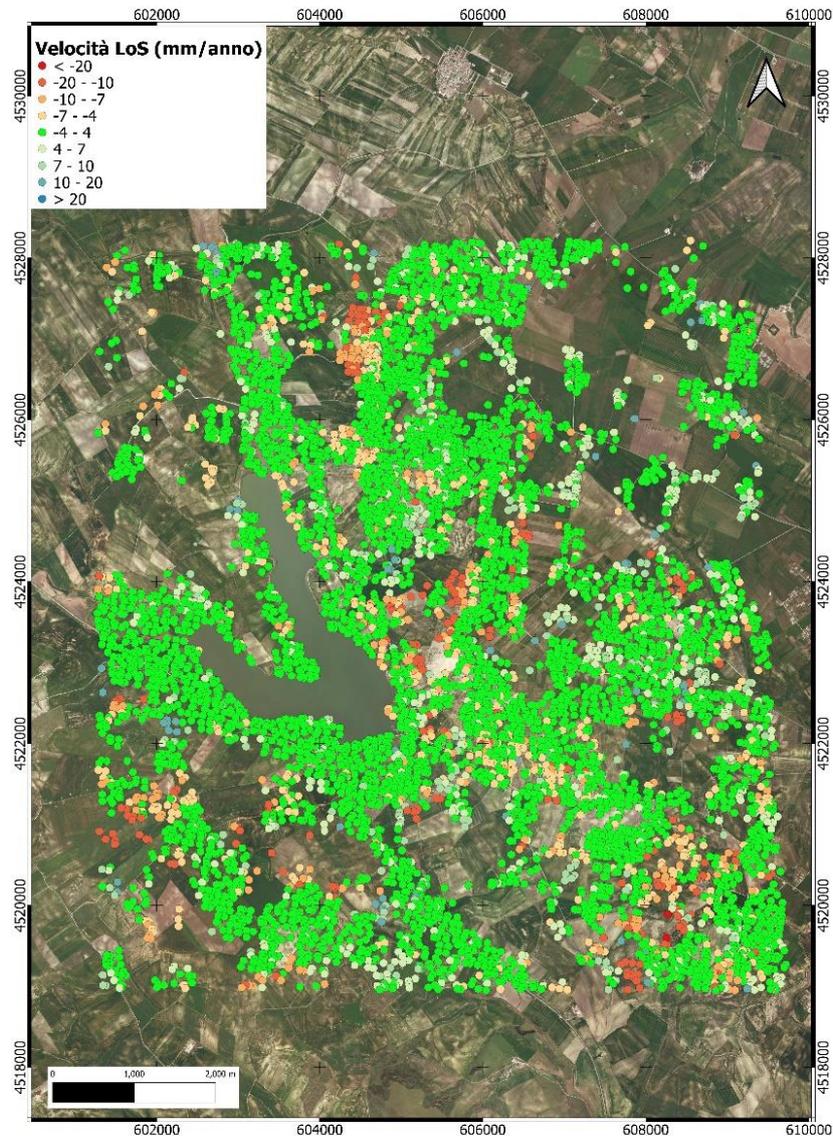


Figura 6.1. Mappa dei tassi di spostamento medio ottenuta dal processamento di immagini ALOS-2 in geometria descending.

É importante, però, sottolineare che l'interferometria differenziale SAR consente di valutare solo spostamenti superficiali del suolo, senza fornire, tuttavia, informazioni relative all'andamento in profondità di tali spostamenti. Pertanto, le possibili interazioni tra movimenti ed opere sono da ritenersi significative solo per le opere che hanno uno sviluppo in superficie.

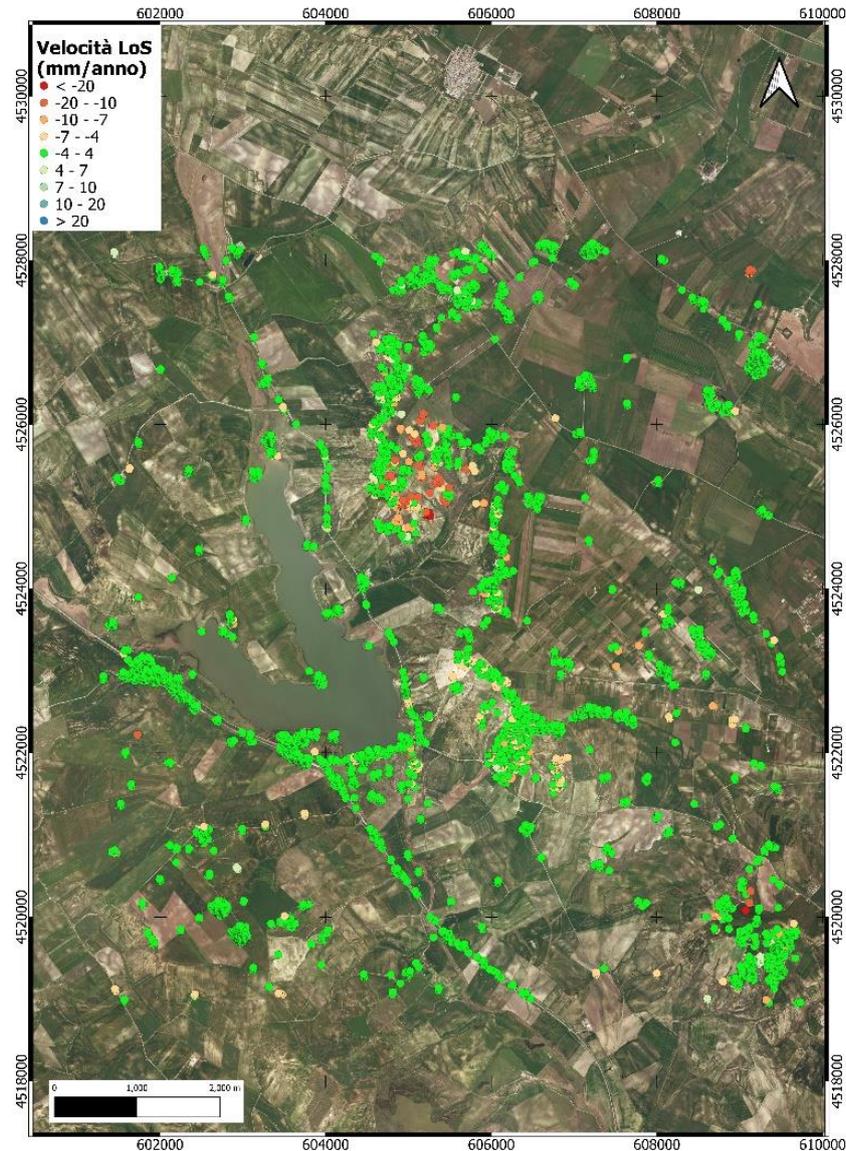


Figura 6.2. Mappa dei tassi di spostamento medio ottenuta dal processamento di immagini SENTINEL-1 in geometria ascending.

Ulteriore prodotto derivante dalle analisi interferometriche, è rappresentato dalle serie temporali degli spostamenti. Al fine di valutare gli spostamenti cumulati registrati nell'intero intervallo di tempo investigato (2015-2021), in corrispondenza delle zone di interazione con le opere in progetto, sono stati selezionati 4 punti, e redatti i relativi grafici spostamento/tempo (**Fig. 6.4**). Gli spostamenti massimi registrati sono quelli in corrispondenza dei punti P1 e P3, con valori di circa 10 cm sull'intero intervallo di tempo. Per ciò che concerne il punto P1, questo ricade in corrispondenza di un settore subpianeggiante, dove è prevista la realizzazione dell'invaso artificiale. La tendenza sembrerebbe lineare per il primo periodo, per poi stabilizzarsi intorno al gennaio 2019. Analogo andamento si è registrato per il punto P3, identificato sul versante, nelle vicinanze del sito dove sarà realizzata l'opera

denominata Galleria stradale. Per il punto P4, invece, la tendenza sembrerebbe essere lineare per tutto l'intervallo di tempo dell'analisi, con uno spostamento cumulato di circa 5-6 cm. Spostamenti cumulati ridotti si riscontrano invece nel punto P2, localizzato in corrispondenza del Canale di drenaggio.

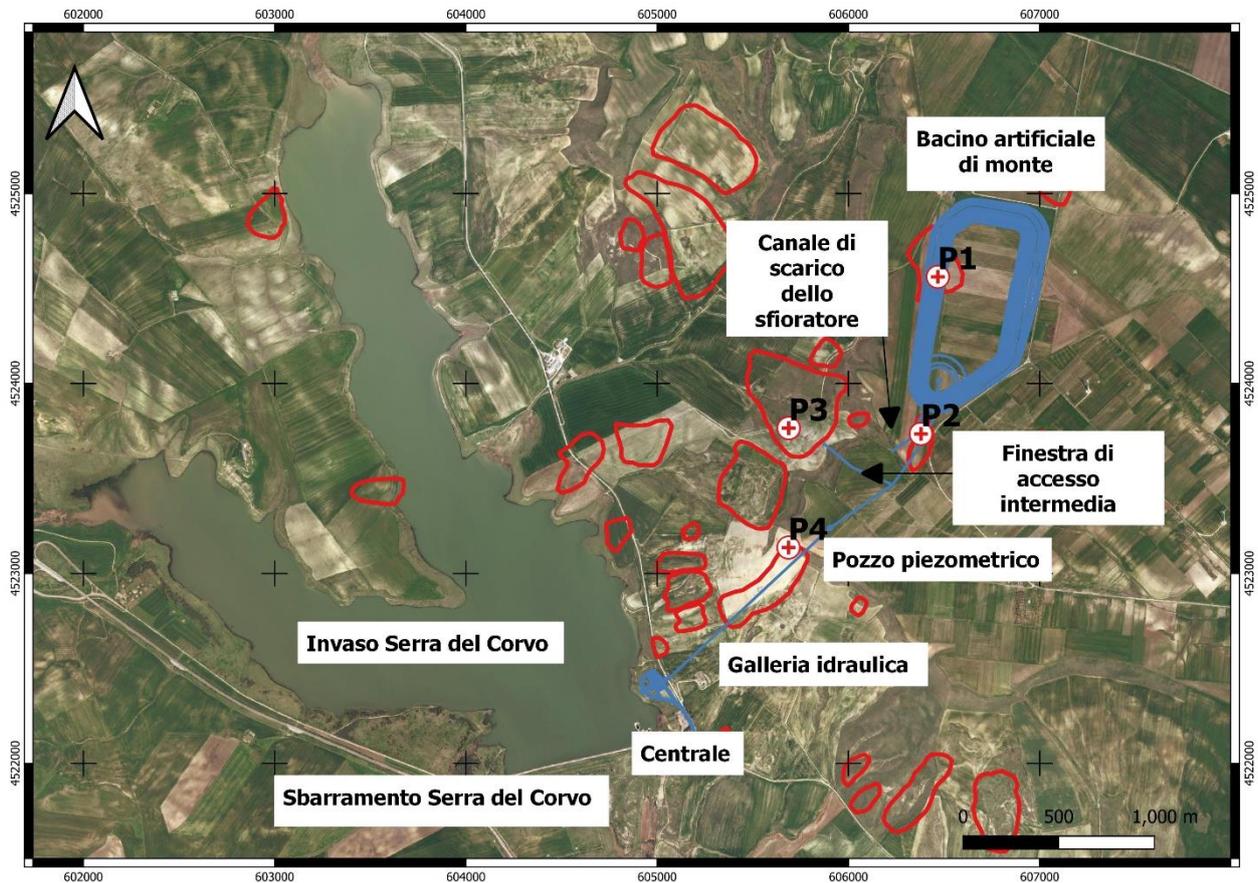


Figura 6.3. Mappa delle aree critiche. Nell'immagine sono riportate anche le opere in progetto (arancio).

6.2 Confronto dei dati interferometrici con la Carta-inventario ufficiale

Una volta individuate le aree critiche, queste ultime sono state confrontate con i perimetri di frana disponibili della Carta-Inventario redatta dall'ex Autorità di Bacino Regionale della Basilicata, ora Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (**Fig. 6.5**) ed aggiornata al 2014.

Come si evince dalla **Figura 6.5**, la corrispondenza tra le frane PAI e quelle telerilevate è solo parziale, ed in particolare nel settore centrale dell'area dove è prevista la realizzazione della Galleria idraulica. La spiegazione di tali differenze potrebbe essere individuata, da un lato, nel fatto che i due inventari si riferiscono a periodi differenti, dall'altro, in uno dei noti limiti dell'interferometria, la mancanza di riflettori naturali al suolo in aree non urbanizzate. È, comunque, possibile trarre alcune

considerazioni da tale confronto. Alcuni dei fenomeni censiti nel 2014, o porzioni di essi, sono ancora attivi oggi, mentre settori di versante oggi attivi non erano stati cartografati come tali nel 2014.

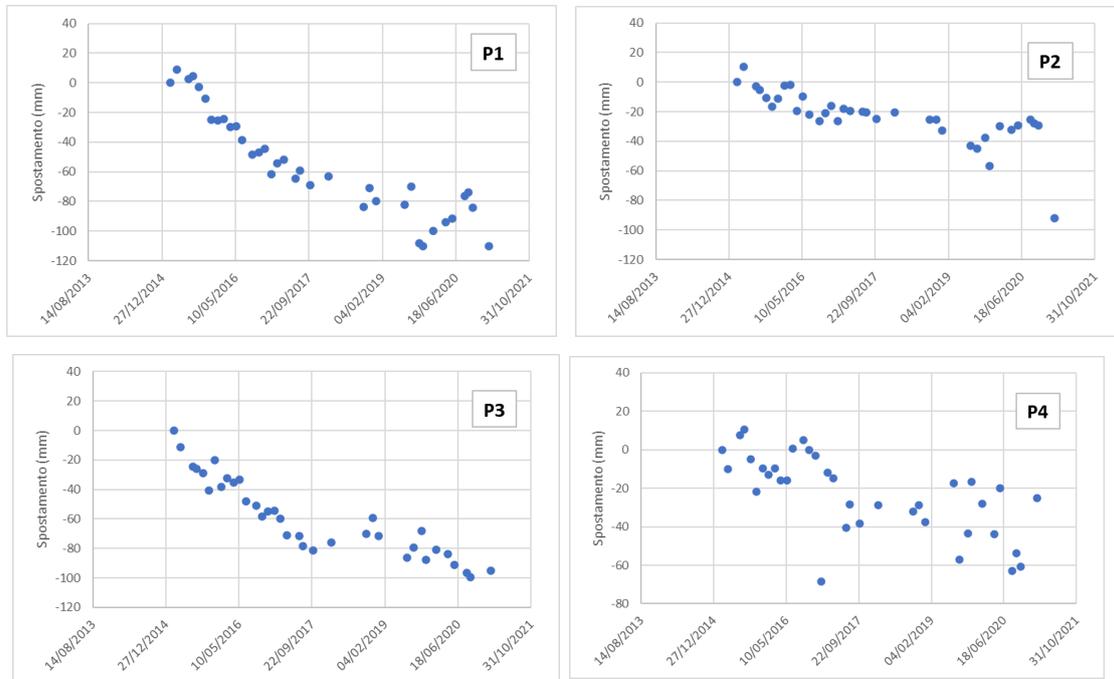


Figura 6.4. Serie temporali degli spostamenti in corrispondenza dei punti selezionati (cfr. Figura 6.3).

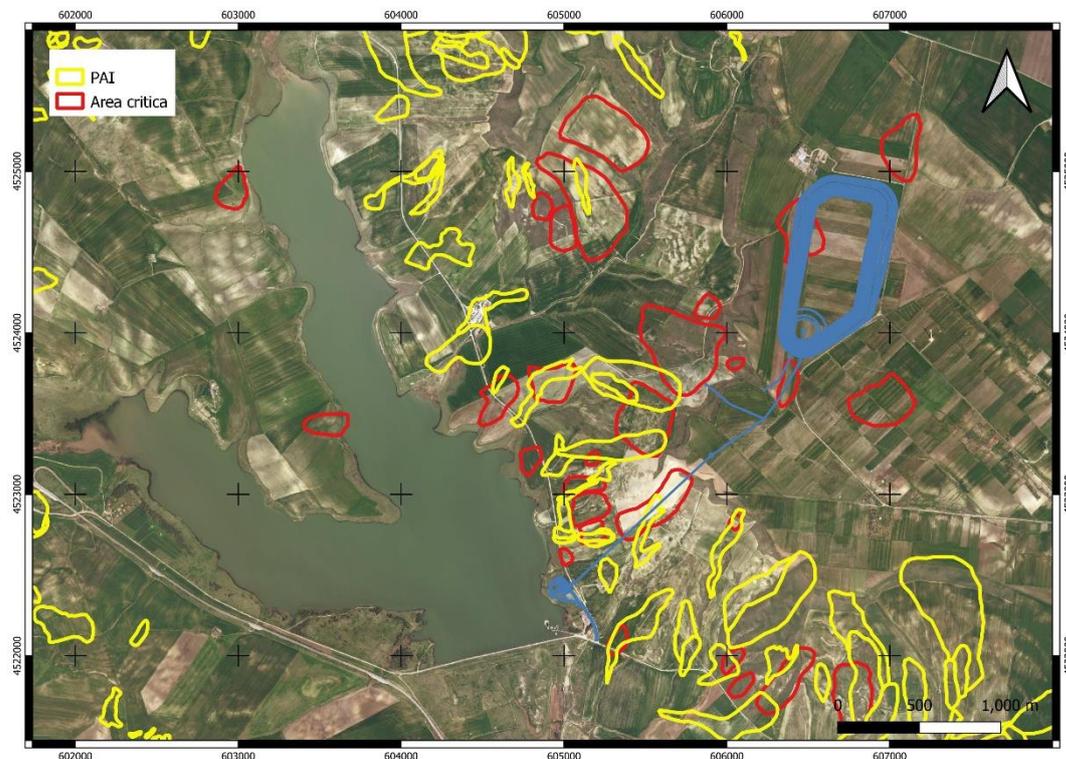


Figura 6.5. Confronto tra le frane censite nel PAI e le aree critiche individuate mediante dati interferometrici.

6.3 Confronto dei dati interferometrici con la Carta-inventario ottenuta da rilevamento e fotointerpretazione

L'ultimo passaggio interpretativo dei dati satellitari è consistito nel confrontare le aree critiche e la Carta-inventario redatta mediante rilevamento e fotointerpretazione (cfr. § 5). Anche in questo caso, mediante una procedura di *map overlay*, è stato possibile verificare coincidenze e difformità tra i fenomeni censiti (**Fig. 6.6**): infatti, come nel caso precedente, anche questa sovrapposizione ha portato ad una non sempre perfetta coincidenza tra i fenomeni censiti con le due differenti metodologie. È importante, però, mettere in evidenza come quasi tutti i fenomeni cartografati mediante interpretazione dei dati satellitari si intersechino completamente o parzialmente con aree perimetrate mediante fotointerpretazione. Solo alcuni settori di versante, lontani dalle opere in progetto, hanno mostrato tassi di spostamento significativi, sebbene in campo non siano state riscontrate evidenze. Altro settore, localizzato in una zona sub-pianeggiante, che questa volta interessa opere in progetto, nello specifico il bacino artificiale, ha mostrato tassi di spostamento non trascurabili (spostamenti cumulati di circa 10 cm nell'intero intervallo di analisi), non avendo riscontrato in campo evidenze di significativi movimenti. Tale settore potrebbe essere soggetto a fenomeni di subsidenza localizzata.

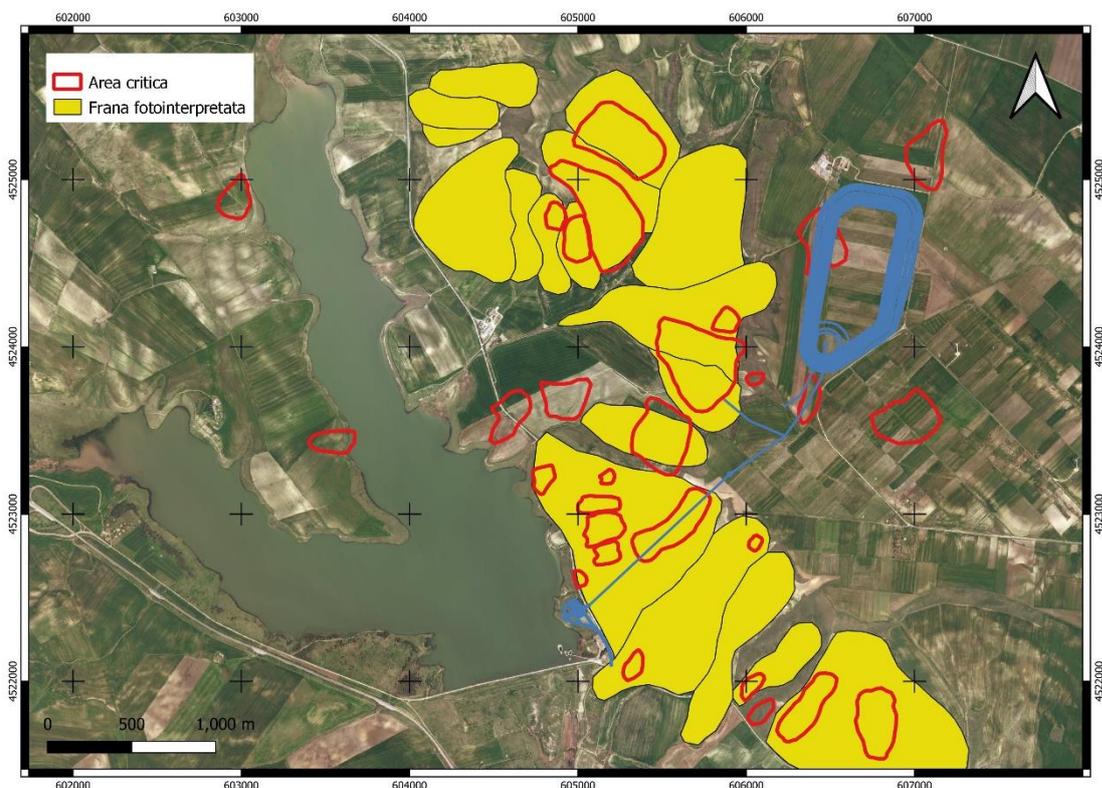


Figura 6.6. Confronto tra le frane censite mediante fotointerpretazione/rilevamento e le aree critiche individuate mediante dati interferometrici.

7. Considerazioni sulle possibili interferenze

• Invaso di Serra del Corvo e relativo sbarramento

- **Assetto geologico-strutturale:** l'invaso insiste su depositi fluviali antichi (terrazzati) e recenti presenti sul fondovalle attuale del Torrente Basentello (**Fig. 3.3**). Lo spessore di questi depositi, relativamente permeabili, dovrebbe essere di alcuni metri nell'alveo attuale, e fino a una/poche decine di metri nelle aree terrazzate. Il substrato sotto le alluvioni è composto dalla parte bassa delle Argille Subappennine, relativamente impermeabili. Dal punto di vista litologico e meccanico, questo substrato corrisponde alle argille limose e ai limi argillosi attraversati dai sondaggi di valle (S1, S3) e ai medesimi depositi rinvenuti al fondo dei sondaggi di monte (es. S4, Tav. 1A e 1B). Data la relativa prossimità al margine del paleo-bacino bradanico, si segnala la possibilità che le argille limose siano localmente sostituite da *facies* più grossolane parzialmente eteropiche con i Tufi di Gravina, relativamente più competenti.
- **Frane (fotointerpretazione):** si evidenzia la presenza di alcune frane da scorrimento rotazionale, scorrimento rotazionale-colata di terra e di tipo diffuso, lungo la sponda sinistra dell'invaso di Serra del Corvo (**Fig. 5.2**). Di particolare rilevanza è una frana da scorrimento rotazionale-colata di terra denominato 2-4**, la cui area di accumulo è localizzata nei pressi del corpo-diga (**Fig. 5.2**). Lo spessore di questo fenomeno è stimabile in meno di 20 m.
- **Frane (interferometria):** mediante l'interpretazione dei dati interferometrici è stato possibile identificare limitate porzioni dei versanti in sinistra orografica caratterizzati da tassi di spostamento significativi, fino a 12 mm/anno. È importante sottolineare che il fenomeno già cartografato mediante la fotointerpretazione (denominato 2-4**) presenta nella sua porzione finale tassi di spostamento significativi, talvolta superiori a 10 mm/anno. Altri fenomeni, di limitate dimensioni, si segnalano sul fianco destro del ramo principale dell'invaso.

• Condotta idraulica e centrale

- **Assetto geologico-strutturale:** la centrale è posizionata al passaggio tra depositi fluviali terrazzati e parte bassa delle Argille Grigio-Azzurre (**Fig. 3.3**). La condotta idraulica si sviluppa nella parte bassa delle Argille Grigio-Azzurre. Dal punto di vista litologico e meccanico, questa parte della formazione di substrato corrisponde alle argille limose e ai limi argillosi attraversati dai sondaggi di valle (S1,

S3) e ai medesimi depositi rinvenuti al fondo dei sondaggi di monte (es. S4, Tav. 1A e 1B). Proseguendo verso NE, la condotta idraulica attraversa progressivamente i termini più alti delle Argille Grigio-Azzurre (incontrate nella parte mediana del sondaggio S4), meno compatte.

La galleria potrebbe intercettare una faglia ad orientazione NO-SE e immersione SO, a circa 1800 m dall'imbocco a valle; trattasi di una faglia presunta (faglia "a", **Fig. 3.3**), probabilmente radicata in profondità nella Piattaforma Apula.

La parte verticale della galleria idraulica, sotto il bacino di monte, è impiantata all'inizio nella parte alta delle Sabbie di M. Marano per pochissimi metri; scendendo in profondità, incontrerà l'intercalazione limoso-argillosa nelle stesse sabbie per uno spessore di circa 15 m (vedi sondaggio S4) e, successivamente, la parte bassa delle sabbie per uno spessore di circa 12 m. A maggiori profondità l'opera attraverserà la parte alta delle Argille Grigio-Azzurre (limi argillosi e minori argille limose) per circa 40 m.

Stante la differente permeabilità, si segnala l'eventualità del rinvenimento di modeste falde sospese, al passaggio tra le Sabbie di M. Marano (parte bassa) e i sottostanti limi argillosi e argille limose (Argille Grigio-Azzurre).

- **Frane (fotointerpretazione):** La condotta idraulica passa al di sotto di un'area a franosità diffusa, a una profondità compresa tra i 45 e i 100 m (11*; **Fig. 5.2**). La centrale è ubicata immediatamente al di fuori di un'area a franosità diffusa. Gli spessori delle aree a franosità diffusa sono stimabili in pochi metri.
 - **Frane (interferometria):** Fenomeni di limitate dimensioni e tassi di spostamento ridotti (cfr. P2 e P4 di **Fig. 6.4**) sono presenti in questi settori. È necessario però sottolineare, come già anticipato in precedenza, che i risultati interferometrici non forniscono informazioni circa la profondità di tali fenomeni; pertanto, la possibile interazione riguarderebbe opere in superficie.
- **Finestra di accesso intermedia**
 - **Assetto Geologico-Strutturale:** la galleria della finestra di accesso si sviluppa nella parte alta delle Argille Grigio-Azzurre, circa 25 m (all'imbocco) e 40 m (all'intersezione con la condotta idraulica) sotto il passaggio alle sovrastanti Sabbie di M. Marano. L'opera si trova nel blocco di tetto della faglia presunta "a" (**Fig. 3.3**), probabilmente radicata in profondità nella Piattaforma Apula, ad appena 150 m dalla faglia stessa.
 - **Frane (fotointerpretazione):** L'area di imbocco della finestra di accesso intermedia

ricade nell'ambito di un'area caratterizzata dalla presenza di una frana da scorrimento rotazionale-colata di terra (2-4***; **Fig. 5.2**). Lo spessore di questo fenomeno è stimabile in alcuni metri.

- **Frane (interferometria)**: in questo settore di versante è stata cartografata un'area critica che lambisce l'accesso all'opera in progetto. Tale area ricade all'interno di una frana da scorrimento rotazionale-colata di terra (2-4***; **Fig. 5.2 e Fig.6.6**).

- **Pozzo piezometrico**

- **Assetto Geologico-Strutturale**: la stratigrafia che incontrerà il pozzo piezometrico è illustrata dal sondaggio S9, che qui si richiama brevemente (interpretazione stratigrafica sulla base dei dati litologici forniti dallo Studio FROSIO):

- ✓ suolo (circa 1 m)
- ✓ Conglomerati di Irsina (circa 3 m)
- ✓ Sabbie di M. Marano, parte alta (circa 16 m)
- ✓ Lente limoso-argillosa (circa 16 m)
- ✓ Sabbie di M. Marano, parte bassa (circa 13 m)
- ✓ Argille Grigio-Azzurre

Stante la differente permeabilità, si segnala l'eventualità del rinvenimento di modeste falde sospese, al passaggio tra le Sabbie di M. Marano (parte alta) e la lente limoso-argillosa, e in maniera più consistente tra le Sabbie di M. Marano (parte bassa) e i sottostanti limi argillosi e argille limose (Argille Grigio-Azzurre).

- **Frane (fotointerpretazione)**: non ci sono interazioni.
- **Frane (interferometria)**: non ci sono interazioni.

- **Bacino di monte**

- **Assetto geologico-strutturale**: il bacino di monte è impostato nei Conglomerati di Irsina nel settore SO, per uno spessore massimo di pochi m (circa 3-5 m sulla base dei sondaggi S8-S9). Nel settore centro-settentrionale, il bacino si imposta nelle sottostanti Sabbie di M. Marano e dello Staturo, tra loro eteropiche. In questo settore, la base dell'invaso dovrebbe lambire il passaggio stratigrafico tra i Conglomerati di Irsina e le sottostanti sabbie, o attestarsi per circa 5 m entro le sabbie. Dal punto di vista strutturale, il bacino sovrasta una faglia presunta, orientate NO-SE (faglia "c", **Fig. 3.3, Tav. 1a**) e probabilmente anche la prosecuzione verso NO della faglia presunta "b" (non rappresentata nella sezione geologica di **Tav. 1A**). Le faglie "b" e

“c” sono poste rispettivamente a circa 350 m e 900 m di distanza rispetto allo spigolo SO del bacino. Una terza faglia (faglia “d”, **Fig. 3.3**) è situata circa 550 m a NE dello spigolo NE dell’invaso, pertanto il bacino risulta situato nel suo blocco di tetto. Queste faglie, e in particolare la “b” per la sua coincidenza spaziale con una faglia profonda, sono probabilmente radicate nella Piattaforma Apula.

- **Frane (fotointerpretazione):** si evidenzia che il bacino, nella configurazione di progetto, sarebbe localizzato ad una distanza compresa tra i 100 e i 400 m dall’orlo del terrazzo lungo cui sono ubicati alcuni dei coronamenti di frana individuati (**Fig. 5.2**). La presenza della frana da scorrimento rotazionale-colata di terra (2-4*) rappresenta una condizione predisponente rispetto alla formazione di fenomeni di arretramento dell’orlo.
 - ⊖ **Frane (interferometria):** nel settore orientale, prospiciente la masseria, l’analisi dei dati ALOS2 sembra evidenziare dei settori localizzati con tassi di spostamento di qualche mm/anno.
- **Canale di scarico**
 - **Assetto geologico-strutturale:** il canale di scarico si imposta nella parte alta delle Sabbie di M. Marano/Sabbie dello Staturo e, scendendo verso SO, attraversa la lente limoso-argillosa per poi terminare nella parte bassa delle medesime sabbie. La terminazione del canale ricade in prossimità di una superficie di faglia presunta (faglia “a”, **Fig. 3.3**), immergente a SO.
 - **Frane (fotointerpretazione):** il canale di scarico raggiunge una delle incisioni longitudinali presenti che, a sua volta, rappresenta la zona di sutura tra due frane da scorrimento rotazionale-colata di terra coalescenti (2-4* e 2-4***; **Fig. 5.2**).
 - **Frane (interferometria):** in questo settore subpianeggiante è stata perimetrata un’area critica caratterizzata da tassi di spostamento ridotti, dell’ordine 5-7 mm/anno.

Riferimenti bibliografici e sitografici

- Bath, M., Duda, S.J., 1964. Earthquake volume, fault plane area, seismic energy, strain, deformation and related quantities. *Ann. Geofis.* 17 (3), 353–368.
- CARG, Foglio 471 Irsina. https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/471_IRSINA/Foglio.html
- Censini G. (2021). Impianto di pompaggio e generazione idroelettrica di Serra del Corvo - Indagine geofisica per il progetto del bacino di monte e del pozzo di carico e zona della centrale in caverna. GEORISORSE ITALIA. Rapporto Tecnico #2577/21.
- Cinque, A., Ascione, A., Caiazza, C. (2000). Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale, in *Le ricerche del GNDD nel campo della pericolosità sismica*. Eds. Galadini, F., Meletti, C., Rebez, A., 203-218, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti-Rome.
- Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). *Landslide Types and Processes*. Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- Del Gaudio, V., Pierri, P., Calcagnile, G., Venisti, N. (2005). Characteristics of the low energy seismicity of central Apulia (southern Italy) and hazard implications. *J. Seismol.* 9, 39–59.
- Del Gaudio, V., Pierri, P., Frepoli A., Calcagnile, G., Venisti, N., Cimini G. B. (2007). A critical revision of the seismicity of Northern Apulia (Adriatic microplate — Southern Italy) and implications for the identification of seismogenic structures. *Tectonophysics* 436, 9–35.
- Di Martire D., Tessitore S., Brancato D., Ciminelli M.G., Costabile S., Costantini M., Graziano G.V., Minati F., Ramondini M., Calcaterra D. (2016). Landslide detection integrated system (LaDIS) based on in-situ and satellite SAR interferometry measurements. *Catena*, 137, 406–421.
- DISS Working Group, 2015. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A Compilation of Potential Sources for Earthquakes Larger Than M 5.5 in Italy and Surrounding. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0>. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Ferranti L., Palano M., Cannavò F., Mazzella M.E., Oldow J.O., Gueguen E., Mattia M., Monaco C. (2014). Rates of geodetic deformation across active faults in southern Italy. *Tectonophysics*, 621, 101–122.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(1), 8-20.
- Galadini, F., Meletti, C., Rebez, A. (Eds.), (2000). *Le ricerche del GNDD nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma.
- Lazzari M., Pieri P. (2002). Modello stratigrafico-deposizionale della successione regressiva infrapleistocenica della Fossa bradanica nell'area compresa fra Lavello, Genzano e Spinazzola. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 231-237
- Nicolai, C., Gambini, R. (2007). Structural architecture of the Adria platform-and-basin system, *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 7, 21-37.
- Patacca E., Scandone P. (2001). Identificazione e valutazione di strutture sismogenetiche. Rapporto interno - Convenzione di Ricerca tra ENEA e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.
- Pieri P., Sabato L. & Tropeano M. (1996). Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene. *Mem. Soc. Geol. It.*, 51, 501-515.
- Prati C., Ferretti A., Perissin D. (2010). Recent advances on surface ground deformation measurement by means of repeated space-borne SAR observations. *Journal of Geodynamics*, 49, 161–170.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>
- Sabato L. Tropeano M. & Pieri P. (2004). Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari del f° 471 "Irsina". il conglomerato di Irsina: mito o realtà? *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary*

Sciences 17(2/1) 391-404

Tarquini S., Isola I., Favalli M., Mazzarini F., Bisson M., Pareschi M.T., Boschi E. (2007). TINITALY/01: A new Triangular Irregular Network of Italy. *Annals of Geophysics*, 50, 407–425.

Trigila A., Iadanza C., Guerrieri L. (2007). The IFFI project (Italian landslide inventory): Methodology and results. *Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe*, edited by: Hervás, J., ISPRA, Rome, Italy, 15-18.

**Il Responsabile scientifico
Prof. Domenico Calcaterra**