

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI

S.O. GEOLOGIA TECNICA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

BRETELLA DI SIBARI

Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RC2V 00 R 69 RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	V.M.Cucciniello S.G.I.	Marzo 2023	M. Scarpelli <i>Mario Scarpelli</i>	Marzo 2023	I.D'Amore <i>I.D'Amore</i>	Marzo 2023	G. Benedetti Marzo 2023

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano
Dott. Geol. Giampaolo Benedetti
Ordine dei Geologi Emilia Romagna
n. 1019
Giampaolo Benedetti

File: RC2V00R69RGGE0001001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	7
4	ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA	8
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	8
4.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO	13
4.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
4.3.1	<i>Subsidenza.....</i>	<i>19</i>
4.4	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	23
4.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	24
4.5.1	<i>Complessi idrogeologici.....</i>	<i>24</i>
4.5.2	<i>Acquifero di Sibari</i>	<i>27</i>
5	INDAGINI.....	31
5.1	INDAGINI ITOLFERR 2022-23	31
6	MODELLO GEOLOGICO	34
6.1	MODELLO IDROGEOLOGICO	35
7	ANALISI DELLE CRITICITA' DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO E IDRAULICO.....	37
7.1	PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO	37
7.2	PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO.....	40
7.3	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO	41

8	INQUADRAMENTO SISMICO	42
8.1	PREMESSA	42
8.2	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE	44
8.3	FAGLIE ATTIVE	47
8.4	INTENSITÀ MACROSISMICHE	48
8.5	DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA DI PROGETTO	48
8.5.1	<i>Generalità</i>	48
8.5.2	<i>Vita utile e classe d'uso</i>	49
8.5.3	<i>Stati limite e probabilità di superamento</i>	50
8.5.4	<i>Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g</i>	51
8.5.5	<i>Risposta sismica locale</i>	54
8.6	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	57
9	CONCLUSIONI	67
10	BIBLIOGRAFIA	70

**Relazione geologica, geomorfologica,
 idrogeologica e sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	4 di 73

TAVOLE ALLEGATE

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		R	C	2	V	0	0	R	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica	1:5000	R	C	2	V	0	0	R	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta idrogeologica	1:5000	R	C	2	V	0	0	R	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carte e profili geologici	1:5000/ 500	R	C	2	V	0	0	R	6	9	L	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carte e profili idrogeologici	1:5000/ 500	R	C	2	V	0	0	R	6	9	L	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

ELABORATI DI RIFERIMENTO

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		R	C	2	V	0	0	R	6	9	I	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Indagini geognostiche	-	R	C	2	V	0	0	R	6	9	I	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Indagini geofisiche	-	R	C	2	V	0	0	R	6	9	S	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Prove di geotecniche laboratorio	-	D	1	E	0	0	0	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatto nell'ambito del progetto PFTE Bretella Sibari che consiste nella realizzazione di una bretella ferroviaria che consentirebbe il collegamento tra la linea Reggio Calabria - Catanzaro Lido – Crotone e la linea Sibari – Cosenza – Paola.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti da indagini geognostiche eseguite per il PFTE Bretella Sibari. Le indagini comprendono:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità comprese tra i 40 e i 60 m da p.c, attrezzati con piezometro a tubo aperto e di Casagrande;
- n. 6 prove geofisiche di tipo MASW e n. 4 prove di tipo geofisico di tipo HVSR per la definizione dell'azione sismica di progetto.
- n.6 indagini sismiche a rifrazione tomografica.

In sintesi, nei paragrafi seguenti verranno approfondite le seguenti tematiche:

1. Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici;
2. Analisi della Cartografia del rischio;
3. Descrizione delle indagini geognostiche realizzate;
4. Modello geotecnico di riferimento;
5. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

A corredo della presente relazione sono stati inoltre eseguiti i seguenti elaborati grafici:

- Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico;
- Carta idrogeologica e profilo idrogeologico.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- UNI EN 1997-1 – Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 – Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 47 del 10.02.2004. “Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 47 del 10.02.2004”.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 – Cessazione del regime transitorio di cui all’articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- RFI DTC SI GE SP IFS 001 D del 30/12/2022 “Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II – Sezione 3 – Rilievi geologici ed indagini geognostiche”.
- RFI DTC SI GE MA IFS 001 C del 30/12/2022 “Manuale di Progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 - Geologia”.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La tratta ferroviaria in progetto è ubicata nel comune di Cassano allo Ionio (CS), nei pressi della frazione di Sibari. La tratta in progetto (**Figura 3-1**) si trova in corrispondenza dello scambio ferroviario tra la ferrovia Ionica e la ferrovia Sibari-Cosenza. L'area in esame è ubicata in corrispondenza della Piana di Sibari situata sul versante ionico settentrionale della regione, fa da confine tra il massiccio del Pollino e quello della Sila. È solcata al centro dai corsi del fiume Crati e del suo affluente Coscile, che sfociano nel mar Ionio.



Figura 3-1 – Immagine aerea dell'area di studio, in rosso il tratto ferroviario in progetto.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 8 di 73

4 ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA

Nei paragrafi seguenti si riporta l'inquadramento tettonico e strutturale regionale, l'inquadramento geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area all'interno della quale ricade il tracciato della linea ferroviaria oggetto di studio.

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'Arco Calabro, ubicato lungo la catena appenninico-maghebide, costituisce un dominio tettonico-stratigrafico distinto (Amodio-Morelli et al., 1976), caratterizzato dalla presenza di rocce plutoniche e metamorfiche pre-alpine associate a metamorfiti di derivazione continentale e oceanica e tettonicamente sovrapposte a rocce carbonatiche e flysch mesozoici (Ogniben, 1973; Amodio-Morelli et al., 1976; Dietrich, 1976). La sua evoluzione tettonica si inquadra nel fenomeno di convergenza delle placche africana ed europea. Secondo alcuni Autori (Amodio-Morelli et al., 1976; Scandone, 1982) le rocce della catena alpina presenti in Calabria (Unità Austro-Alpine) fanno parte della placca africana coinvolta in una subduzione a vergenza S-SSE, secondo altri (Ogniben, 1973; Bonardi et al., 1992; Rossetti et al., 2001), le rocce della catena alpina sono al contrario una porzione del margine europeo, sovrascorsa sulle unità africane nell'ambito di una subduzione vergente verso NW.

Lo schema tettonico-stratigrafico proposto per l'Arco Calabro consiste in un complesso appenninico, di un complesso ofiolitifero e del Complesso Calabride Auct. In particolare, molti Autori (Ogniben, 1973; Amodio-Morelli et al., 1976; Dietrich, 1976; Bonardi et al., 1992) riportano una successione tettonico-stratigrafica costituita da una serie di unità sovrimposte tra l'Oligocene e il Miocene superiore, raggruppabili in unità della catena appenninica e unità della catena alpina.

Nel Miocene medio-superiore, con il progressivo arretramento della zona di subduzione e del cuneo orogenico appenninico, ha avuto inizio, in posizione di retroarco, la distensione responsabile dell'apertura del bacino tirrenico e della migrazione della Calabria verso E-SE (Ogniben, 1973; Amodio-Morelli et al., 1976; Argentieri et al., 1998). In questo contesto, l'Arco Calabro è stato interessato da tettonica principalmente distensiva (Moretti & Guerra, 1997), responsabile della formazione di bacini subsidenti all'interno dei quali si depositava il cosiddetto Complesso Postorogeno (Ogniben, 1973).

Tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore, i depositi di quest'ultimo hanno subito un'evoluzione sedimentaria simile in tutta la regione (Ortolani et al., 1979). In particolare, durante il Tortoniano superiore, nei bacini distensivi si depositavano sedimenti il cui ambiente deposizionale evolveva da condizioni continentali di piana alluvionale a un quelle di mare progressivamente più profondo (Ortolani et al., 1979). Nel Tortoniano superiore-Messiniano inferiore si è sovrapposta a questi depositi una sequenza sedimentaria costituita da più cicli trasgressivi che,

passavano verso l'alto a quella di un ambiente pelagico euxinico in evoluzione verso l'evaporitico (Amodio-Morelli et al., 1976; Ortolani et al., 1979).

Successivamente, nel Messiniano-Pliocene inferiore, si è deposta una nuova sequenza, caratterizzata da evaporiti intercalate a materiale detritico sabbioso e argilloso e passanti verso l'altro a depositi pelitici ricchi di microfauna planctonica (Ogniben, 1973). Nel Pliocene inferiore, la tettonica distensiva ha indotto un ulteriore approfondimento delle depressioni tettoniche già esistenti dando origine ai vasti bacini della Valle del Crati, della Valle del Mesima, di Gioia Tauro, di Sant'Eufemia e dello Stretto Messina, allungati in direzione N-S e NE-SW (Lanzafame & Tortorici, 1981; Galli & Bosi, 2002). Entro esse si sono depositate due sequenze di ingressione e regressione marina: il Ciclo infrapliocenico e il Ciclo suprapliocenico-pleistocenico (Ogniben, 1973).

Nel Pleistocene inferiore la direzione di massima espansione tirrenica ha subito un netto cambiamento passando da NW-SE a E-W (Moretti & Guerra, 1997). In questo contesto si sono prodotte le faglie longitudinali e trasversali che bordano i versanti della Sila, delle Serre e dell'Aspromonte (Galli & Bosi, 2002). Il sollevamento della Catena Costiera lungo strutture N-S (Moretti & Guerra, 1997) ha prodotto la chiusura verso Ovest del bacino del Crati, che diveniva così un golfo del Mar Ionio (Lanzafame & Tortorici, 1981).

A partire dal tardo Pleistocene inferiore, la Calabria è stata interessata da un importante sollevamento regionale tuttora attivo (Lanzafame & Tortorici, 1981; Moretti & Guerra, 1997) che ha fatto regredire il mare anche dai bacini precedentemente in subsidenza. La tettonica della Calabria controlla fortemente la morfologia a causa dell'intenso sollevamento che ha generato componenti normali lungo faglie di importanza regionale. Esso, iniziato nel Pliocene Superiore e tuttora in atto, individua morfostrutture primarie che determinano la geometria di primo ordine della regione. Esso è la causa dell'incremento dell'energia del rilievo che genera, a sua volta, un approfondimento diffuso del reticolato idrografico e mantiene alta la magnitudo dei processi di movimento e trasporto in massa e di erosione. Dalla combinazione di strutture tettoniche ereditate e blocchi sollevati, si determinano stili strutturali tipo che condizionano i caratteri geomorfologici del territorio. Inoltre, la tettonica guida lo sviluppo dei processi di degradazione fisico-chimica che si innescano in corrispondenza di anisotropie strutturali, lungo cui, specialmente in litotipi cristallino-metamorfici (Carrara et al., 1982; Matano e Tansi, 1994), si sviluppano movimenti in massa e fenomeni di incisione lineare (Sorriso-Valvo e Tansi, 1996).

I principali elementi morfostrutturali della Calabria sono stati individuati tramite la combinazione di diversi indicatori morfo-tettonici. In primo luogo, sono considerate le scarpate di faglia; le quali determinano versanti rettilinei resi discontinui da movimenti in massa di varia entità e con grado di "freschezza" legati all'età delle dislocazioni e alle caratteristiche dei litotipi interessati. Ampi coni e falde di detrito sono presenti alla base delle scarpate strutturali, essi sono in gran parte rivegetati; pertanto, la loro attività è limitata o addirittura nulla.

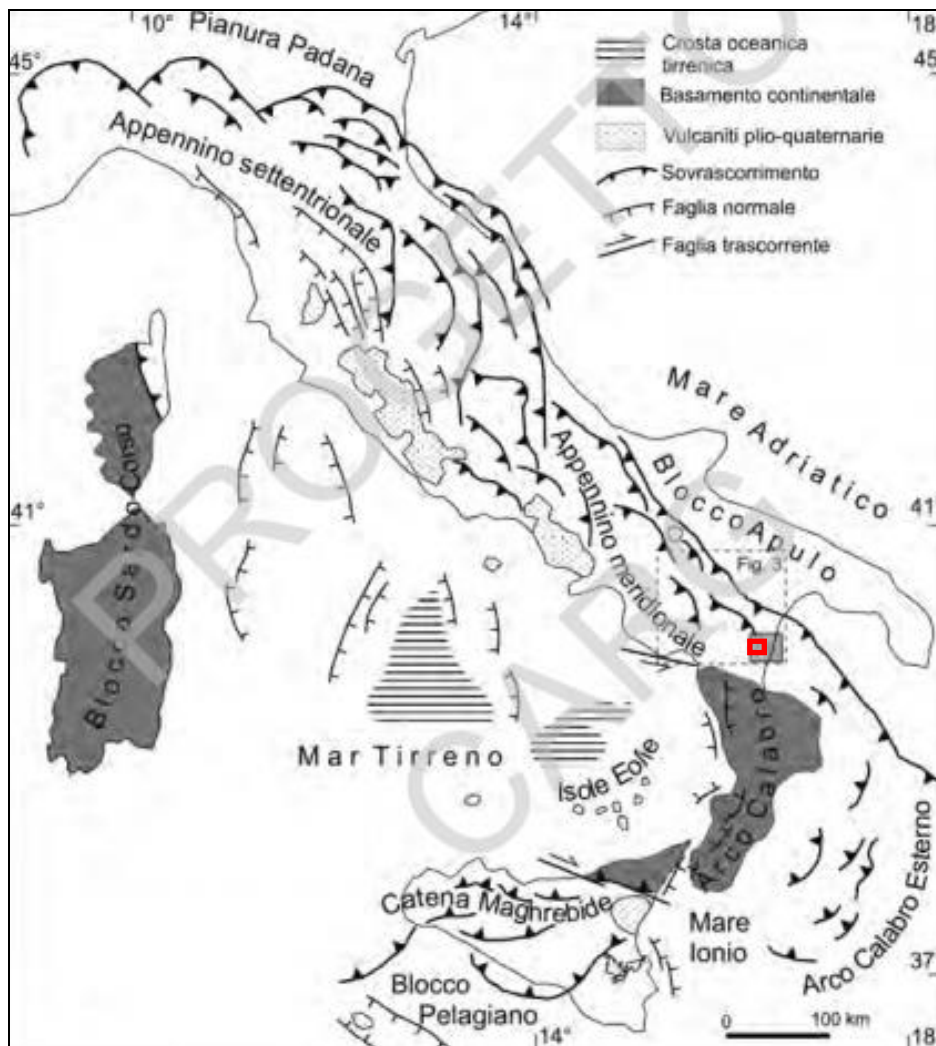


Figura 4-1 – Schema tettonico dell’orogene appenninico-maghrebide (da Catalano et alii, 2004). Nel riquadro rosso è evidenziata l’area in esame.

L'impostazione complessiva dell'area di studio, localizzata in Calabria nord-occidentale, è caratterizzata da unità di spinta a falde. I terreni affioranti in questa zona appartengono al Complesso delle Unità Appenniniche.

Il Complesso delle Unità Appenniniche, infatti, costituisce uno dei tre complessi principali, descritti da Ogniben, 1969 e riportati in Figura 4-2, che compongono l’ossatura della catena montuosa del settore settentrionale dell’Arco Calabro Peloritano. Di queste il complesso delle falde calabridi occupa la posizione geometricamente più elevata ed è costituito da rocce di basamento continentale di età pre-mesozoica e da una copertura sedimentaria meso-cenozoica; la posizione geometricamente intermedia è occupata dalle falde ofiolitiche del Complesso Liguride; mentre le unità carbonatiche appenniniche occupano la posizione inferiore della coltre di falde.

COMPLESSO CALABRIDE	Unità di Longobucco		Unità della Sila
	Unità di Stilo	Unità di Monte gariglione	
	Unità di Polia Copanello		
	Unità di Castagna		
COMPLESSO LIGURIDE	Unità Ofiolitica Superiore	Unità di Bagni (?)	
		Unità di Malvito	
		Unità di Gimigliano-Monte Reventino	
	Unità Ofiolitica Inferiore	Unità di Diamante Terranova	
		Unità del Frido	
COMPLESSO DELLE UNITA' APPENNINICHE	Unità di San Donato		
	Unità di Verbicaro		
	Sequenza tipo Monte Cocuzzo		

Figura 4-2 – Schema dei rapporti strutturali tra le unità tettoniche dell'Arco calabro (da Ogniben, 1973).

L'area di studio del presente lavoro rientra nella media Valle del Fiume Crati (Figura 4-1). La Valle del Fiume Crati occupa la porzione meridionale del Bacino del Crati, un bacino estensionale intermontano di età plio-quadernaria, situato nel settore settentrionale dell'Arco Calabro; in particolare, essa è delimitata a nord dal gruppo montuoso del Pollino, ad ovest dalla Catena Costiera, mentre ad est è bordata dal Massiccio della Sila. Il Bacino del Crati nella sua porzione meridionale si sviluppa longitudinalmente rispetto all'asse della Catena Appenninica a formare un graben delimitato da faglie normali ad andamento N-S (Crati Trough, Colella, 1988). Mentre, nella sua porzione settentrionale, il bacino si sviluppa trasversalmente all'asse della catena Appenninica, definendo la Piana di Sibari, delimitata da faglie ONO-ESE e NE-SO. In corrispondenza di quest'ultimo sistema di faglie, il graben tende ad allargarsi e con la Fossa di Corigliano descrive l'attuale piana Costiera del Fiume Crati e la parte sommersa del bacino che discende nel Mar Ionio.

La piana di Sibari è circondata da un anfiteatro montuoso costituito a Nord, da rocce calcareo-dolomitiche mesozoiche e da terreni flyschiodi mesozoico-terziari appartenenti al gruppo del Pollino, a Sud, invece, dalle rocce cristalline e metamorfiche paleozoiche della Catena costiera della Sila; ad Ovest, dai depositi plio-pleistocenici marini e continentali, argilloso-sabbiosi e conglomeratici dell'area Cassano-Doria.

Gli studi di A. Moretti (2000) sulla neotettonica dell'Italia Meridionale, condotti attraverso rilevamenti geologici e analisi delle immagini da satellite LANDSAT, hanno messo in evidenza i principali sistemi di faglie attive recenti, tra cui una serie di faglie a scalinata, che delimitano a sud la piana di Sibari con direzione compresa tra EO e NO-SE, degradanti verso N nella piana. Tale sistema sembrerebbe essere la causa principale della fratturazione della crosta terrestre, con movimenti legati ad una tettonica di tipo distensivo, a trascorrenza sinistra e con ribassamento verso NE. Questo sistema di faglie rappresenta probabilmente l'elemento che condiziona maggiormente l'instabilità degli assi fluviali superficiali, mentre i lineamenti tettonici a direzione NE-SO (Cherubini et al. 2005) spiegherebbero la tendenza al regolare allineamento dei corsi d'acqua.

4.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

La geologia dell'area in esame è rappresentata, nella sua porzione più superficiale, quasi esclusivamente da depositi continentali Olocenici, in particolare alluvionali derivanti da conoidi di deiezione composti da materiale detritico proveniente dai massicci montuosi adiacenti. I sedimenti sono stati estesamente rielaborati dall'attività fluviale recente ed attuale prevalentemente con cicli di ablazione e rideposizione di materiale grossolano ciottoloso in corrispondenza degli alvei fluviali e deposizione di materiale misto fine-grossolano nelle zone alluvionali interessate da piene.

Le litologie incontrate dalla tratta ferroviaria oggetto di studio sono descritte all'interno della Carta Geologica della Calabria in scala 1.25.000 (Cassa per il Mezzogiorno, 1971). Per unificarne ulteriormente la geologia della tratta in esame sono stati utilizzati i fogli 222 – III – SW e 221 – II – SE (Figura 4-3).

Si descrivono di seguito le unità presenti nei pressi dell'area di progetto; le unità sono riportate in ordine cronostratigrafico dalla più recente alla più antica. Per un'analisi di maggiore dettaglio la loro descrizione, fornita nel seguente capitolo, è stata utilizzata la descrizione presente sul Foglio 535 "Trebisacce" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000 del Servizio Geologico d'Italia e del Progetto CARG, situato in prossimità dell'area di studio poiché il foglio 544 "Terranova da Sibari" in cui ricade la tratta ferroviaria in esame, non risulta essere disponibile.

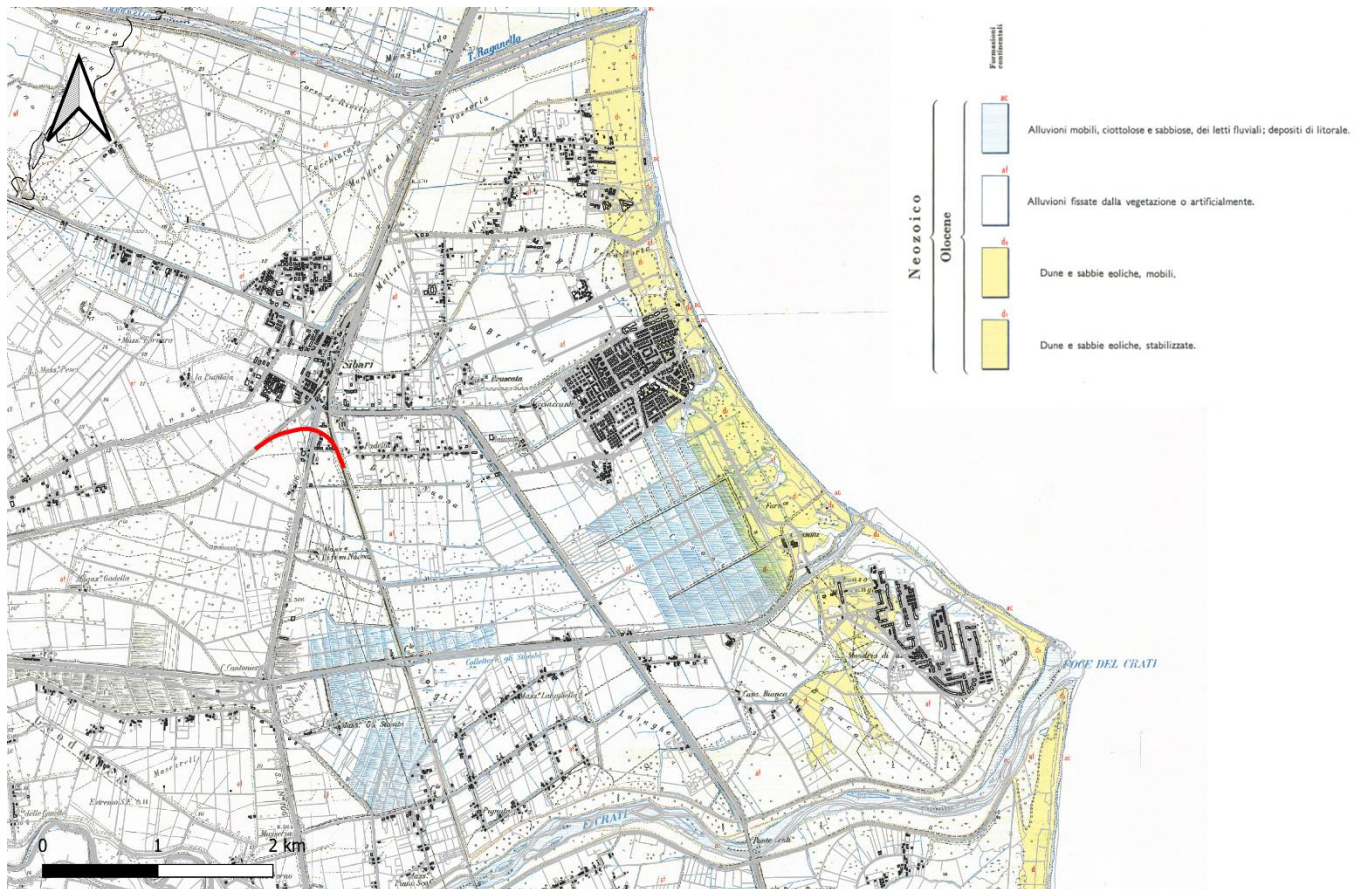


Figura 4-3 – Stralcio della Carta Geologica della Calabria, scala 1: 25.000 (Cassa per il Mezzogiorno, 1971). In rosso è evidenziata la tratta in esame.

Le Unità poste in prossimità del tracciato in progetto sono di seguito riassunte:

Unità Oloceniche e attuali

- *Depositi alluvionali ciottolosi e sabbiosi (ac)*: Essi rappresentano probabilmente i depositi più recenti della zona: sono legati ai letti dei fiumi attuali e ai litorali costieri e sono continuamente rimodellati dalle variazioni geomorfologiche determinate dalle dinamiche fluviali e marine. (Olocene).
- *Depositi alluvionali (a)*: Questi depositi comprendono i materiali alluvionali attuali e recenti non collegati a dinamica geomorfologica fluviale e/o litorale attiva. Si è scelto di accorpare le classi delle alluvioni fissate (**af**) e dei prodotti di soliflussione e dilavamento (**a**), definite nelle diverse legende dei Fogli della Carta Geologica d'Italia considerati. I materiali coinvolti sono simili e comprendono principalmente sabbie, ghiaie, argille e limi con spessore fino a 100 m. Ubiccate lateralmente ai corsi d'acqua principali e fissate dalla vegetazione. Formano conoidi sedimentarie di dimensioni variabili allo sbocco dei corsi d'acqua nelle

zone di pianura, dove passano lateralmente e verticalmente a depositi di piana inondabile costituiti da argille limose e limi argillosi, fino a 70 m. (Olocene).

- *Depositi di frana (df)*: Comprendono corpi di accumulo gravitativo, generati principalmente per scivolamento complesso di corpi argillosi, e coperture detritiche. (Olocene).
- *Depositi sabbiosi eolici stabilizzati (d)*: Sono comprese in questa classe le dune costiere stabilizzate dalla vegetazione che caratterizzano la porzione Ionica del litorale calabrese. (Olocene).

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Da un punto di vista geomorfologico la piana di Sibari si colloca nella porzione più settentrionale del litorale ionico calabrese e risulta alimentata principalmente dagli apporti del F. Crati (il più importante della regione), del F. Coscile e di corsi d'acqua minori tra cui il T. Raganello ed il T. S. Mauro (Figura 4-4). In particolare, la piana costiera si sviluppa al piede di un sistema collinare poco pronunciato, con quote medie variabili tra gli 80 ed i 200 m s.l.m., impostato su litotipi plio-pleistocenici di natura da sabbioso-conglomeratica ad argilloso-siltosa. La piana è limitata verso l'interno da una cerchia di rilievi intagliati e da una serie di superfici terrazzate; Altri elementi geomorfologici della Piana sono rappresentati da conoidi di deiezione fossili, che hanno comportato una pensilità degli alvei provocando l'inalveamento delle aste terminali. Numerosi sono i conoidi di deiezione fossili affioranti e sepolti che i corsi d'acqua hanno formato nella Piana; il più importante, sia per dimensioni sia per forma è il torrente Raganello, nella parte più a Nord dell'area (Figura 4-4). Nella Piana di Sibari, si ha una tendenza alla deposizione nella parte inferiore dei conoidi, con conseguente incisione degli stessi da parte dei corsi d'acqua; naturalmente questo denota un processo di instabilità tra la zona di monte e quella di valle della Piana. Limitandosi ad una estensione di tipo verticale, fino ad una profondità di circa 100 metri al di sotto della Piana, si può affermare che gli acquiferi più importanti sono rappresentati da livelli ghiaioso-sabbiosi intercalati nelle argille grigio-azzurre di origine marina, rappresentanti le pulsazioni tettoniche dei cicli sedimentari e dai depositi sabbiosi e ghiaioso-sabbiosi di riempimento delle paleovalli presenti. Tali depositi risultano essere intercalati a livelli argilloso-limosi impermeabili che costituiscono condizioni per cui le falde acquifere si portino in pressione. Nell'intera Piana di Sibari lo spessore dei depositi alluvionali si aggira attorno ai venti metri.

In particolare, la Piana di Sibari viene considerata un graben (Cherubini et al., 1994), bordato da differenti sistemi di faglie di rilevanza regionale in parte ancora attive (Cinti et al., 2002). Essa è affetta da una significativa subsidenza le cui cause sono da imputare più ad un effetto di compattazione del sedimento che non all'attività tettonica (Guerricchio & Ronconi, 1997; Cherubini et al., 2000; 2005; Pagliarulo, 2006). La subsidenza è stata un fattore di controllo dell'evoluzione idrografica dell'area nel periodo Neolitico-attuale. Tale evoluzione è stata inoltre controllata sia dalla risalita eustatica del livello marino (Lambeck, et al., 2004), in particolare tra 8000 e

6000 BP, sia dall'ormai nota variabilità climatica submillenaria, degli ultimi 5000 anni (Lamb, 1982; Shackleton, 1988; Ortolani & Pagliuca, 2007; Marabini, 2007).

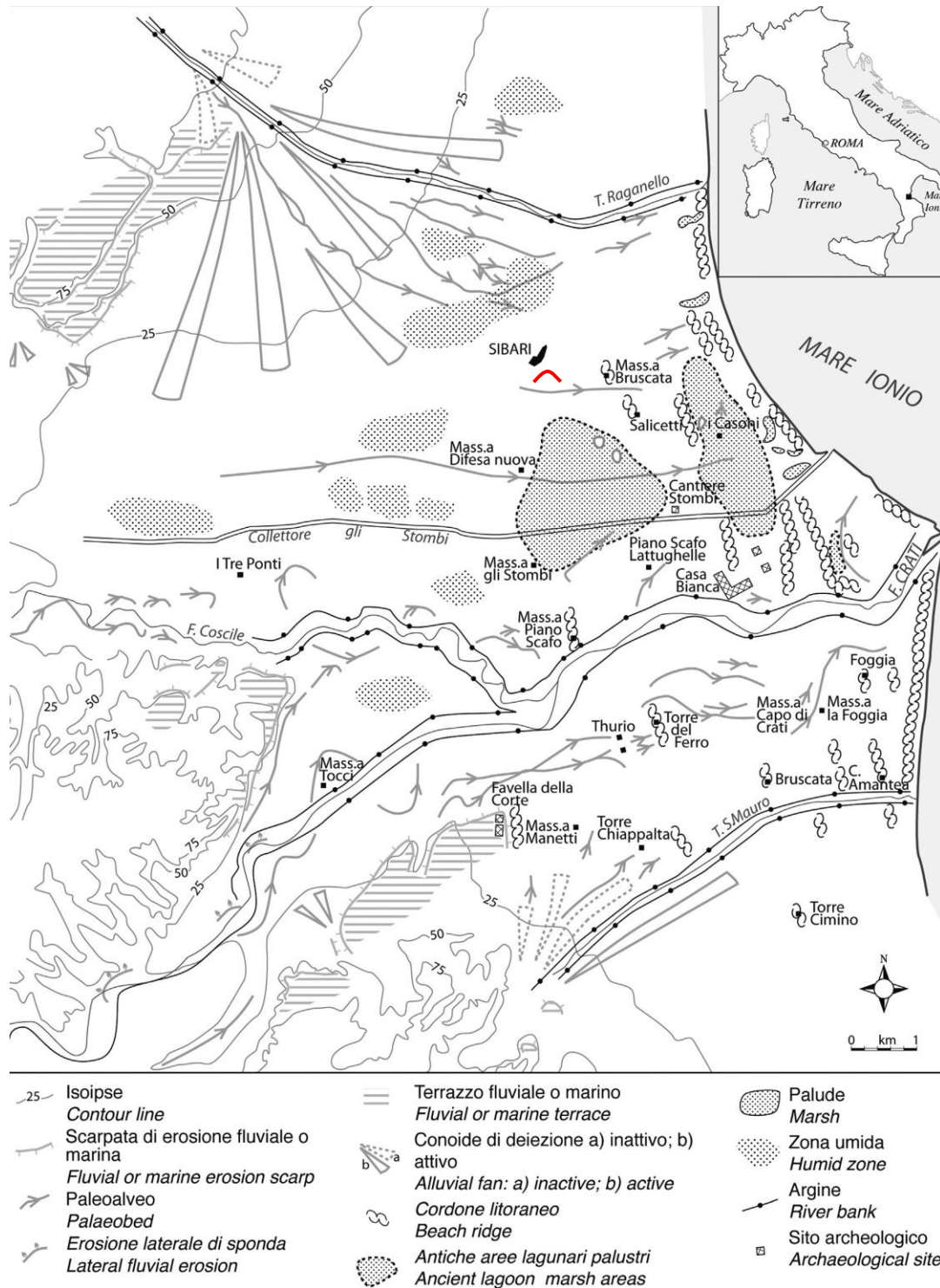


Figura 4-4 - Ubicazione dell'area e lineamenti morfologici della Piana di Sibari (Bellotti et al., 2009). In rosso è evidenziata la tratta in esame.

La presenza di fauna litorale e la notevole variabilità tessiturale dei sedimenti presenti nei venti metri terminali dei sondaggi effettuati nell'area costiera della Piana di Sibari (dati in parte riportati in Cherubini et al., 1994; Pagliarulo, 2006, e in parte inediti), lasciano supporre che al termine dell'ultimo sollevamento glacioeustatico (circa 6000 BP) l'area fosse caratterizzata da un'insenatura piuttosto articolata per la presenza di più o meno importanti foci fluviali. La linea di riva decorreva, presumibilmente, prossima all'attuale isoipsa di 25 metri (Guerricchio & Ronconi, 1997). Il parziale colmamento dell'insenatura, che ha portato alla situazione attuale, è avvenuto per lo sviluppo di conoidi prodotti da corsi d'acqua che dissecano la dorsale del Gruppo del Pollino, ma soprattutto per gli apporti del F. Crati che hanno configurato l'attuale delta cuspidato (Bellotti et al., 2003). Tale processo è avvenuto con un continuo mutare dell'idrografia superficiale.

Il neolitico (7000÷4800 BP) coincide pressappoco con la massima ingressione marina verificatasi in seguito alla risalita postglaciale del livello marino. Il livello del mare era circa 20 metri più in basso dell'attuale (Antonioli et al., 2004; Pagliarulo, 2006) e la riva bordava il terrazzo di Favella della Corte (Figura 4-5). La scarpata del terrazzo rivolta verso mare, ben più pronunciata in altezza rispetto all'attuale, costituiva una ripa al piede della quale si stendeva una spiaggia. Il F. Crati scorreva a ridosso della scarpata settentrionale del terrazzo e sfociava probabilmente circa 2 km più ad est di Favella della Corte. In questa zona l'apporto del F. Crati induceva una certa progradazione della linea di riva. Diversamente, più a nord, il F. Coscile, che sfociava nella zona più interna dell'insenatura, non apportava sufficiente sedimento per indurre lo stesso ritmo di progradazione e, conseguentemente, l'area era caratterizzata dalla presenza di ampie aree palustri. La zona più settentrionale del golfo era caratterizzata dall'ampio deposito di delta-conoide del T. Raganello, i cui depositi ammantavano il terrazzo sottostante addolcendone la pendenza. I sedimenti di questo periodo giacciono oggi localmente anche oltre i 30 metri di profondità.

Nell'intervallo di tempo tra i 4.800 e i 2.700 BP, il livello del mare salì nell'area fino a circa -2/-3 m rispetto all'attuale e il paesaggio neolitico venne sepolto sotto vari metri di sedimento. La foce del F. Crati migrò verso nord di circa 3 km e progradò oltre 2 km; tale avanzamento è testimoniato da tracce di paleoalvei fra Torre del Ferro e Masseria Capo Crati visibile da foto aeree (Figura 4-5). In quel periodo, il tratto finale del F. Crati scorreva in prossimità del bordo meridionale di un bacino costiero più orientale rispetto alle aree palustri neolitiche ormai sepolte. Occasionalmente il fiume sfociava (probabilmente con canali secondari ed effimeri) direttamente nella laguna. In questo periodo a clima fresco e soprattutto umido (Lamb, 1982; Shackleton, 1988), definito "Piccola Età Glaciale Arcaica, il F. Crati doveva aver esondato ripetutamente e consistentemente soprattutto verso nord dove era presente l'area topograficamente più depressa probabilmente mantenuta tale dalla locale subsidenza. Tra il 2400 e il 1400 BP il paesaggio si evolve ulteriormente. Il corso del Crati si allontana dal bordo della laguna posizionandosi leggermente più a sud e la foce prograda lentamente fino ad avanzare di circa un chilometro. La maggiore aridità

climatica del periodo caldo-arido tardo romano (1800÷1600 BP - Caliro et al., 1997), costituì probabilmente un rallentamento della progradazione. A sud della foce si svilupparono i beach ridges, il cui accrescimento era favorito da processi di deposito eolico in particolare nelle fasi aride, e risultavano tra loro più ravvicinati rispetto a quelli sviluppatasi precedentemente ad indicare avanzamenti limitati tra le fasi di stazionamento della linea di riva.

La locale subsidenza insieme al peggioramento climatico alto-medioevale (oscillazione in senso fresco-umido) e soprattutto quello legato alla Piccola Età Glaciale favorirono il seppellimento del paesaggio tardo-romano. In questa sorta di palude si accumularono limi più o meno sabbiosi, nerastrì. In questi sedimenti era nota la presenza di un contenuto faunistico scarso con presenza di bivalvi (in particolare Cerastoderma) e gasteropodi. Tali sedimenti contengono inoltre frammenti di ceramica e laterizi probabilmente trasportati negli eventi alluvionali.

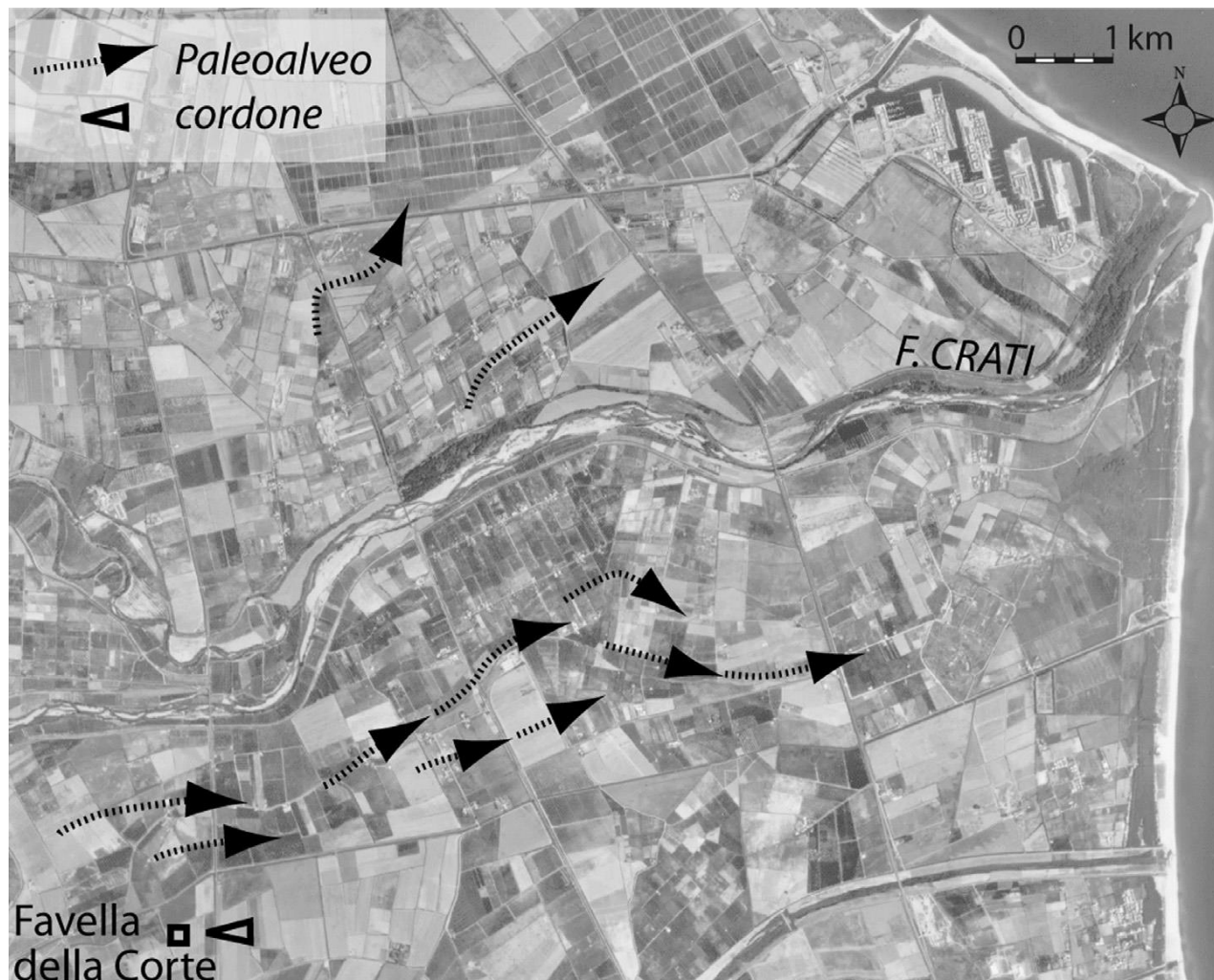


Figura 4-5 - Stralcio di un'immagine del "Volo Italia 1989÷90" in cui sono indicate le posizioni di un beach ridge presumibilmente neolitico e di palealvei del F. Crati del periodo greco-romano.

Questa situazione permase per parte del Medioevo. I rilievi di terreno hanno permesso di osservare come i sedimenti passino verso l'alto a limi e limi sabbiosi giallastri sterili, talvolta con laminazione da ripple. Tali sedimenti possono ascrivere ai ripetuti eventi alluvionali, con prevalenza dei fenomeni di tracimazione, che si verificarono nel tardo Medioevo e durante la Piccola Età Glaciale. Fenomeni di avulsione nei tratti terminali dei fiumi Crati e Coscile causarono ripetute confluenze e separazioni dei due fiumi testimoniando l'intenso disordine idrico che afflisse l'area per lungo tempo. Piccoli ed effimeri stagni interdunari, testimoniati da alcuni livelli di peliti organiche reperiti in alcuni sondaggi manuali, si formarono in prossimità della riva man mano che questa progrediva.

4.3.1 Subsidenza

La fascia costiera è un ambiente morfologico sedimentario vulnerabile e in continua modificazione in tempi molto brevi, da stagionali ad annuali. Essa è priva di fenomenologie geomorfologiche quali frane attive, quiescenti o inattive, ma presenta fenomeni di subsidenza che interessano estesamente la zona di Sibari, il tratto di fascia costiera del rossanese e di Mirto, di Punta Alice, Crotona, fino a Catanzaro Marina (Figura 4–6). I materiali che costituiscono la piana costiera sono rappresentati sia dalle alluvioni fissate dalla vegetazione che dalle dune e dalle sabbie eoliche mobili e stabilizzate.

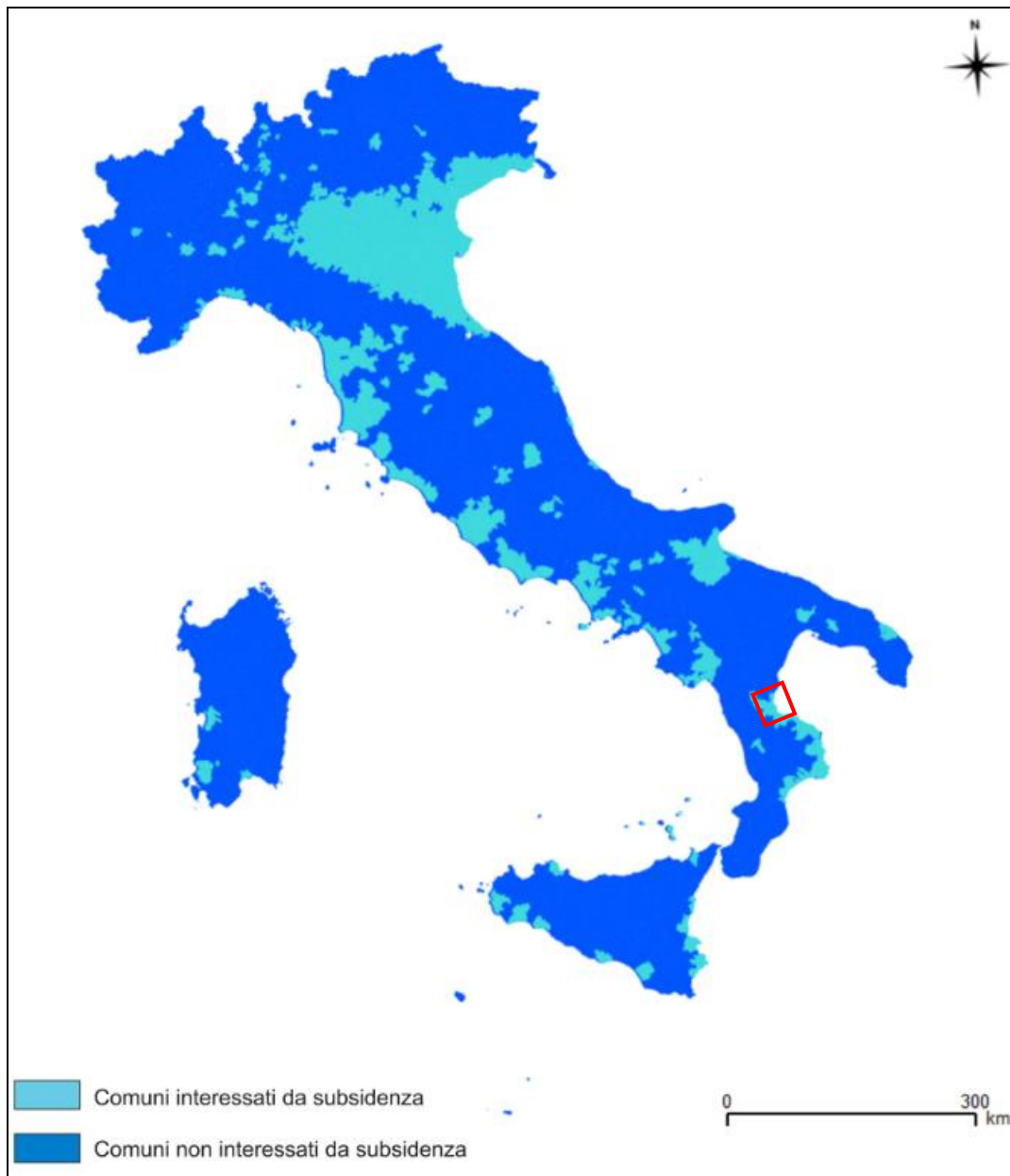


Figura 4-6 – Carta dell'Italia rappresentante le aree soggette a subsidenza. Il riquadro rosso indica l'area di interesse.

I fenomeni di subsidenza sono particolarmente diffusi e datati nell'area della Sibaritide e della costa ionica centrale e meridionale. Le cause connesse al processo morfodinamico sono da imputare innanzitutto a fattori geologici e geotecnici dei terreni (depositi suprapliocenico-pleistocenici), localmente accelerati dal prelievo idrico delle modeste riserve di falda mediante pozzi, nonché lo sfruttamento di giacimenti di idrocarburi gassosi sia lungo la costa che principalmente nell'offshore. Entrambi gli emungimenti sono causa di diffusa e comprovata subsidenza del piano campagna (Palmieri, 1992; Agip, 1998; Guerricchio et alii, 2000, 2001).

La subsidenza della Piana di Sibari:

La recente evoluzione geologica della Piana di Sibari è stata guidata dai tassi di subsidenza e di risalita eustatica del livello marino (Lambeck et al, 2004), nonché da quelli degli apporti fluviali, in particolare dei fiumi Crati e Coscile. Durante l'Olocene l'area si è trasformata, attraverso ripetute fasi di progradazione, da un'articolata insenatura ad una piana costiero/deltizia con sviluppo di aree lagunari/palustri la cui persistenza è stata favorita dai forti tassi di subsidenza. Il tasso della subsidenza connessa alla consolidazione per peso proprio dei sedimenti pleistocenici ed olocenici, stimato al netto delle variazioni di quota di natura tettonica e glacioeustatica (Cotecchia et al., 1971; Pagliarulo et al 1995; Coop e Cotecchia, 1977), è andato via via riducendosi, ma negli ultimi decenni la velocità di abbassamento del suolo è diventata importante anche per cause antropiche. L'area è oggi caratterizzata dal delta del F. Crati, che mostra una conformazione bialare cuspidata, e da una serie di conoidi di deiezione che ne bordano il margine interno. La Piana di Sibari costituisce un'anomalia nell'ambito di un sollevamento generalizzato di tutta l'area nord calabrese. La subsidenza (Antronico et al., 2006) nell'area in esame è il risultato dell'interazione di tre processi principali: i) tettonica; ii) variazioni eustatiche del mare; iii) compressione primaria dei sedimenti. Negli ultimi anni sono stati condotti studi e misure volti a caratterizzare la variabilità spatio-temporale della deformazione recente tra la Piana di Sibari e il massiccio del Pollino attraverso lo studio dei movimenti tettonici costieri verticali a breve e medio termine (1-100 Ka) e delle strutture tettoniche attive. Nell'area, sismicamente silente, si suppone che la compressione sia terminata nel Pleistocene medio e non siano presenti strutture sismogenetiche estensionali, ma si riscontrano forti sollevamenti regionali. Le variazioni della linea di costa sono il risultato dell'equilibrio tra i livelli del mare e le diverse fasi di sovralluvionamento del fiume Crati. La linea di costa ha subito sin dalla fine del Pleistocene grandi variazioni influenzando gli ambienti di sedimentazione e innescando movimenti verticali nel livello di base dei corsi d'acqua. La componente attiva nel fenomeno è la compressione primaria dei sedimenti; i dati stratigrafici indicano che i sedimenti si intercalano in maniera caotica e marcano la presenza di tre differenti complessi di strati entro i primi 115 m di profondità: sabbie e ghiaie alluvionali, materiale molto fine e plastico ed infine ghiaie. Emerge pertanto con evidenza che la compattazione "a gravitazione" dei sedimenti quaternari, accumulatisi nella piana con grande rapidità durante la trasgressione pleistocenica e olocenica, incide da tempi geologici sull'evoluzione delle quote assolute dei terreni della piana.

Un recente studio (Stanley e Bernasconi, 2012) ha valutato la subsidenza media nel sito archeologico di Sibari, posto nella piana di Sibari a 4 km a sud est rispetto all'area di progetto, tra 0.5 e 1 mm/anno con massimi locali di 3.2 o 4 mm/anno. Tali velocità sono dello stesso ordine di grandezza delle risultanze dei dati InSAR (2016-2021), resi disponibili dal progetto Copernicus nell'ambito del progetto European Ground Motion Service (EGMS), di cui si riporta uno stralcio in Figura 4-7. Tali dati, similmente a quanto osservato dall'analisi dei dati InSAR tra il 2003

e il 2013 (Cianflone et al., 2015) mostrano che la distribuzione della componente verticale sull'area costiera (da Villapiana Lido a Marina di Schiavonea) è caratterizzata da subsidenza con velocità fino a circa 20 mm/anno; al contrario, le aree marginali della Piana di Sibari mostrano un abbassamento molto minore (quasi nullo). Nell'area archeologica di Sibari, invece, il tasso di subsidenza misurato tra il 2003 e il 2013 è di circa 2 mm/anno (Envisat) e circa 3 mm/anno (COSMO-SkyMed) (Figura 4-8).

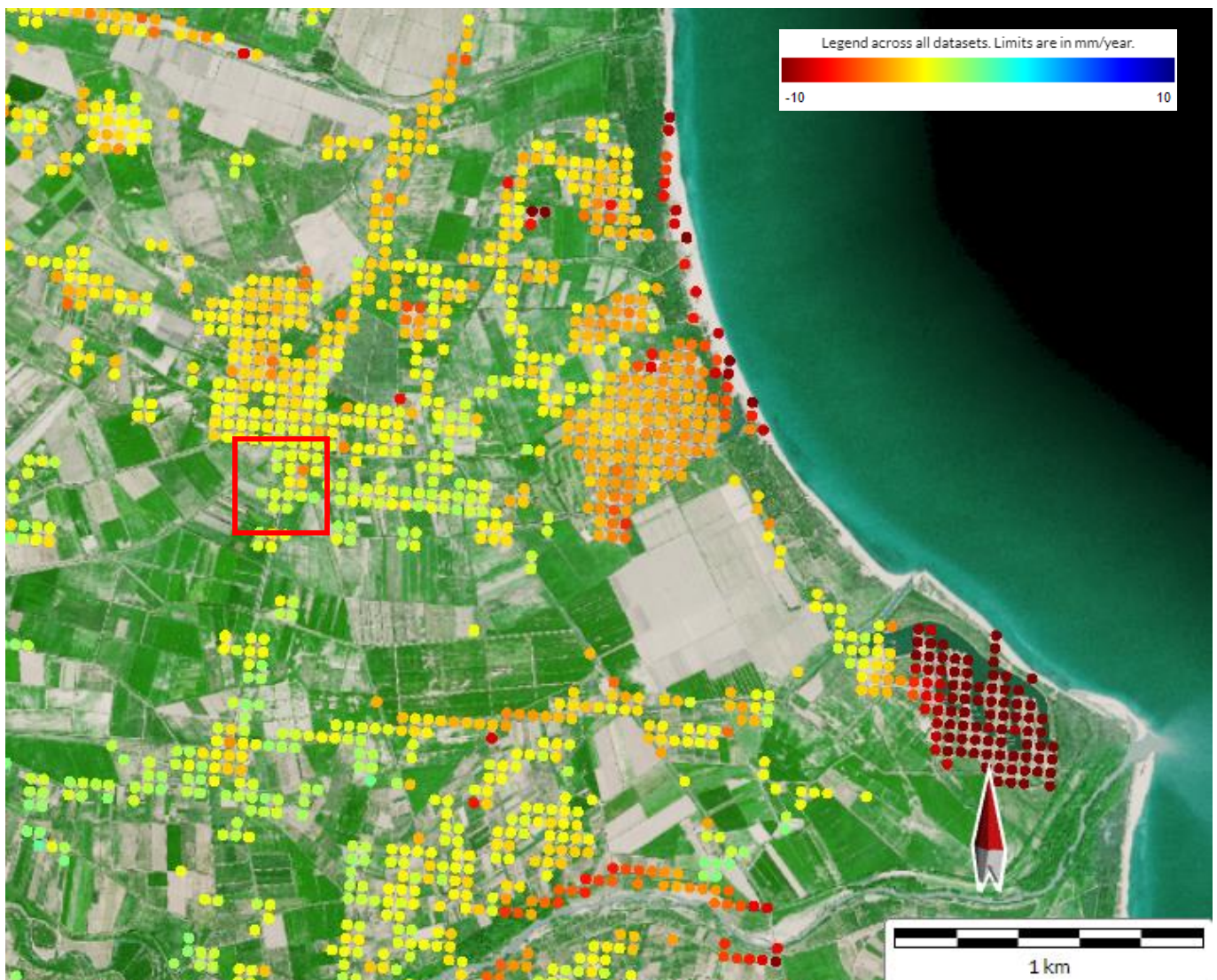


Figura 4-7 – Stralcio dei dati InSAR (2016-2021) degli spostamenti verticali del progetto EGMS (Copernicus). Nel quadrato rosso è evidenziata l'area di progetto.

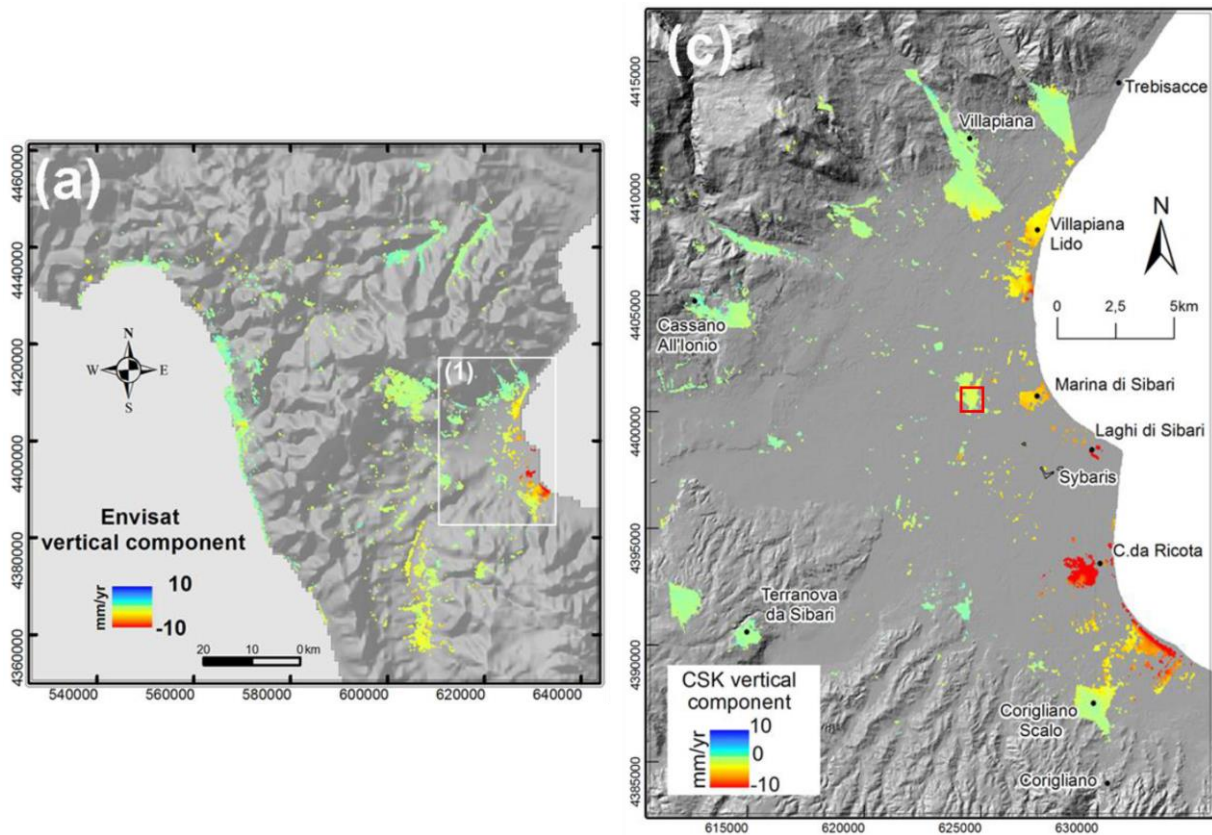


Figura 4-8 - Componenti della velocità di deformazione media calcolate da Envisat (a) e COSMO-SkyMed (c) per la piana di Sibari (Cianflone et al., 2015). Nel riquadro rosso è riportata l'area in esame.

4.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il reticolo idrografico della regione Calabria è fortemente condizionato dalla morfologia, la quale risulta controllata dalla tettonica, di conseguenza l'approfondimento del reticolato idrografico risulta molto intenso ed i limiti dei principali bacini mostrano buone corrispondenze con le principali strutture tettoniche (Sorriso-Valvo & Sylvester, 1993). Oltre che la morfologia molto tormentata, anche la breve distanza che intercorre fra i principali sistemi montuosi ed il mare ed il rilevante sviluppo costiero rispetto all'estensione territoriale, fanno sì che i corsi d'acqua siano caratterizzati da bacini imbriferi generalmente molto modesti, da breve corso in pianura e da forte pendenze longitudinali (Versace et alii, 1989).

I fiumi della Calabria non presentano generalmente uno sviluppo significativo, questo è dovuto alla forma stretta e allungata della regione ed alla disposizione dei rilievi montuosi, di conseguenza i corsi d'acqua assumono un carattere torrentizio. Fanno eccezione il Crati e il Neto (versante ionico settentrionale), i fiumi più lunghi, che sfociano entrambi nel Mar Ionio.

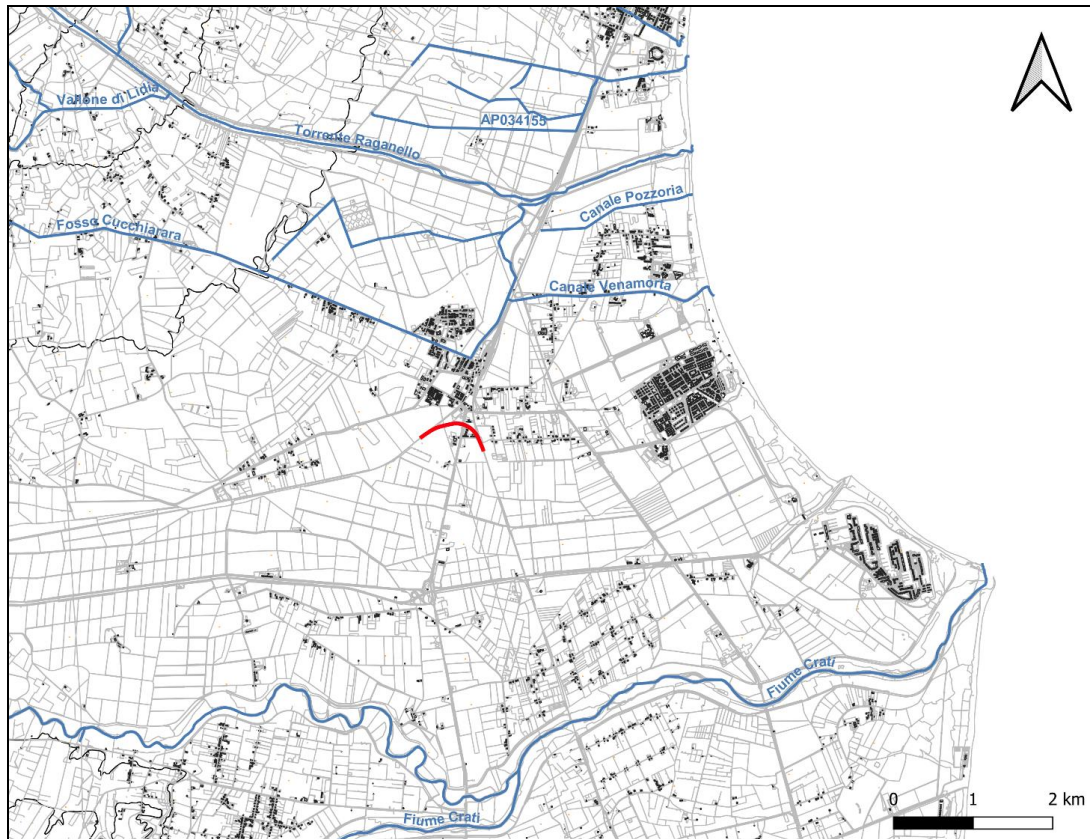


Figura 4-9 - Idrografia nei pressi dell'area di progetto (in rosso la linea ferroviaria in progetto).

4.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

4.5.1 Complessi idrogeologici

I terreni appartenenti alle diverse unità stratigrafico-strutturali, di età compresa tra il Paleozoico ed il Tortoniano, costituiscono la maggior parte degli affioramenti riscontrabili nel territorio della regione Calabria; in minor misura sono rappresentati i terreni più recenti, costituiti da depositi detritici che ricoprono localmente, ed in prevalenza lungo le fasce costiere. I terreni affioranti in corrispondenza dell'area oggetto di studio sono stati assimilati, in base alle prevalenti caratteristiche di permeabilità ed ai relativi rapporti di sovrapposizione tettonica, al "Complesso dei depositi detritici recenti", descritto successivamente, identificato nell'ambito del Piano Gestione Acque del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/>) e sul Piano Tutela Acque della Regione Calabria:

- *Complesso dei depositi detritici recenti*: depositi di età pleistocenica ed olocenica, comprendenti detriti di falda, coni di deiezione, alluvioni attuali e terrazze, terrazzi marini e dune costiere. I detriti di falda

costituiscono accumuli soprattutto ai piedi delle dorsali calcaree e dolomitiche. I coni di deiezione, presenti allo sbocco dei corsi d'acqua torrentizi nelle valli principali, si differenziano dai precedenti depositi per la presenza di clasti con parziale grado di arrotondamento e di classazione. I maggiori coni di deiezione si hanno sul versante sud del M. Pollino, tra Francavilla Marittima ed il F. Saraceno, presso Frascineto e presso Castelluccio Inferiore, al limite dei depositi lacustri del Mercure. Le alluvioni attuali e terrazzate sono particolarmente sviluppate lungo la costa ionica, tra la foce del F. Crati e Catanzaro. Si tratta di depositi ghiaioso-ciottolosi e subordinatamente ghiaioso-sabbiosi presenti ai lati e lungo l'alveo dei principali corsi d'acqua tributari dello Ionio (Crati, Trionto, ecc.). I terrazzi marini sono particolarmente sviluppati lungo il golfo di Sibari e nei dintorni di Reggio Calabria. Localmente si hanno anche piccoli lembi di dune costiere costituite da sabbie grossolane. La permeabilità primaria è variabile in funzione della granulometria, da media ad alta nei termini prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e più ridotta per presenza di intercalazioni argilloso-siltose. Analogamente si riscontra nei depositi ghiaioso-sabbiosi dei terrazzi marini la presenza di materiale di natura argillosa che riduce in parte la permeabilità. Valori di permeabilità da medi a bassi si hanno nei depositi alluvionali sabbioso-argillosi e argilloso-limosi del fondovalle del F. Mercure e nei depositi alluvionali sabbiosi e sabbioso-siltosi della piana di Sibari e del Golfo di Squillace. Nella piana di Sibari i depositi mostrano tuttavia un passaggio graduale dalle alluvioni sabbiose presenti alla confluenza dei fiumi Crati e Coscile, alle alluvioni ciottolose delle zone periferiche.

Tra i depositi detritici recenti, gli acquiferi alluvionali di fondo valle dei principali corsi d'acqua e delle pianure costiere costituiscono il tema idrogeologico di maggiore interesse dell'intera regione per volumi di risorse immagazzinate e per favorevoli condizioni logistiche e quindi di sfruttamento. Si tratta di acquiferi porosi caratterizzati da valori medi di permeabilità sull'ordine di 10^{-3} - 10^{-5} m/s, con valori localmente più alti (10^{-2} - 10^{-4} m/s) in presenza di termini ghiaioso-sabbiosi e valori più bassi (10^{-4} - 10^{-6} m/s) in corrispondenza dei depositi costituiti prevalentemente da sabbie fini e argille o limi, caratteristici dei materiali semipermeabili. I valori della porosità efficace variano dal 5% al 20% in relazione alla granulometria prevalente. A questi depositi si aggiungono i livelli conglomeratici dei vari ordini di terrazzi marini e fluviali dove la permeabilità è da media a bassa per la presenza di abbondante matrice sabbioso-siltosa. Diversamente si comportano i depositi sabbioso-limosi fluvio-lacustri in cui la permeabilità diminuisce notevolmente. Tra le formazioni caratterizzate da permeabilità per fessurazione, valori elevati della permeabilità si riconoscono in gran parte del complesso calcareo-dolomitico dei massicci settentrionali. All'interno della rete acquifera originata dalla tettonica si sviluppa infatti un'attiva circolazione idrica che alimenta le importanti manifestazioni sorgentizie del versante settentrionale, localizzate in territorio lucano, e quelle del versante meridionale, localizzate in territorio calabro.

Le falde di maggiore potenzialità sono localizzate nelle aree con maggiore estensione e spessore dei depositi alluvionali e conglomeratico-sabbiosi delle pianure e delle fasce costiere dei versanti tirrenico e ionico e nelle aree di affioramento dei termini calcareo-dolomitici al confine calabro-lucano. Nel versante ionico le falde di maggiore interesse si collocano nel bacino del Fiume Crati, nel tratto a monte della stretta di Tarsia, dove l'estesa conoide del Fiume Mucone da origine ad un consistente deposito detritico, e principalmente a nord, dove il corso d'acqua si immette nell'ampia depressione di Sibari, nella quale convergono anche i deflussi provenienti dai massicci carbonatici del gruppo del Pollino. Le falde sono alimentate da un esteso bacino che si spinge a sud fino a Cosenza e a nord sino al limite della regione ed in cui affiorano terreni di varia natura.

La cartografia tematica inerente al PAI della Regione Calabria, in particolare la carta della permeabilità in scala 1: 250.000 (Figura 4–10), fornisce un'indicazione di massima riguardo alle caratteristiche di permeabilità dei terreni attraversati dalla linea ferroviaria oggetto di ammodernamento. Come osservabile in Figura 4–10, la tratta ferroviaria è situata in corrispondenza di terreni a permeabilità molto elevata. Naturalmente la cartografia qui riportata è a grande scala, e fornisce un quadro generale delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.



PERMEABILITÀ MOLTO ELEVATA	PERMEABILITÀ MEDIO-ELEVATA	PERMEABILITÀ BASSA
PERMEABILITÀ ELEVATA	PERMEABILITÀ MEDIA	PERMEABILITÀ MOLTO BASSA

Figura 4–10 – Stralcio della carta della permeabilità della Regione Calabria, in scala 1: 250.000. La linea rossa schematizza il percorso della linea ferroviaria oggetto di studio.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 27 di 73

Per quanto concerne la permeabilità dei depositi attraversati dalla linea ferroviaria è possibile fornirne una stima sia a partire da dati bibliografici, sia da dati provenienti da prove in foro eseguite a supporto della progettazione. Facendo riferimento ai dati ottenuti dalle prove Lefranc eseguite nel sito di progetto, con valori compresi tra 10^{-6} - 10^{-8} m/s, ai depositi alluvionali può essere associata una permeabilità da medio-bassa a bassa.

Per un'analisi più dettagliata per l'area oggetto di studio, nel corso delle indagini sono state eseguite, a varie profondità, prove di permeabilità del tipo Lefranc a carico variabile, i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.

4.5.2 *Acquifero di Sibari*

Di seguito si fornisce un inquadramento idrogeologico della Piana di Sibari reperito dal Piano Tutela Acque della Calabria. L'area della Piana di Sibari, fondata tra il fiume Crati ed il Coscile, è caratterizzata da materiale alluvionale, proveniente dal disfacimento del massiccio cristallino silano, costituito da un miscuglio di limi, sabbie e ghiaie, poggiante su un letto impermeabile argilloso-limoso (Tenuta et al., 2017). Ciò determina la presenza di un'unica falda alluvionale contenuta in un vasto serbatoio permeabile ed alimentata, oltre che dal flusso sotterraneo da monte, anche dalle precipitazioni dirette e dalle perdite dei corsi d'acqua che scorrono nella zona (Tenuta et al., 2017). Nella Piana di Sibari, così come nel resto della Calabria, è in atto una tendenza di allargamento dei cunei salini nelle falde acquifere, in corrispondenza delle zone a più alto sfruttamento agricolo, degradando gli acquiferi per processi di salinizzazione. Oltre ai fenomeni oggettivi climatologici, che riguardano maggiormente il basso e l'alto Ionio, determinanti sono le cause antropiche (Regione Calabria, 2002). Nella Piana sfociano vari corsi d'acqua (Figura 4-11) con trasporto solido molto elevato, alimentato soprattutto dai corpi delle frane attive nei terreni *flyschiodi* affioranti nei bacini montani, veicolati attraverso le piene che nel passato hanno avuto caratteri eccezionali. Tali eventi hanno prodotto un notevole sovralluvionamento dei corsi d'acqua per l'improvvisa perdita della loro capacità di trasporto, passando dalle aree montane a quelle di pianura. I depositi presenti in quest'area sono assimilabili al complesso dei depositi detritici recenti ed al complesso conglomeratico-sabbioso-argilloso (Figura 4-12).

L'area in questione è costituita da una serie di depositi continentali, in particolare alluvionali derivanti dai conoidi, dello spessore di circa 150 metri in prossimità della costa, che risultano essere permeabili per porosità di interstizi e che risultano essere poggiati su sedimenti di origine marina praticamente impermeabili. Su tale basamento preplioceno, poggiano terreni trasgressivi santerniani, costituiti da conglomerati passanti verso l'alto da argille grigio-azzurre, con intercalazioni più o meno frequenti di livelli sabbiosi e conglomeratici. L'ambiente della Sibaritide risulta essere una zona retrodunale di tipo palustre-lagunare.

In Figura 4-13 è stata riportata la carta della conducibilità idraulica in cui, l'area inerente alla zona di studio risulta avere valori di k dell'ordine di $10E-4$ m/s. I dati puntuali ottenuti dalle prove di permeabilità nell'intorno del

Bacino idrogeologico nell'area di Sibari, a diverse profondità, hanno fornito valori di k compresi tra $10E-6$ e $10E-8$ m/s (valori riportati in Tabella 5-3). Tali valori differiscono dai valori della mappa della conducibilità idraulica per il Bacino di Sibari poiché le indagini geognostiche sono state effettuate in corrispondenza di sedimenti fini caratterizzati da una permeabilità più bassa.

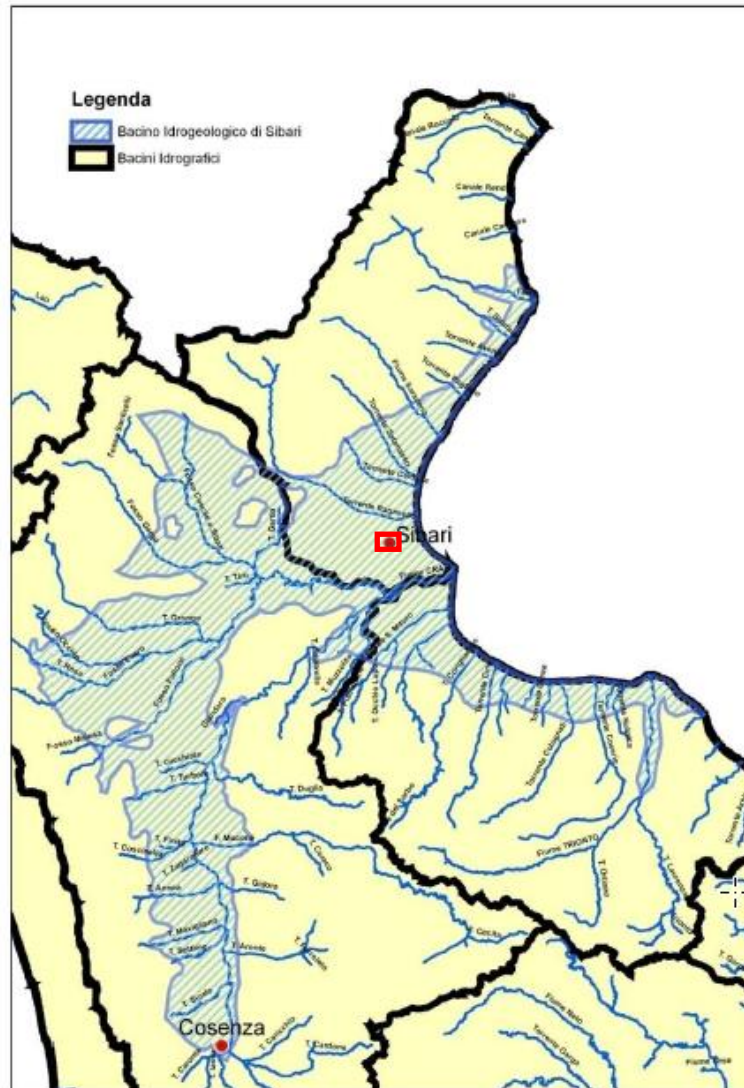


Figura 4–11 – Bacino idrogeologico nell'area di Sibari. Nel riquadro rosso l'area oggetto di studio – Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria, Allegato G-Caratterizzazione idrogeologica

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	29 di 73

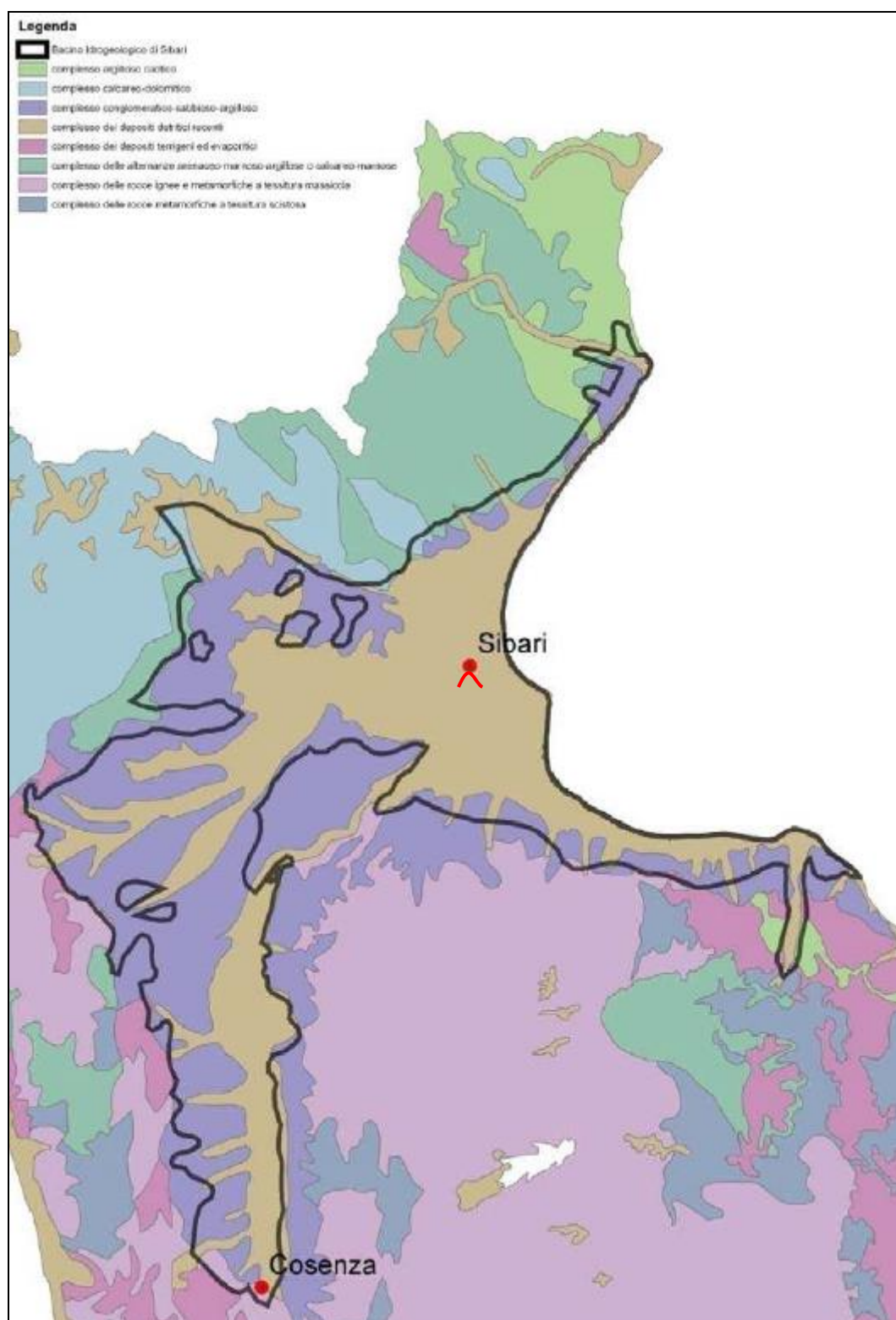


Figura 4-12 – Complessi acquiferi nell’area di Sibari. In rosso la linea ferroviaria oggetto di studio – Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria, Allegato G- Caratterizzazione idrogeologica

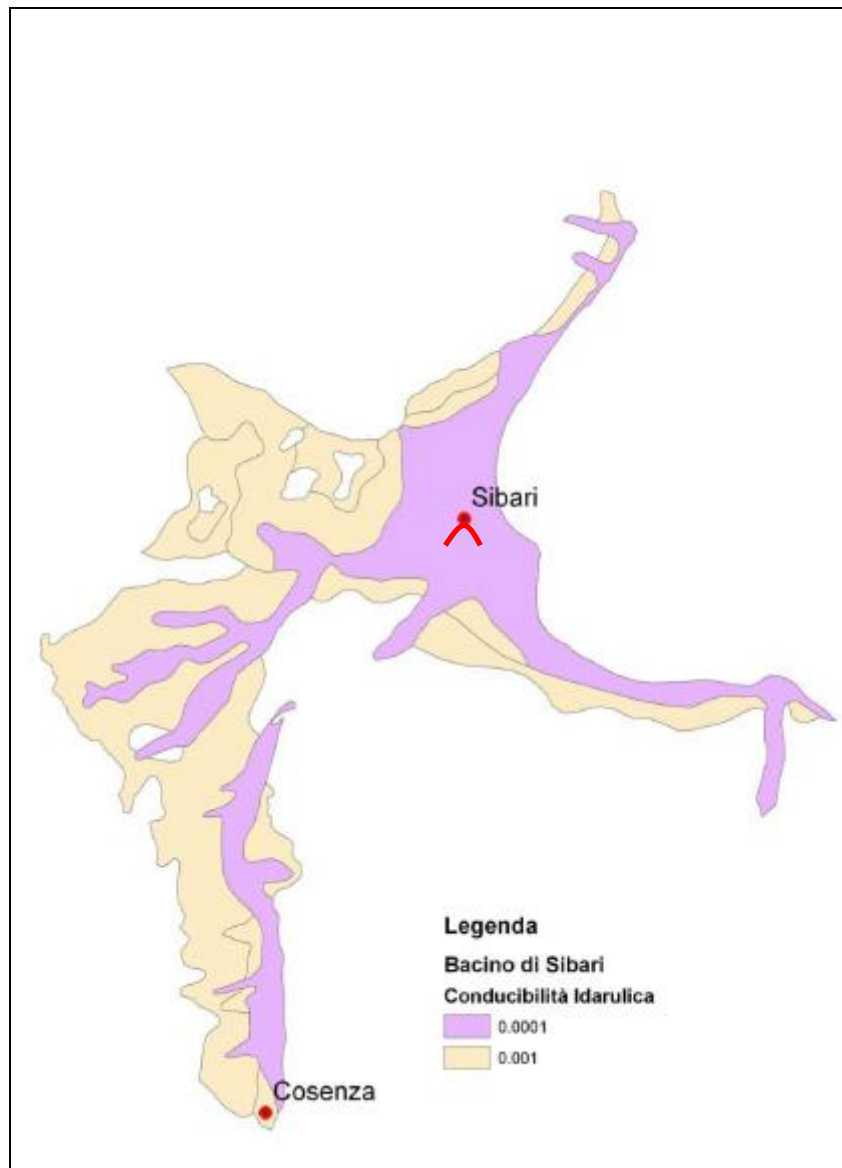


Figura 4-13 – Mappa della conducibilità idraulica per il Bacino di Sibari. In rosso la linea ferroviaria oggetto di studio
– Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria, Allegato G- Caratterizzazione idrogeologica

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 31 di 73

5 INDAGINI

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano esclusivamente dalle risultanze di indagini geognostiche (RC2V00R69SGGE0000001A) e geofisiche (RC2V00R69IGGE0000001A), realizzate da Italferr nel 2022-2023, nell'ambito della presente fase progettuale.

5.1 INDAGINI ITALFERR 2022-23

Le indagini realizzate per la progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica della Bretella di Sibari comprendono:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità comprese tra i 40 e i 60 m da p.c., con esecuzione di prove di permeabilità a carico variabile tipo Lefranc e prove SPT. Questi, inoltre, sono attrezzati con piezometro a tubo aperto e di Casagrande;
- n. 4 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU;
- n. 6 prove geofisiche di tipo MASW e n. 4 prove di tipo geofisico di tipo HVSR per la definizione dell'azione sismica di progetto;
- n. 1 prova down-hole (Sondaggio S2-DH);
- n.6 indagini sismiche a rifrazione tomografica.

In Tabella 5-1 si riporta identificativo, profondità, data di esecuzione, quota e coordinate WGS84 delle indagini geognostiche (sondaggi e prove penetrometriche statiche) eseguite nei mesi di dicembre 2022 e gennaio 2023. Nei fori di sondaggio sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche, i cui risultati sono riportati in

Tabella 5-2 in termini di valori N_{spt} , e prove di permeabilità di tipo Lefranc, delle quali si riportano i valori di permeabilità in Tabella 5-3. Inoltre, in Tabella 5-4 si riporta l'ubicazione delle prove geofisiche e i relativi risultati, in termini di V_{seq} e categoria di sottosuolo (secondo quanto riportato sulle NTC2018), mentre in

Tabella 5-5 riporta la posizione delle tomografie sismiche a rifrazione.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	32 di 73

Tabella 5-1–Indagini geognostiche eseguite per il progetto di fattibilità tecnica economica – Bretella di Sibari (Italferr 2022/2023).

INDAGINI GEOGNOSTICHE						
ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS 84		ATTREZZATURA
				E	N	
S1-Pz	40,00	04-11/01/2023	6	16°26'54.09"	39°44'30.40"	Piezometro Casagrande (35 m da p.c.)
S2-DH	60,00	03-15/12/2022	6	16°27'11.18"	39°44'33.14"N	Down Hole
S3-Pz	60,00	20-28/12/2022	6	16°27'14.23"	39°44'31.42"	Piezometro Casagrande (38 m da p.c.)
CPTU-1	12,00	21/12/2022	6	16°26'51.31"	39°44'28.71"	-
CPTU-2	14,20	21/12/2022	6	16°26'58.48"	39°44'32.30"	-
CPTU-3	16,00	22/12/2022	6	16°27'19.09"	39°44'28.19"	-
CPTU-4	14,20	22/12/2022	5	16°27'21.29"	39°44'23.28"	-

Tabella 5-2 – Valori di Nspst risultanti da prove SPT nei sondaggi da S1-Pz, S2-DH, S3-Pz

Profondità	ID SONDAGGI – NSPT		
	S1-PZ	S2-DH	S3-PZ
2	4	-	9
2,65	-	15	-
5	-	14	-
6	-	-	15
6,55	14	-	-
7,25	-	18	-
8	-	-	14
8,7	17	-	-
12	-	-	8
13	-	38	-
13,5	32	-	-
15,7	-	-	27
17	-	42	-
17,7	39	-	-
18	-	-	35
20	-	41	36
21,3	35	-	-

Tabella 5-3 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio.

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S1-Pz	1,30	3.54E-06
S1-Pz	8,70	2.06E-08
S2-DH	2,65	1.85E-07
S3-Pz	1,10	5.14E-07
S3-Pz	8,65	9.49E-07

Tabella 5-4 – MASW eseguite per il PFTE – Bretella di Sibari (Italferr 2023).

PROVE GEOFISICHE					
ID	DATA ESECUZIONE	Coordinate WGS 84		V _{Seq} (m/s)	Categoria suolo (NTC 2018)
		E	N		
MASW01	Gennaio 2023	16.448317°	39.741556°	233	C
MASW02	Gennaio 2023	16.451707°	39.742717°	223	C
MASW03	Gennaio 2023	16.451298°	39.741916°	214	C
MASW04	Gennaio 2023	16.454301°	39.742395°	189	C
MASW05	Gennaio 2023	16.455460°	39.740592°	212	C
MASW06	Gennaio 2023	16.454340°	39.740924°	204	C

Tabella 5-5 – Indagini sismiche a rifrazione tomografica eseguite per il PFTE.

ID	Coordinate WGS84	
	E	N
Tomografia Sismica a Rifrazione L_1 A/B	16.446132°	39.740201°
Tomografia Sismica a Rifrazione L_2	16.450659°	39.743085°
Tomografia Sismica a Rifrazione L_3	16.452665°	39.741429°
Tomografia Sismica a Rifrazione L_4	16.453534°	39.742516°
Tomografia Sismica a Rifrazione L_5A/B	16.454943°	39.742380°
Tomografia Sismica a Rifrazione L_6	16.453474°	39.741014°

6 MODELLO GEOLOGICO

Nel presente paragrafo si descrive la stratigrafia delle aree di studio sulla base della consultazione delle indagini disponibili realizzate per il presente progetto (paragrafo 5).

L'area di studio si imposta interamente su depositi alluvionali recenti prevalentemente sabbiosi, limosi e argillosi a deposizione in ambiente fluvio-lacustre (af), descritti al paragrafo 4.2. La stratigrafia dell'area di progetto è stata ricostruita mediante i dati ricavati dai sondaggi S1-PZ, S2-DH, S3-PZ e dalle CPTU-01, CPTU-02, CPTU-03, CPTU-04. In particolare, lungo l'opera in progetto sono state realizzate una sezione geologica e una sezione idrogeologica, riportate rispettivamente negli elaborati RC2V00R69L5GE0001001A e RC2V00R69L5GE0002001A.

Tutti i sondaggi precedentemente citati hanno individuato materiale vegetale e terreno rimaneggiato nel primo metro circa di profondità dal p.c. Partendo da Ovest, lungo la sezione della tratta ferroviaria in esame, si trova il sondaggio S1-PZ (tra le p.k. 0+900 e la p.k. 0+850), la stratigrafia riporta per il primo metro terreno vegetale sopra a circa 4 metri di sabbia fine limosa di colore marrone, umida, poco addensata, le quali poggiano al di sopra di circa 8 metri di argilla con limo debolmente sabbioso di colore grigio appartenente a depositi fluvio-lacustri (af). Il livello argilloso tra i 5 e i 10 metri circa di profondità si estende probabilmente anche a est e a ovest del sondaggio S1-PZ, come evidenziato dai risultati delle prove penetrometriche CPTU-01 e CPTU-02. Proseguendo fino alla profondità di 40 m il sondaggio S1-PZ ha rinvenuto sabbie limose di colore grigio, di ambiente alluvionale, con la presenza di lenti ghiaiose metriche alla profondità di 15 e 34 metri da p.c.. Inoltre, alla profondità di 31.50 m dal p.c. si è verificata una fuoriuscita di acqua in pressione e gas.

Proseguendo verso est (tra la p.k. 0+450 e la p.k. 0+400) lungo il profilo è ubicato il sondaggio S2-DH; i dati stratigrafici riportano per il primo metro terreno rimaneggiato, sopra a circa 5 metri di limo debolmente argilloso di colore grigio (af). Tra i 7 e gli 8 m circa di profondità è presente una lente di sabbia mal classata limosa con colorazione a bande grigie e ocra rinvenuta anche nel sondaggio S3-PZ che poggia su circa 5 metri di argilla con limo di colore grigio rinvenuta anche nei sondaggi S1-PZ e S3-PZ. Proseguendo fino alla profondità di 37 m dal p.c. è presente sabbia fine con limo di colore grigio. Tra i 37 e i 48 metri di profondità si rinviene limo sabbioso argilloso di colore grigio, con livelli lignitici; molto umido, da mediamente consistente a consistente con l'aumentare della profondità. Da quota 44 a 44.50 m dal p.c., è presente uno strato di torba nerastra contenente gusci di bivalvi. Infine, dalla profondità di 58 m dal p.c. fino a fondo foro (60 m dal p.c.) è presente sabbia mal classata con ghiaia poligenica di colore grigio, satura.

Procedendo verso est (tra la p.k. 0+350 e la p.k. 0+000) si trovano il sondaggio S3-PZ e le prove penetrometriche statiche CPTU-03 e CPTU-04. Il sondaggio identifica terreno vegetale nei primi 0.80 m dal p.c. sopra a circa 7

metri di limo argilloso sabbioso di colorazione irregolare a bande marrone/ocra chiaro, depositi di ambiente fluvio-lacustre (af). Tra i 7 e gli 8 m circa di profondità dal p.c. è presente una lente di sabbia mal classata limosa con colorazione a bande grigie e ocra. Proseguendo, fino ai 16 m di profondità è presente una lente di argilla limosa umida, consistente. Tale livello argilloso lo si individua anche a ovest del sondaggio S3-PZ, mediante i valori bassi della resistenza alla punta, registrati dalle prove penetrometriche CPTU-03 e CPTU-04. Dalla profondità di 13.80 fino a 16 m dal p.c. si trovano, come nel sondaggio S3-PZ, livelli di lignite torbosa sopra a circa 26 metri di sabbia fine limosa di colore grigio, umida, satura, con intercalazioni di lenti limoso argillose alla profondità di 38 m dal p.c. Tra i 37 e i 39 metri dal p.c. durante il sondaggio, si è avuta una intensa risalita di gas e acqua con spargimento abbondante di sabbia. Proseguendo fino alla profondità di 60 m si ha un'alternanza di livelli limoso-sabbiosi-argillosi con intercalazioni di livelli torbosi intorno ai 45 m di profondità dal p.c.

Nei sondaggi S1Pz e S3Pz a una profondità compresa tra i 30 e i 40 m durante la perforazione è stata registrata, come descritto precedentemente, risalita di gas. In particolare, nel sondaggio S3Pz il gas è presente in corrispondenza di livelli caratterizzati da presenza di lignite; si ipotizza dunque che sia originato da decomposizione di materia organica.

6.1 MODELLO IDROGEOLOGICO

All'interno dei sondaggi S1-PZ e S3-PZ, come riportato al paragrafo 5.1, sono stati installati piezometri Casagrande, rispettivamente a 34,5 e a 38 m di profondità da p.c., per misurare il livello di falda.

Dai dati raccolti durante l'esecuzione dei sondaggi la falda è stata misurata a pochi metri di profondità da p.c. (0,2-3,0 m); inoltre durante la perforazione del sondaggio S1-PZ è stata individuata una falda in pressione alla profondità di 31,5 m da p.c, mentre nel sondaggio S3-PZ una falda in pressione è stata intercettata tra 37 e 39 m di profondità da p.c.

Nell'area di progetto all'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite delle prove di permeabilità Lefranc al fine di caratterizzare le litologie presenti nell'area di progetto; mediante i risultati di tali prove, riportati al paragrafo 5.1, si è provveduto a identificare dei corpi con caratteristiche idrogeologiche omogenee. All'interno del profilo, tracciato lungo la tratta in progetto, partendo dal p.c, fino a una profondità di circa 14 metri si rinvennero depositi a permeabilità bassa che comprendono corpi sedimentari prevalentemente limoso-argillosi e argilloso-limosi a deposizione in ambiente fluvio-lacustre. La permeabilità, esclusivamente per porosità, si attesta, mediamente tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. All'interno di questi depositi, come evidenziato dalle prove Lefranc, eseguite nei sondaggi S1-Pz e S3-Pz si hanno zone a permeabilità più elevata ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s) in corrispondenza di depositi più grossolani.

Proseguendo in profondità, si incontrano depositi con una permeabilità più elevata, questa classe comprende corpi sedimentari principalmente sabbiosi, localmente ghiaiosi, con matrice limosa e sabbioso-limosa a deposizione in

**Relazione geologica, geomorfologica,
idrogeologica e sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	36 di 73

ambiente alluvionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, si attesta mediamente tra $1 \cdot 10^{-3}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. All'interno di questi depositi a una profondità compresa tra circa 38 e 47 metri come evidenziato nei sondaggi S2-DH e S3-Pz si rinviene localmente una lente di limo sabbioso argilloso di colore grigio, con livelli lignitici caratterizzati da una permeabilità più bassa che si attesta mediamente tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 37 di 73

7 ANALISI DELLE CRITICITA' DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO E IDRAULICO

Di seguito vengono descritti i vincoli di tipo geologico che interessano l'area di studio, in riferimento alle normative nazionali.

Per quanto concerne i rischi di natura geologico-geomorfologica e idraulica è stata analizzata, per le aree di progetto, la cartografia tematica resa disponibile dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI, <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>) e dall'Autorità di Bacino del Distretto dell'Appennino Meridionale (<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/>) con il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI 2022) e il Piano Stralcio per l'Erosione Costiera (PSEC 2021).

Il Piano Stralcio per l'Erosione Costiera e le relative Norme di Attuazione disciplinano le aree costiere soggette a pericolo di erosione/arretramento della linea di riva. Nel Piano non sono contemplate le aree costiere soggette a pericolo d'inondazione per mareggiata e quelle a pericolo di crolli da falesia o di frana. La tratta ferroviaria oggetto di studio è ad una distanza di 4 km dalla linea di costa e quindi non soggetta a pericolo di erosione/arretramento dell'area costiera.

7.1 PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO

Per quanto riguarda la pericolosità da fenomeni franosi nell'area di progetto, è stata consultata la cartografia resa disponibile elaborata dall'ISPRA per l'inventario dei fenomeni franosi (progetto IFFI; <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>) (Figura 7-1) e dall'Autorità di Bacino del Distretto dell'Appennino Meridionale per il PAI, la quale comprende, sia la cartografia della pericolosità da frana, sia la cartografia del rischio (Figura 7-2).



Figura 7-1 – Stralcio del progetto IFFI (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>), in rosso l'area di studio.

Dalla carta inventario dei Fenomeni Franosi ricavata si evince che l'area oggetto di studio non è interessata da fenomeni di dissesto.

Le Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) aggiornate al 2022 con D.P. N. 9/ADB del 06/05/2021 identifica quattro categorie di pericolosità (P) e rischio (R) geomorfologico: grado molto elevato (P4, R4), elevato (P3, R3), medio (P2, R2), moderato (P1, R1) e basso (P0).

Relazione geologica, geomorfologica,
idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	39 di 73



Figura 7-2 - Stralcio della Pericolosità di frana dalla cartografia PAI, in rosso l'area di studio.

Dalla figura ottenuta (Figura 7-2) si evince che l'area oggetto di studio, non risulta interessata da dissesti geomorfologici o pericolosità legata ad eventi franosi.

7.2 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

Per quanto concerne la pericolosità e i rischi di natura idraulica è stata analizzata la cartografia PAI aggiornata al 2022, resa disponibile dall'Autorità di Bacino del Distretto dell'Appennino Meridionale (<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/>).

Nel presente paragrafo viene riportata la cartografia redatta dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria della pericolosità idraulica per la tratta ferroviaria in esame. La cartografia in particolare riporta quattro categorie di pericolosità ovvero P0 – bassa, P1 – moderata, P2 – media, P3 – elevata, P4 – molto elevata.

Come è possibile notare dallo stralcio riportato in Figura 7–3, l'area di studio non è interessata da corsi d'acqua di dimensioni significative e quindi da pericolosità e rischio idraulico ad essi correlati.



Figura 7–3 - Stralcio della pericolosità idraulica dalla cartografia PAI, in rosso l'area di studio.

7.3 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO

Per quanto concerne la cartografia del Vincolo Idrogeologico è stata riportata e analizzata la carta del PAI dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria pubblicata nel 2001 non essendo reperibile una cartografia più aggiornata. L'opera in progetto non si trova in una zona soggetta a Vincolo Idrogeologico secondo il Regio Decreto Legge n. 3267/1923 (Figura 7-4).

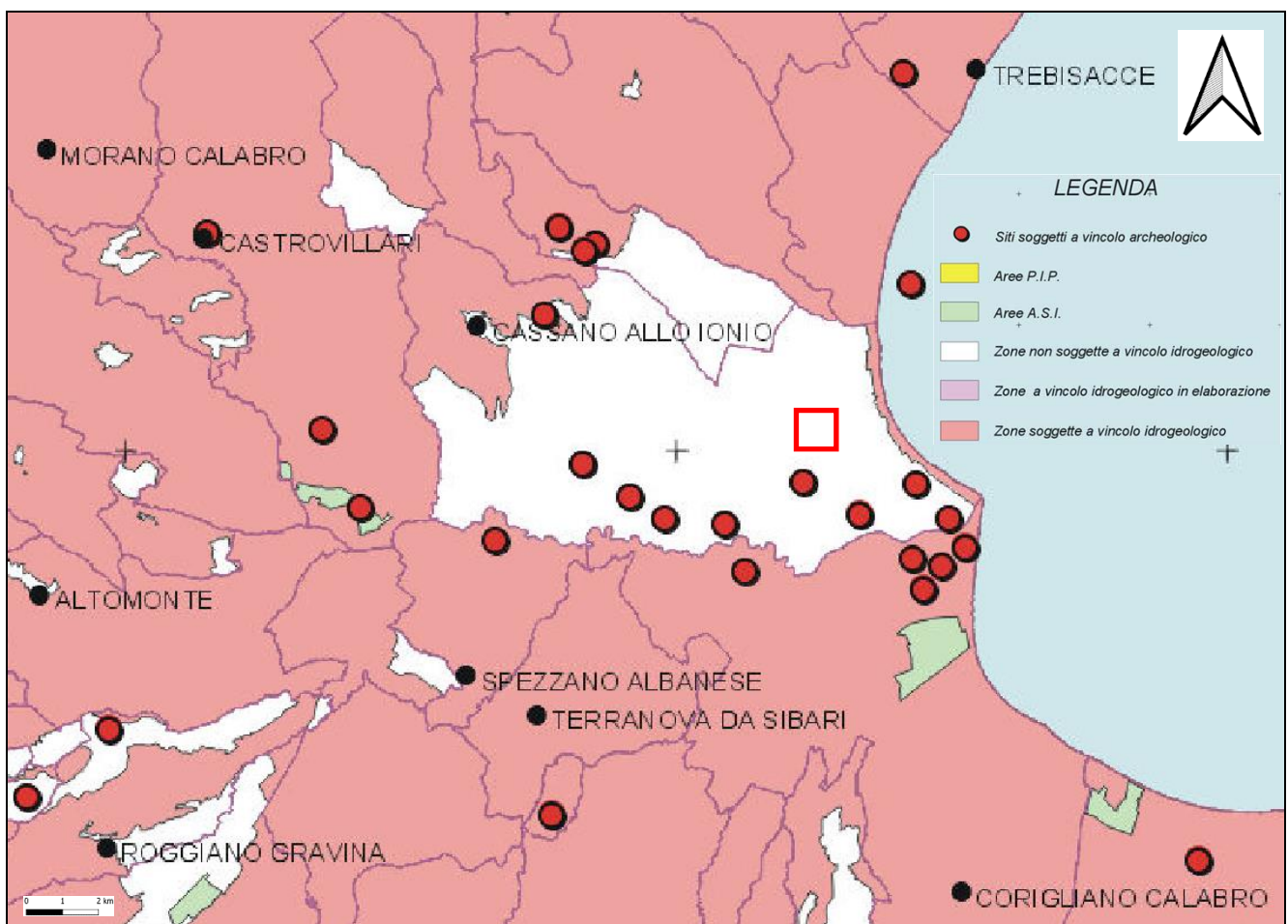


Figura 7-4 - Carta dei Vincoli dell'Autorità di Bacino Regionale della Regione Calabria, (PAI, 2001). Nel riquadro rosso è delimitata l'area di studio.

8 INQUADRAMENTO SISMICO

8.1 PREMessa

Nel seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e dei risentimenti macrosismici osservati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, sulla scorta delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Seguendo sempre le indicazioni normative, l'accelerazione di progetto si definirà in base all'effettiva localizzazione delle opere.

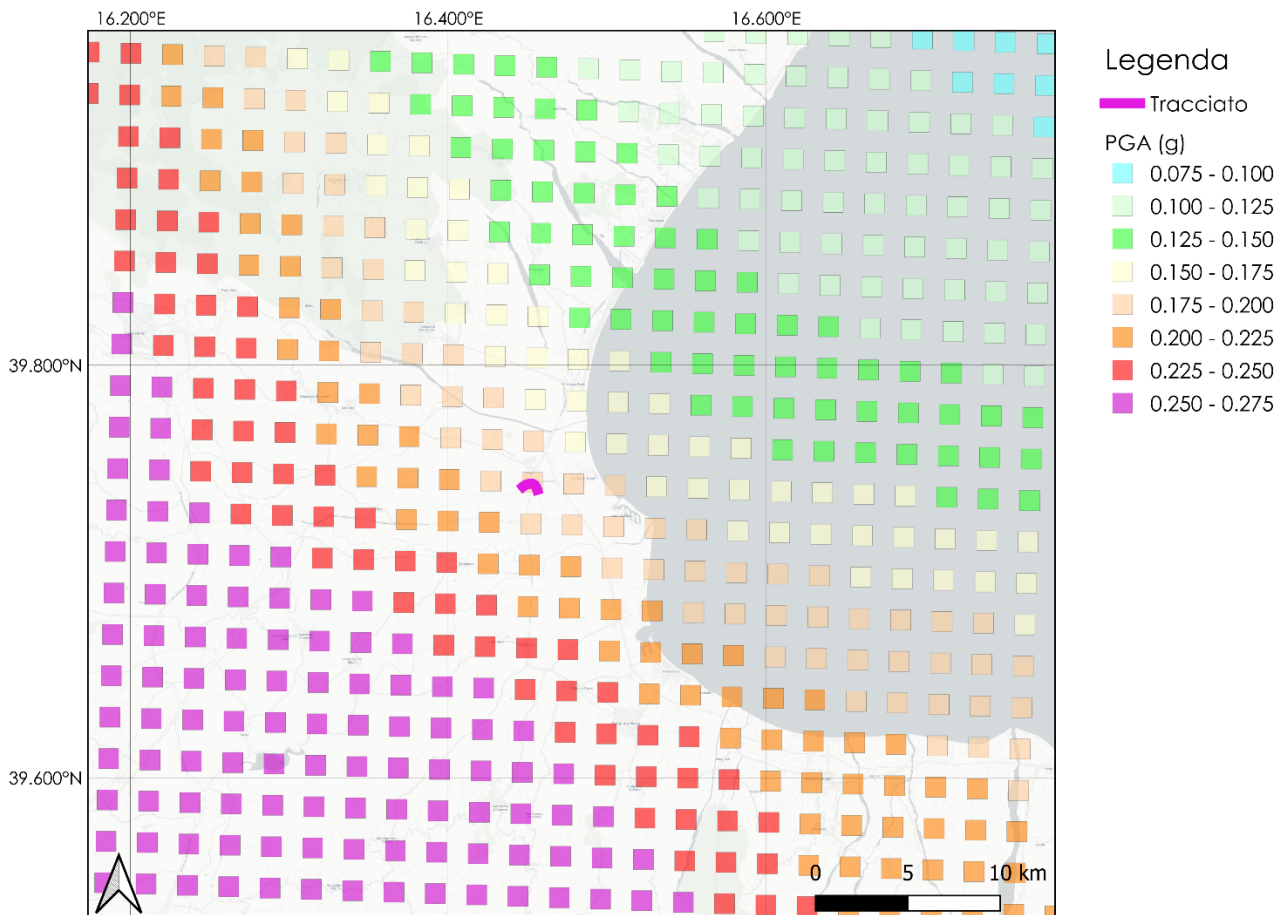


Figura 8-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione su suolo rigido (g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni nell'intorno del tracciato di progetto, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

Si ricorda che, ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1), facendo riferimento alle tabelle in allegato alla edizione 2008 delle NTC; tali tabelle (non aggiornate nella nuova edizione delle Norme) elencano i valori di accelerazione massima al suolo ed i parametri spettrali in corrispondenza di una griglia di punti con apertura 5x5 km distribuiti sul territorio nazionale.

Per la localizzazione del tracciato, può essere fatto riferimento alla figura sottostante (Figura 8–2).

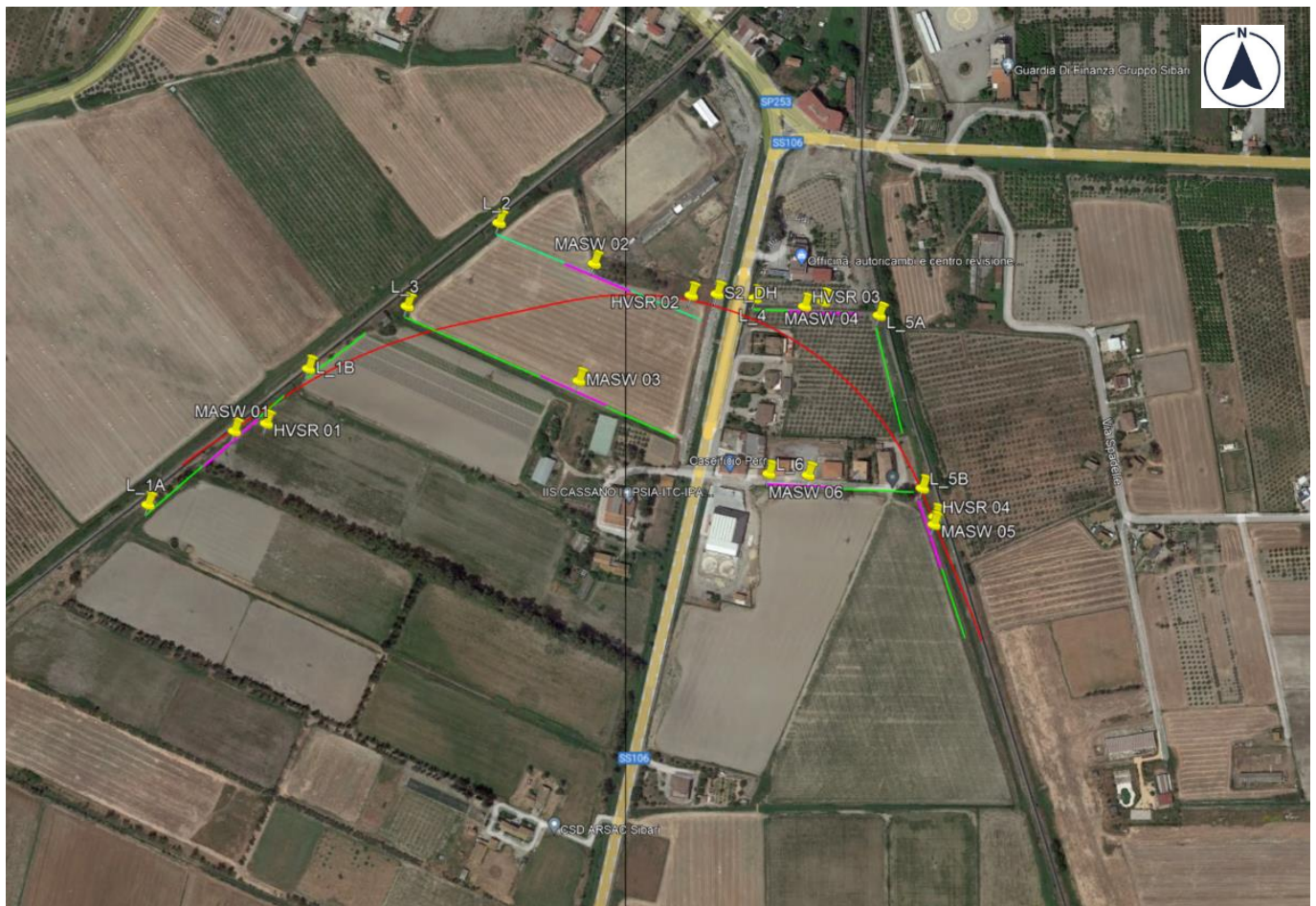


Figura 8–2 – Immagine aerea dell'area di studio, con ubicazione delle indagini eseguite, in rosso il tratto ferroviario in progetto.

8.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

La struttura dell'arco calabro, frammento alpino formato da rocce cristallino-metamorfiche, è stata soggetta ad un trasporto orogenetico verso l'area del Mediterraneo a seguito degli stress tettonici derivanti dall'avvicinamento tra la placca africana e quella europea. L'intero territorio calabro è sede di un'intensa deformazione crostale che si manifesta attraverso sistemi attivi di faglie normali e trascorrenti, portando la regione ad essere una tra le più attive dal punto di vista sismico d'Italia e, più in generale, dell'area del Mediterraneo Centrale.

La Calabria risulta attraversata da un sistema di faglie in piena attività, che si sviluppa dalla Valle del Crati (a Nord), passa per lo Stretto di Messina, fino alla Sicilia orientale. Tali faglie rappresentano settori ad elevato rischio sismico, originando la quasi totalità dei terremoti catastrofici che hanno colpito la Calabria in epoca storica: il terremoto della Valle del Crati del 1183 (M=6.74), la crisi sismica della Calabria meridionale del 1783 (M=6.62-7.02), terremoti della Calabria centrale del 1638 (M=7.03) e del 1905 (M=7.04), i terremoti del Cosentino del 1835 (M=6.20), 1854 (M=6.21) e 1870 (M=6.10), fino al terremoto di Reggio e Messina del 1908 (M=7.10).

In termini strettamente sismologici, la Figura 8-3 mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 v4.0 (Rovida et al., 2022). Assieme agli epicentri sono riportate le sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano associata alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018).

All'interno dell'area calabra si identificano due zone sismogenetiche caratterizzate da livelli di sismicità tra i più elevati: ZS929 sul lato tirrenico della regione e ZS930 sul lato del Mar Ionio. I terremoti con maggiore magnitudo hanno interessato i bacini del Crati (a Nord), del Savuto (a Centro) e del Mesima (a Sud di Calabria) fino allo Stretto di Messina (zona 929). Questi eventi comprendono la sequenza del 1783 (Calabria) ed i terremoti del 1905 (Calabria meridionale) e 1908 (Calabria meridionale-Messina). Viceversa, sul lato ionico della Calabria, solo 4 eventi hanno magnitudo superiore a 6, tra i quali il terremoto del 1638 (Calabria) appare come l'evento maggiormente energetico.

Procedendo verso nord, nell'Appennino meridionale troviamo la zona 927 ad includere l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione che ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990) a partire da ca. 0.7 Ma. La ZS927 è sede di alcuni tra i maggiori rilasci di energia della storia sismica italiana, come ad es. quello di Val d'Agri del 1857.

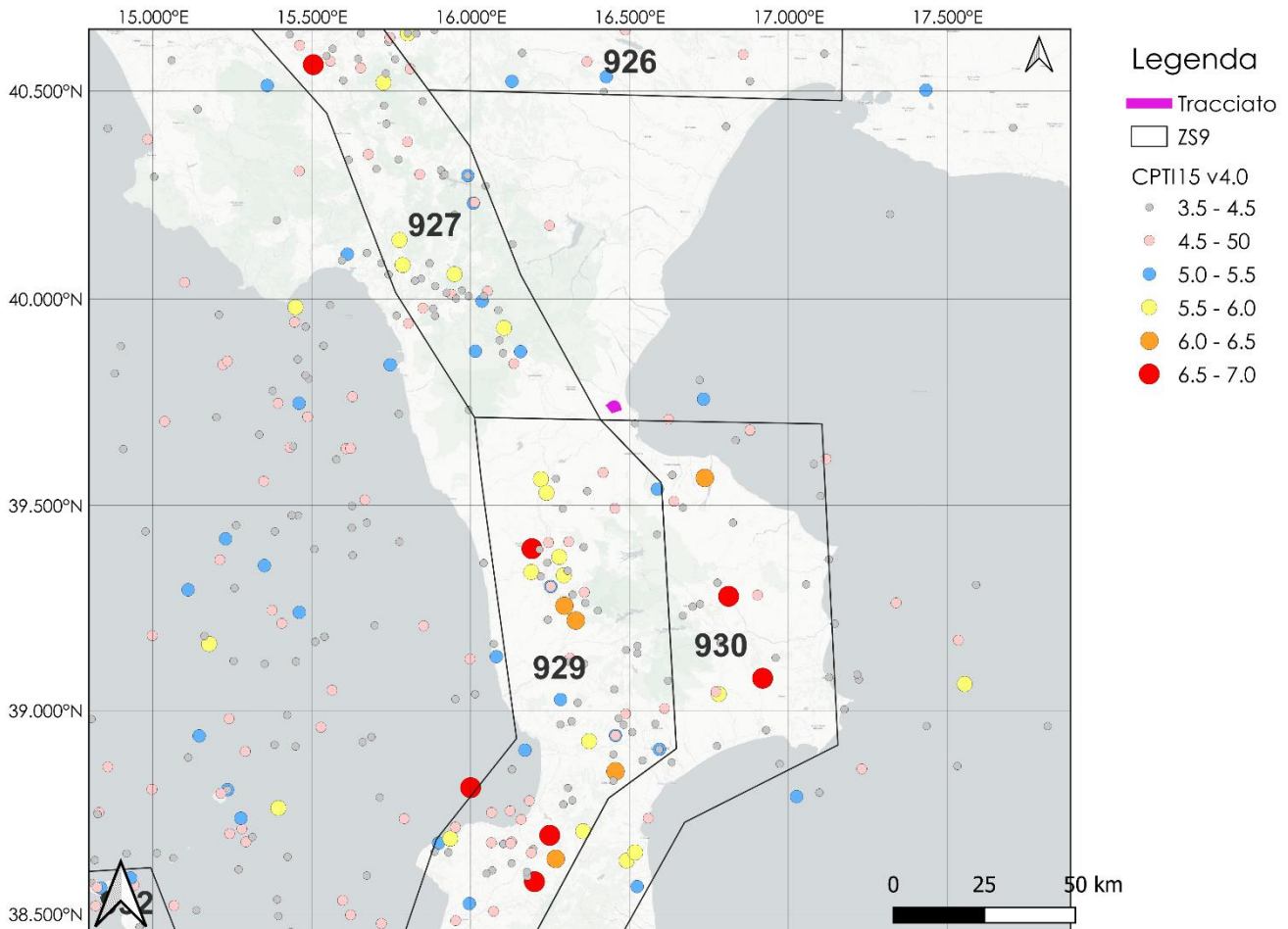


Figura 8-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del tracciato di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v4.0).

I lineamenti di faglia più prossimi ai siti di progetto (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.3.0 di Figura 8-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno dei quali si classificano alcune sorgenti individuali (ISS), e le zone di subduzione.

Si segnala in prossimità del tracciato di progetto, a nord-est, il sistema di faglie composite *ITCS104: Amendolara*, caratterizzato da una magnitudo massima di 6.7 e una profondità compresa tra 1 e 10 km. A tale sistema si associa il terremoto del 24 aprile 1836 di Mw 6.2, causa del maremoto che inondò la costa settentrionale della Calabria. Altri eventi associati a questa sorgente sono quelli del dicembre 1824 (Mw 5.4), del giugno 1917 (Mw 5.5) e dell'aprile 1988 (Mw 4.6).

A ovest del tracciato di progetto è presente il sistema *ITCS033: Pollino*, caratterizzato da una magnitudo massima di 6.4 e una profondità compresa tra 1 e 10 km. Il sistema è di tipo normale, con immersione sud-ovest. A tale sistema si associa il terremoto del gennaio 1708 (Mw 5.6). Si segnala la presenza della sorgente individuale *ITIS009: Castrovillari*.

Inoltre, è possibile evidenziare come di interesse la zona di subduzione *ITSD001 "Arco Calabro"*, una porzione del margine tra le placche dell'Eurasia e dell'Africa, come conseguenza della subduzione della crosta oceanica ionica sotto il margine meridionale della placca europea. Nei secoli scorsi questa zona è stata colpita da diversi terremoti con $M > 6$. Il più grande di essi è costituito dall'evento del 28 dicembre 1908 nello Stretto di Messina ($M_w=7.1$).

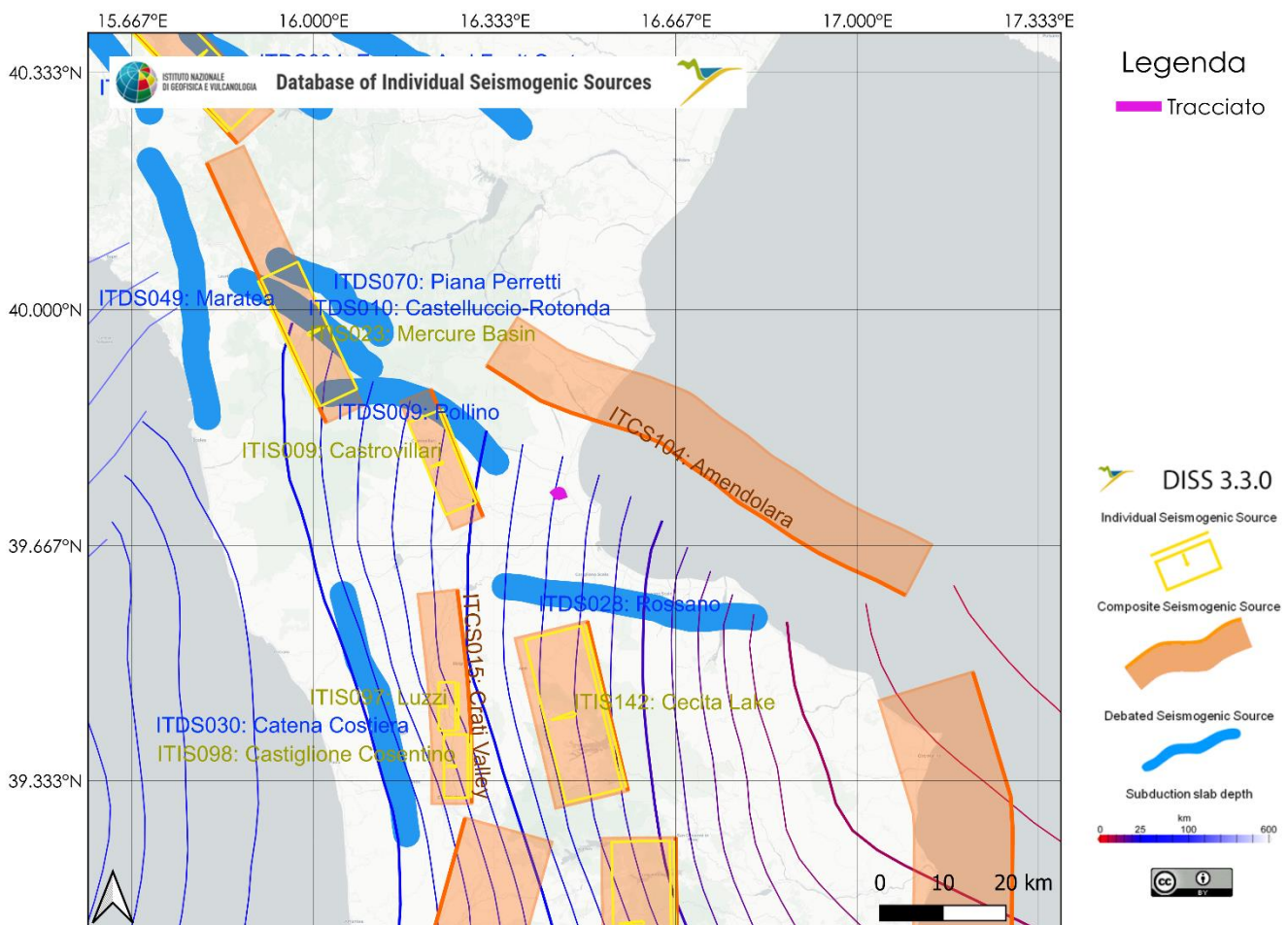


Figura 8-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.3.0) rilevanti per il tracciato di progetto.

8.3 FAGLIE ATTIVE

A completamento del quadro delineato, vanno considerati anche i dati relativi a possibili sorgenti sismogenetiche derivanti dagli studi condotti dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) confluiti nel "Progetto ITHACA – Catalogo delle faglie capaci". Figura 8–5 mostra la mappa dei dati relativi alle faglie capaci presenti nell'area dal catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults). Il tracciato di progetto non risulta attraversato da faglie attive.

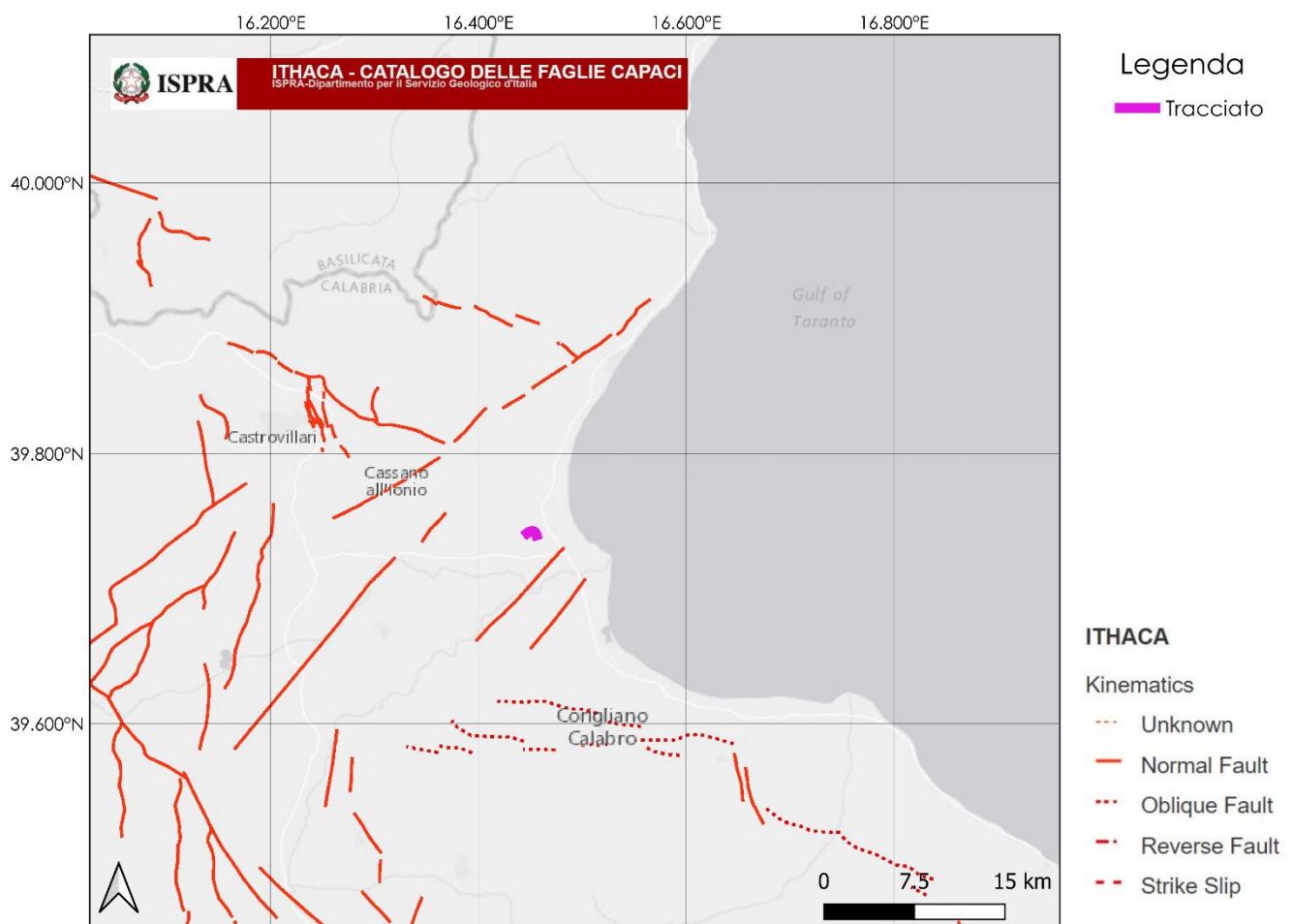


Figura 8–5 – Le faglie capaci dal "Catalogo ITHACA", (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/>) rilevanti per i siti di progetto.

8.4 INTENSITÀ MACROSISMICHE

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche (I_{MCS}) osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014.

La seguente figura mostra la storia sismica in termini di intensità macrosismica associata al comune di Sibari. I maggiori risentimenti macrosismici sono associati a terremoti con area epicentrale in Calabria settentrionale e Calabria centrale, rispettivamente del 1913 e 1905. Le massime intensità risentite risultano pari a 6-7.

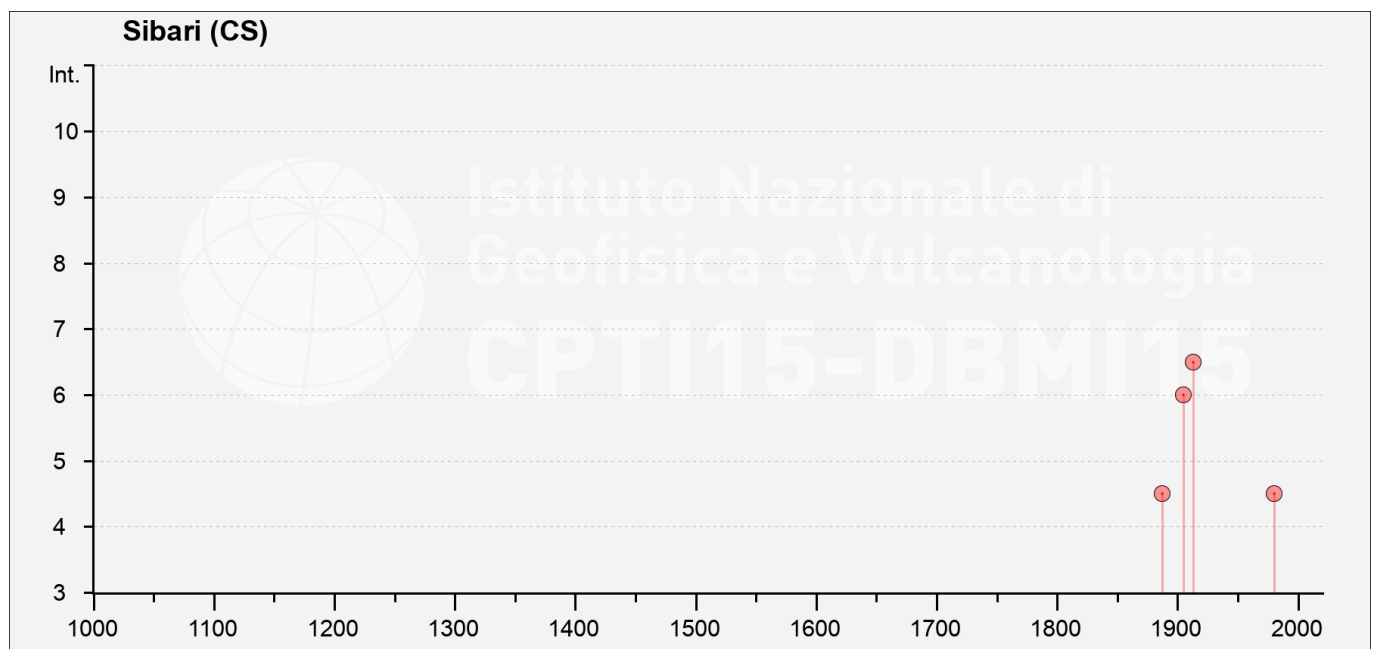


Figura 8-6 - Storia sismica del comune di Sibari (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016)

8.5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

8.5.1 Generalità

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c^*} periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 8.5.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 8.5.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti. La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 8.5.5, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

8.5.2 Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sempre sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso III, ossia:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d’uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.”

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d’Uso IV corrisponde un coefficiente d’uso C_U pari a:

$$C_U = 1.5$$

Il periodo di riferimento V_R si ottiene moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

8.5.3 Stati limite e probabilità di superamento

L’azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell’evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell’opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 8-1.

Tabella 8-1 - Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto per i diversi stati limite.

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR} in 100 anni	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	68
	Stato limite di danno (SLD)	63%	113
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	1068
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	2193

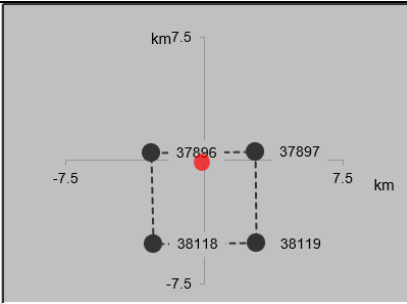
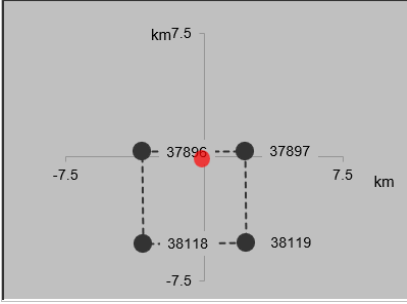
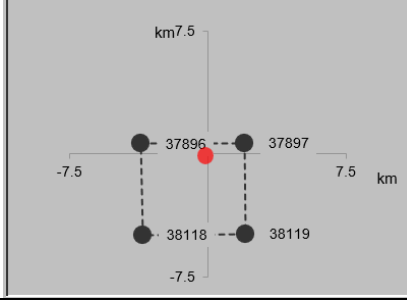
8.5.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_{c*} (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 8-2 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009) per i diversi punti di interesse lungo il tracciato.

**Relazione geologica, geomorfologica,
 idrogeologica e sismica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	52 di 73

Tabella 8-2 - Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno dei siti di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

Nome di sito	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P1	16.447150°	39.741160°	
P2	16.453343°	39.742450°	
P3	16.456050°	39.739553°	

 Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_0 e T_c^* per i diversi Stati Limite, sono indicati in Tabella 8-3.

Tabella 8-3 - Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per i siti di progetto per $V_R = 112.5$ anni

Sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
P1	SLO	68	0.080	2.371	0.326
	SLD	113	0.102	2.389	0.345
	SLV	1068	0.262	2.502	0.426
	SLC	2193	0.338	2.557	0.443
P2	SLO	68	0.079	2.375	0.326
	SLD	113	0.101	2.392	0.346
	SLV	1068	0.258	2.503	0.427
	SLC	2193	0.332	2.560	0.444
P3	SLO	68	0.079	2.374	0.326
	SLD	113	0.102	2.390	0.346
	SLV	1068	0.259	2.501	0.427
	SLC	2193	0.334	2.558	0.443

8.5.5 Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si definisce sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) definito dall'espressione:

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

dove:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per il presente studio, è stata considerata la campagna di indagini geofisiche che ha compreso l'esecuzione di 6 prove di tipo Masw. I valori di $V_{s,eq}$, riportati al paragrafo 5.1, risultano compresi nell'intervallo 180-360 m/s. In accordo alla Tabella 8-4 si assumerà la categoria di suolo C per l'intero tracciato di progetto.

Il coefficiente S_s per la categoria di suolo C si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 \cdot 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-4 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

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

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, i siti di progetto si collocano su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018), o comunque non attraversa sezioni di cresta o mezza costa. Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{\max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 8-5.

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 8-5 - Valori dei parametri a_g e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per siti di progetto per $V_R = 112.5$ anni.

Sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
P1	SLO	68	0.080	1.500	0.120
	SLD	113	0.102	1.500	0.153
	SLV	1068	0.262	1.307	0.342
	SLC	2193	0.338	1.181	0.399
P2	SLO	68	0.079	1.500	0.119
	SLD	113	0.101	1.500	0.152
	SLV	1068	0.258	1.313	0.339
	SLC	2193	0.332	1.190	0.395
P3	SLO	68	0.079	1.500	0.119
	SLD	113	0.102	1.500	0.153
	SLV	1068	0.259	1.311	0.340
	SLC	2193	0.334	1.187	0.397
	SLO	68	0.080	1.500	0.120
	SLD	113	0.102	1.500	0.153

8.6 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC2018.

Analizzando dunque ciascuna possibile circostanza:

- l'accelerazione massima corrispondente allo stato limite ultimo di verifica (SLV) è sempre superiore a 0.1g e pertanto la condizione non è verificata;
- per quanto riguarda la falda, non sono disponibili misure sufficienti, e le misure in corrispondenza delle opere (cfr. capitolo 8.1) mostrano il livello di falda a profondità inferiore a 15 m; pertanto, in linea generale la condizione non è verificata. Questa condizione può essere investigata in modo più approfondito nella successiva fase del progetto attraverso un monitoraggio della falda;
- per quanto riguarda la resistenza penetrometrica, i valori di $(N_1)_{60}$ e qc_{1N} all'interno dei livelli sabbiosi sono sempre inferiori a 30 e 180 (Figura 8-7, Figura 8-8, Figura 8-9 e Figura 8-10), rispettivamente, e di conseguenza, la condizione non è verificata;
- per quanto riguarda la distribuzione granulometrica, le curve granulometriche dei campioni prelevati dai tre sondaggi ricadono in parte nel campo di terreni suscettibili a liquefazione. Di conseguenza, la condizione non è verificata.

Relazione geologica, geomorfologica,
idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	58 di 73

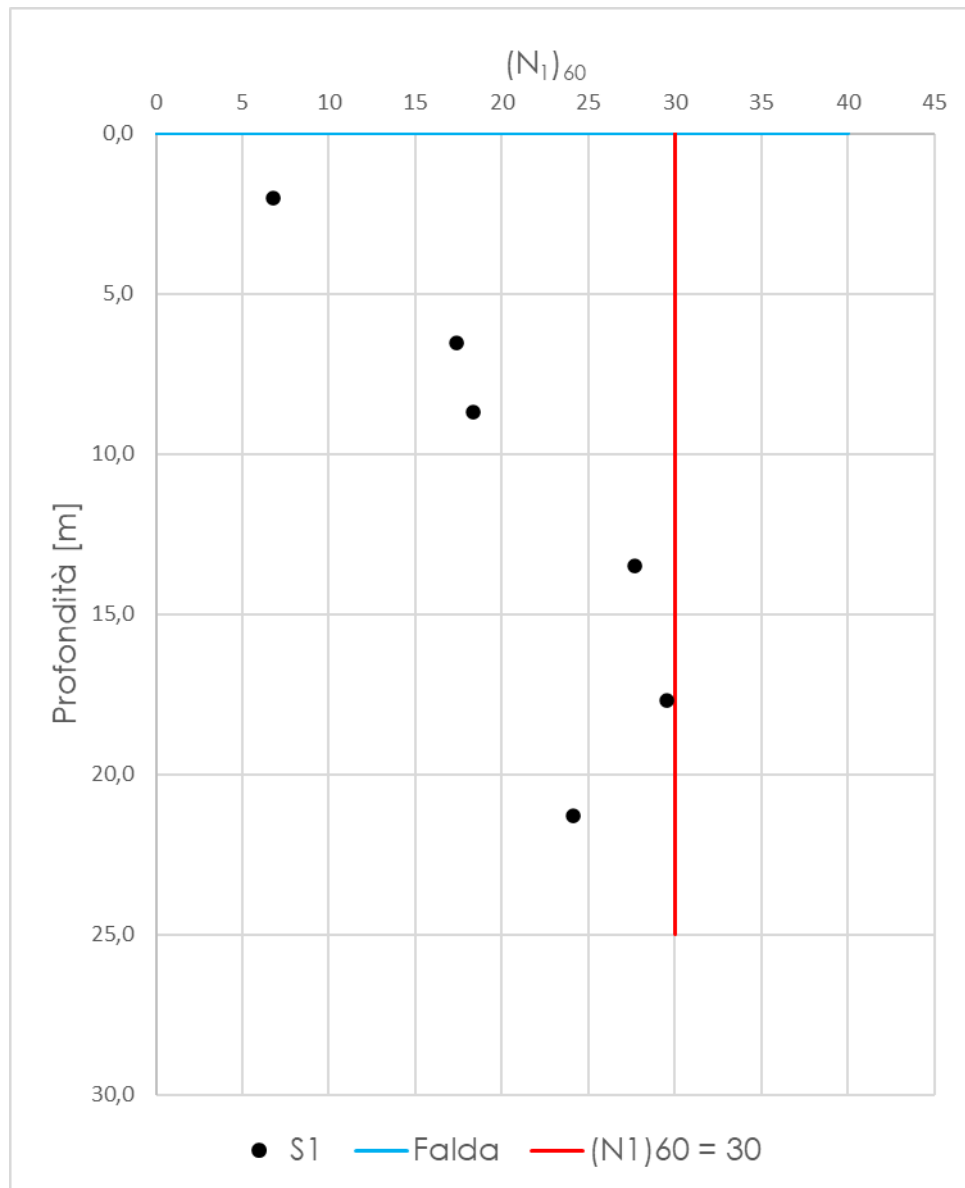


Figura 8-7 – Profilo $(N_1)_{60}$ relativo alla prova SPT del sondaggio S1.

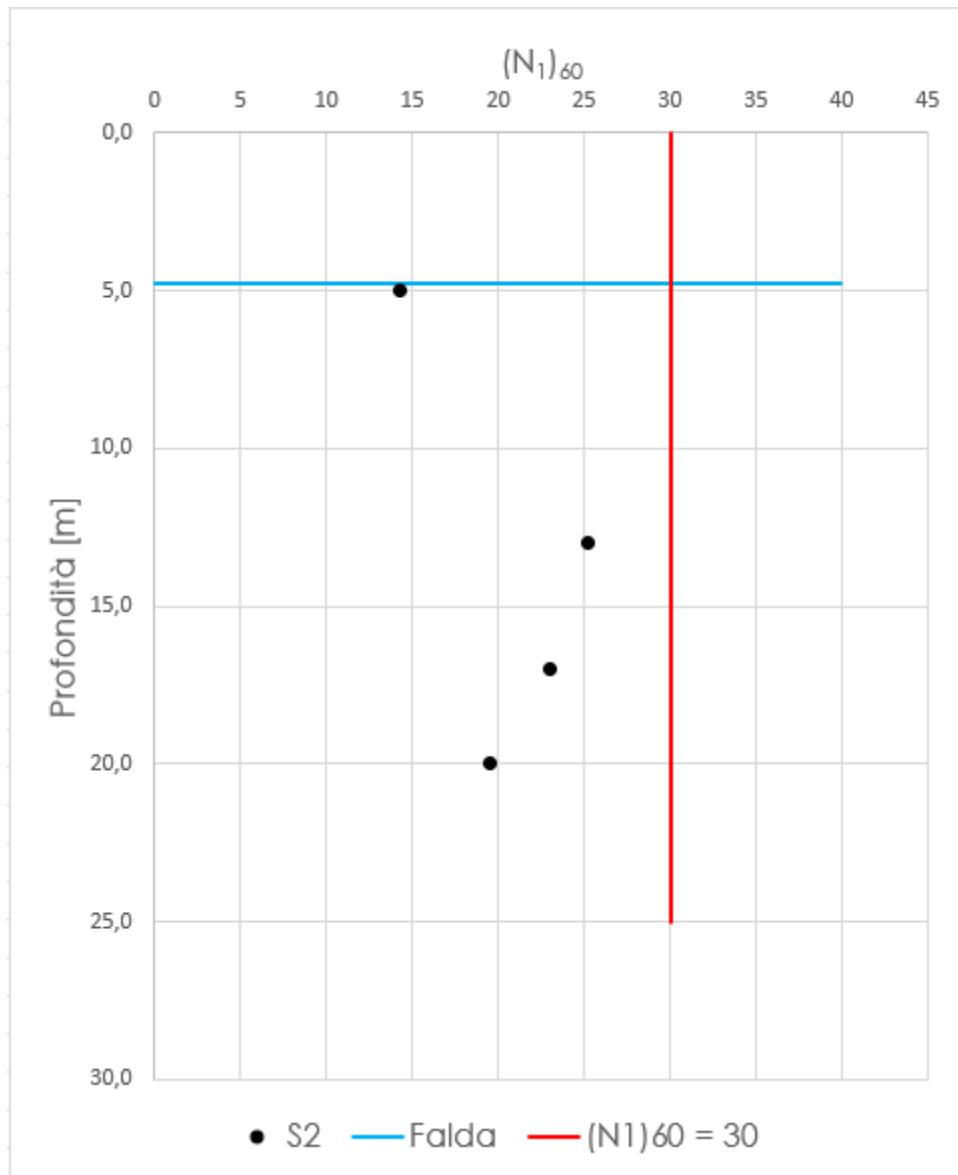


Figura 8-8 – Profilo $(N_1)_{60}$ relativo alla prova SPT del sondaggio S2.

Relazione geologica, geomorfologica,
idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	60 di 73

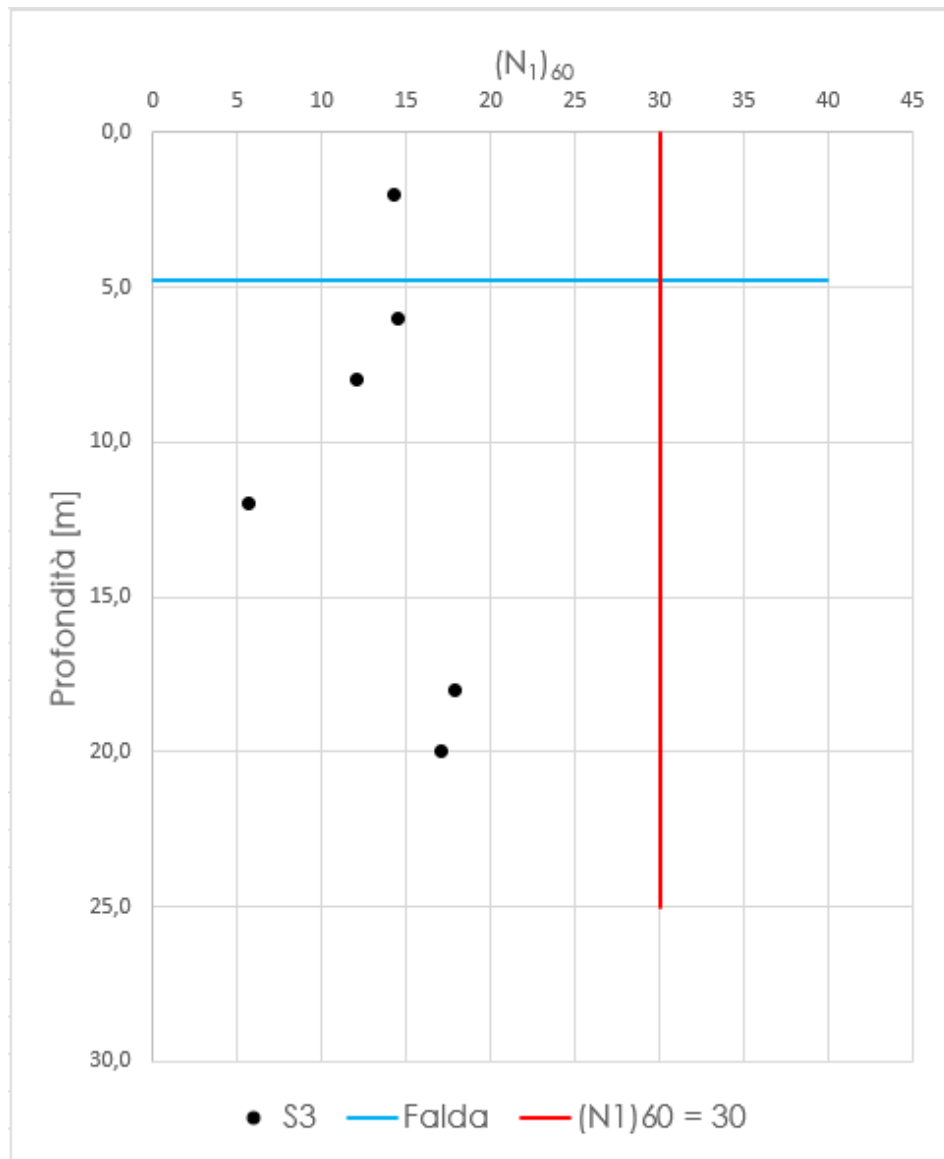


Figura 8-9 – Profilo (N1)60 relativo alla prova SPT del sondaggio S3.

Relazione geologica, geomorfologica,
idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	61 di 73

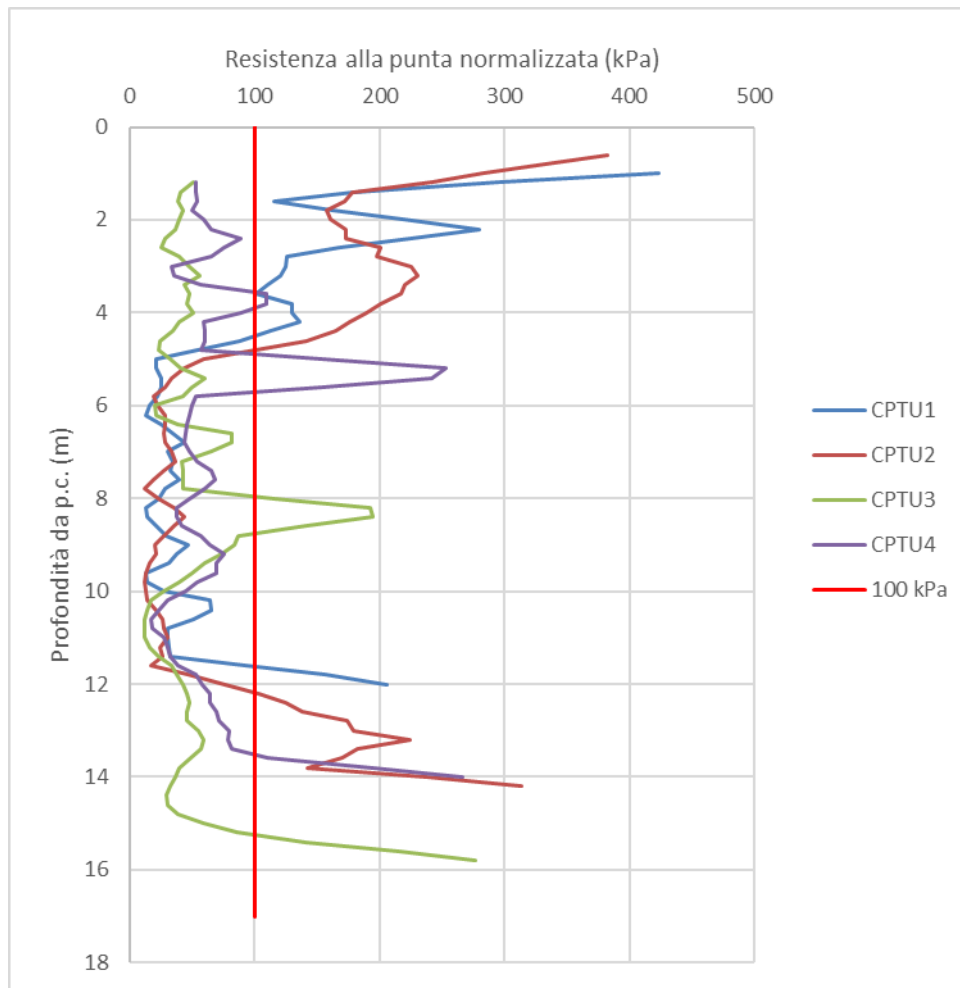


Figura 8-10 – Profili di resistenza determinati in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzati ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.

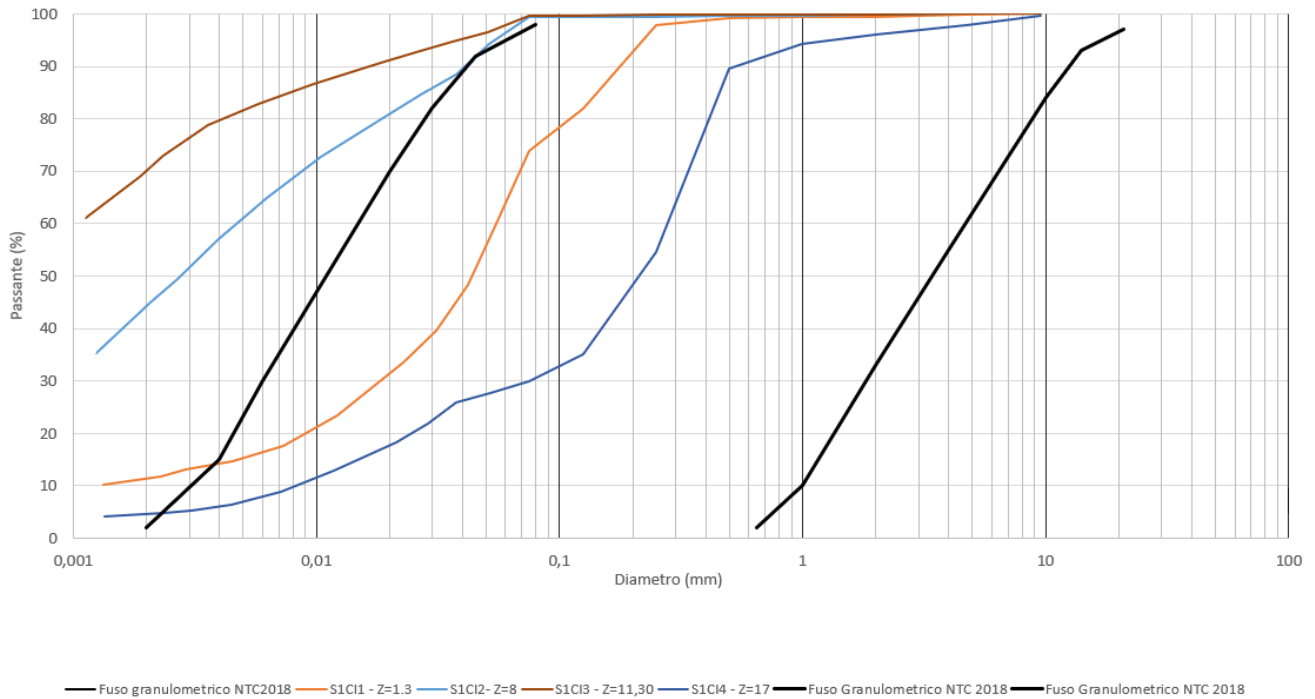


Figura 8–11 - Distribuzione granulometrica dei campioni analizzati in laboratorio rapportata al campo di suscettibilità alla liquefazione definito dalle NTC 2018. Campioni prelevati dal sondaggio S1.

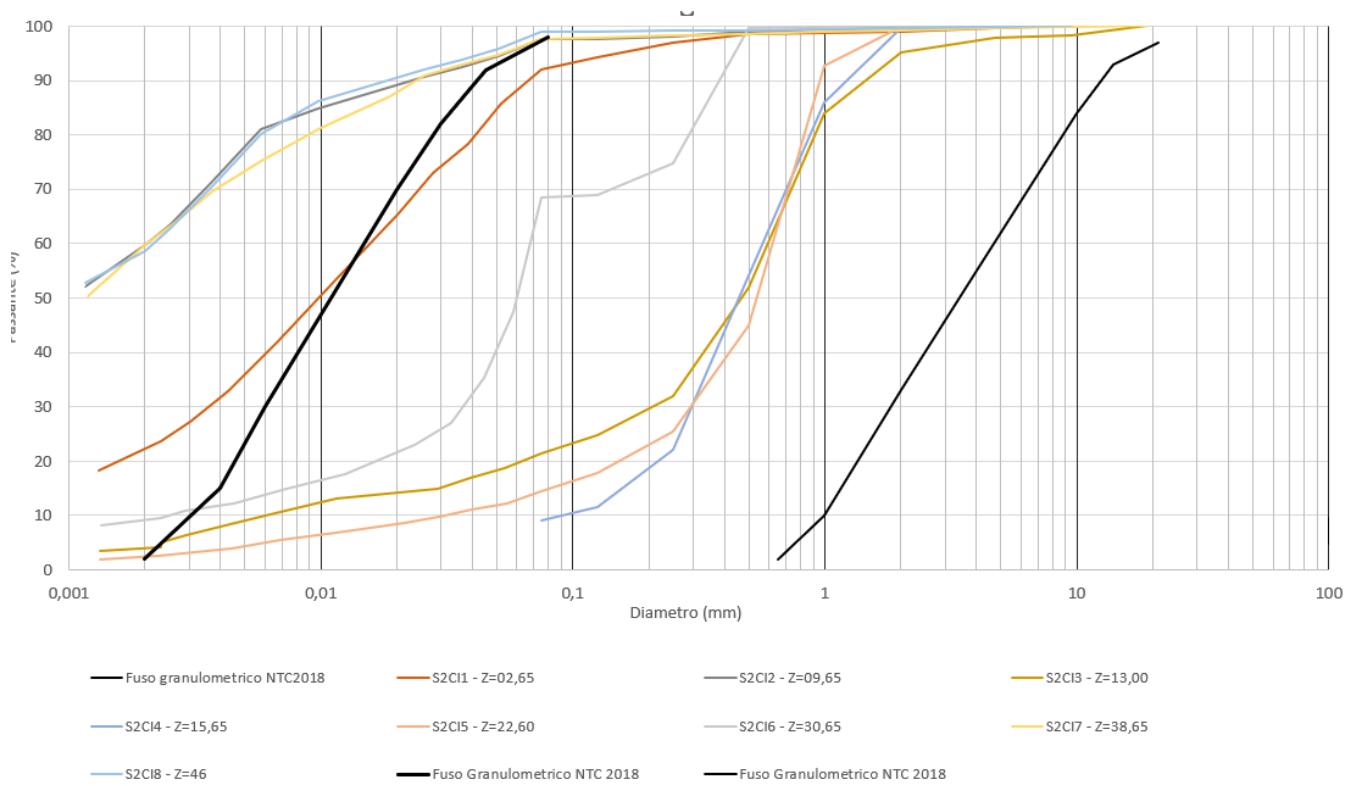


Figura 8–12 - Distribuzione granulometrica dei campioni analizzati in laboratorio rapportata al campo di suscettibilità alla liquefazione definito dalle NTC 2018. Campioni prelevati dal sondaggio S2.

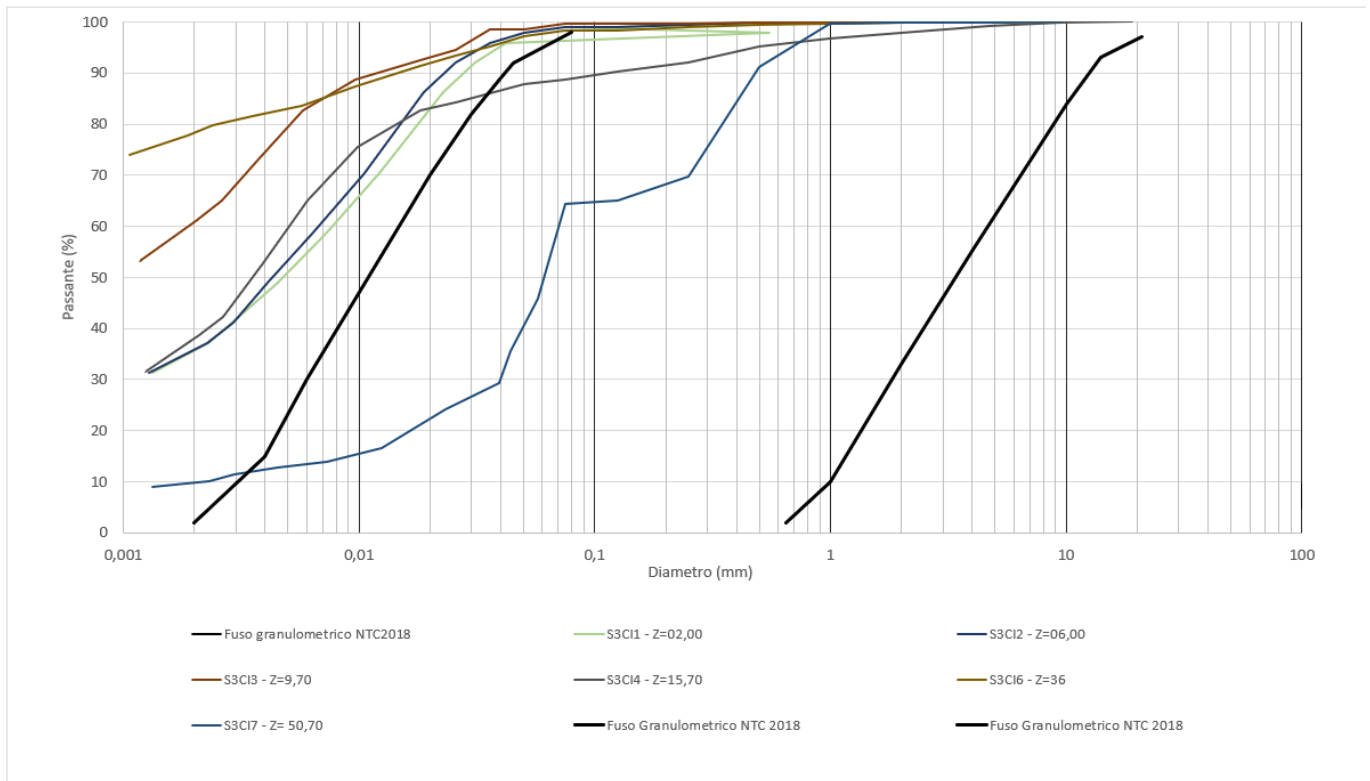


Figura 8–13 - Distribuzione granulometrica dei campioni analizzati in laboratorio rapportata al campo di suscettibilità alla liquefazione definito dalle NTC 2018. Campioni prelevati dal sondaggio S3.

Per la definizione del valore di magnitudo di riferimento per le verifiche di liquefazione, oltre al quadro sismo-tettonico esposto ai paragrafi precedenti, può essere considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1. Dal diagramma di disaggregazione, mostrato in Figura 8–14, risulta una magnitudo media pari a 6.27.

Nell'intorno dell'area in esame, dal catalogo ECLiQ (<https://ecliq.eucentre.it/map.html>) non risultano manifestazioni di fenomeni di liquefazione sismo-indotti.

Il valore di magnitudo di riferimento che può essere adottato per le verifiche di liquefazione è pari a **6.3**.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	65 di 73

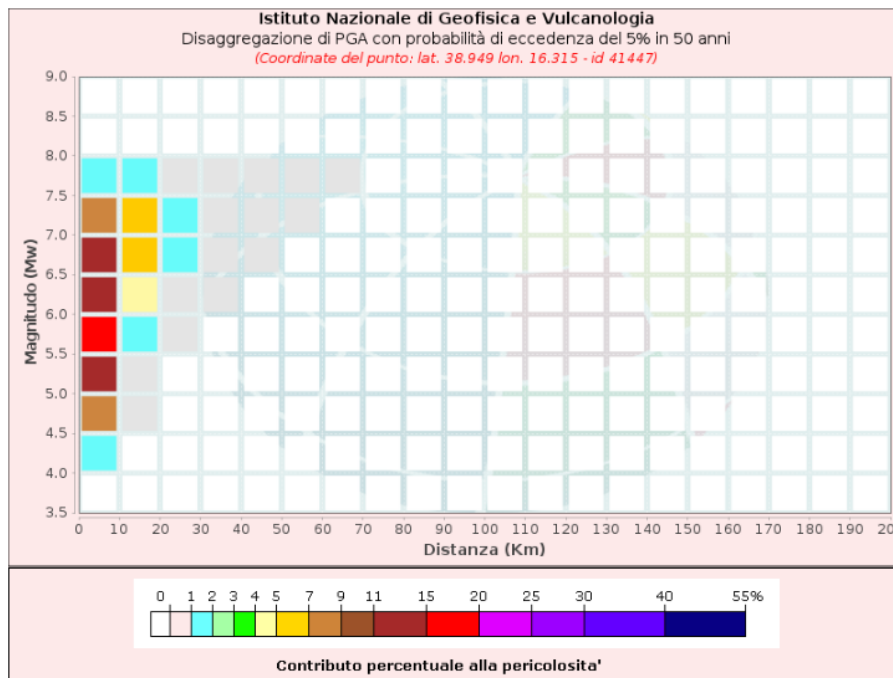


Figura 8-14 – Disaggregazione dell'accelerazione al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
(<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00 R 69	RG	GE0001 001	A	66 di 73

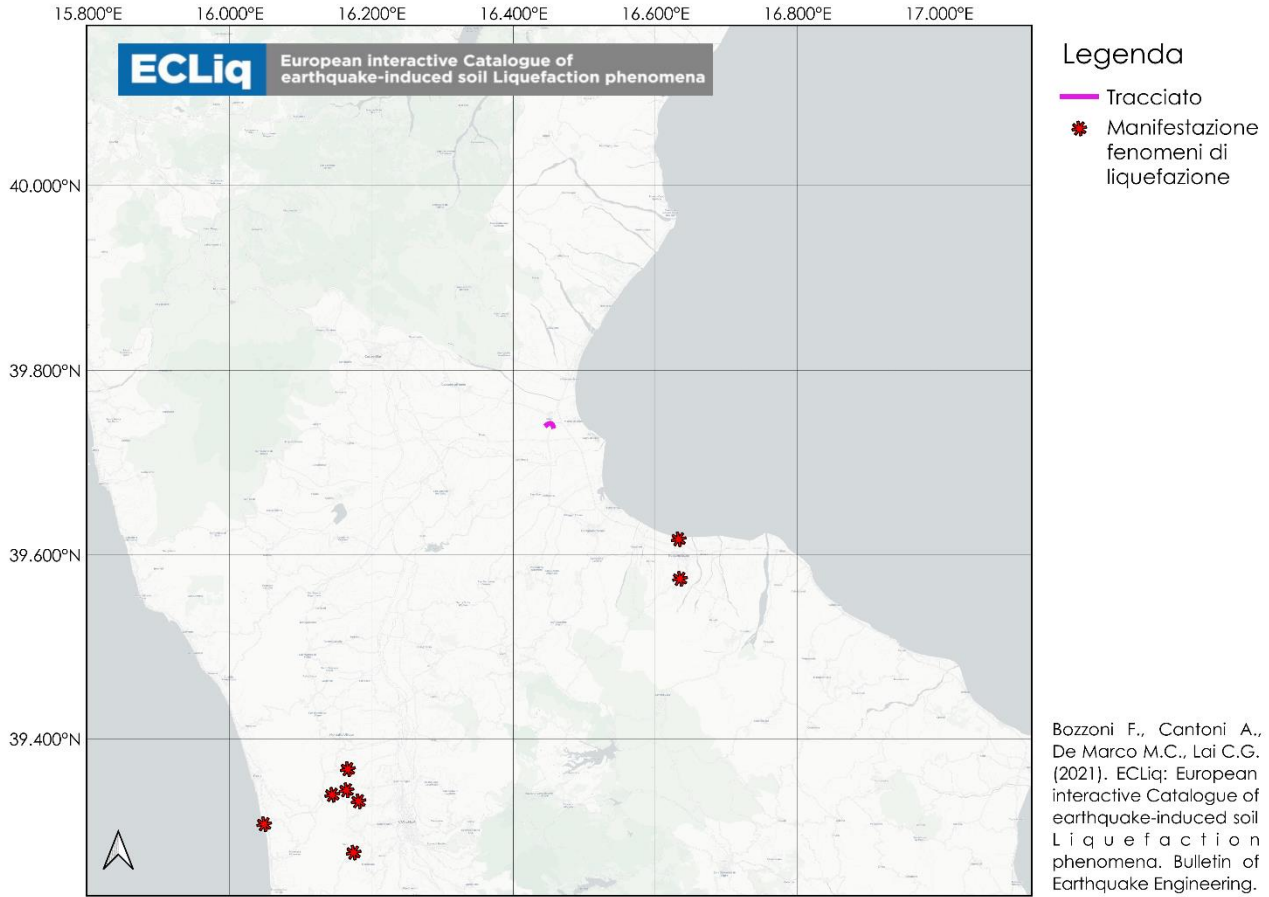


Figura 8-15 – Catalogo ECLiq dei fenomeni di liquefazione sismo-indotti.

9 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- L'area di studio è ubicata nel comune di Cassano allo Ionio (CS), nei pressi della frazione di Sibari. La tratta in progetto si trova in corrispondenza dello scambio ferroviario tra la ferrovia Ionica e la ferrovia Sibari-Cosenza.
- Dal punto di vista geologico la linea oggetto del presente studio è localizzata nella piana alluvionale di Sibari, al di sopra di una potente successione di sedimenti attuali e recenti. La geologia dell'area in esame è rappresentata, nella sua porzione più superficiale, quasi esclusivamente da depositi continentali Olocenici, in particolare alluvionali derivanti da conoidi di deiezione composti da materiale detritico proveniente dai massicci montuosi adiacenti. I sedimenti sono stati estesamente rielaborati dall'attività fluviale recente ed attuale prevalentemente con cicli di ablazione e rideposizione di materiale grossolano ciottoloso in corrispondenza degli alvei fluviali e deposizione di materiale misto fine-grossolano nelle zone alluvionali interessate da piene.
- Dal punto di vista geomorfologico la piana di Sibari si colloca nella porzione più settentrionale del litorale ionico calabrese e risulta alimentata principalmente dagli apporti del F.Crati, del F.Coscile e di corsi d'acqua minori tra cui il T. Raganello ed il T. S. Mauro. In particolare, la piana costiera si sviluppa al piede di un sistema collinare poco pronunciato, con quote medie variabili tra gli 80 ed i 200 m s.l.m., impostato su litotipi plio-pleistocenici di natura da sabbioso-conglomeratica ad argilloso-siltosa. In particolare, la Piana di Sibari viene considerata un graben, bordato da differenti sistemi di faglie di rilevanza regionale in parte ancora attive. Essa è affetta da una significativa subsidenza le cui cause sono da imputare più ad un effetto di compattazione del sedimento che non all'attività tettonica. Studi recenti e le risultanze dei dati InSAR (2016-2021), resi disponibili dal progetto Copernicus nell'ambito del progetto European Ground Motion Service (EGMS), mostrano una subsidenza media dell'area di progetto compresa tra 0.5 e 1 mm/anno con massimi locali di 5 mm/anno.
- L'idrografia della regione è fortemente condizionata dalla morfologia, la quale risulta controllata dalla tettonica, di conseguenza l'approfondimento del reticolato idrografico risulta molto intenso ed i limiti dei principali bacini mostrano buone corrispondenze con le principali strutture tettoniche. Oltre che la morfologia molto tormentata, anche la breve distanza che intercorre fra i principali sistemi montuosi ed il mare ed il rilevante sviluppo costiero rispetto all'estensione territoriale, fanno sì che i corsi d'acqua siano caratterizzati da bacini imbriferi generalmente molto modesti, da breve corso in pianura e da forte pendenze longitudinali. I fiumi della Calabria non presentano generalmente uno sviluppo significativo,

questo è dovuto alla forma stretta e allungata della regione ed alla disposizione dei rilievi montuosi, di conseguenza i corsi d'acqua assumono un carattere torrentizi. Fanno eccezione il Crati e il Neto (versante ionico settentrionale), i fiumi più lunghi, che sfociano entrambi nel Mar Ionio.

- Per ciò che riguarda l'aspetto idrogeologico, le aree di studio ricadono all'interno del Complesso Idrogeologico dei depositi detritici recenti comprendenti depositi di età pleistocenica ed olocenica, comprendenti detriti di falda, coni di deiezione, alluvioni attuali e terrazze, terrazzi marini e dune costiere. La permeabilità primaria varia in funzione della granulometria, da media ad alta nei termini prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e più ridotta per presenza di intercalazioni argilloso-siltose. Analogamente si riscontra nei depositi ghiaioso-sabbiosi dei terrazzi marini la presenza di materiale di natura argillosa che riduce in parte la permeabilità. Valori di permeabilità da medi a bassi si hanno nei depositi alluvionali sabbioso-argillosi e argilloso-limosi del fondovalle del F. Mercure e nei depositi alluvionali sabbiosi e sabbioso-siltosi della piana di Sibari e del Golfo di Squillace. Nella piana di Sibari i depositi mostrano tuttavia un passaggio graduale dalle alluvioni sabbiose presenti alla confluenza dei fiumi Crati e Coscile, alle alluvioni ciottolose delle zone periferiche.
- La stratigrafia dell'area di progetto è stata analizzata attraverso i dati ricavati dai sondaggi S1-PZ, S2-DH, S3-PZ e dalle CPTU-01, CPTU-02, CPTU-03, CPTU-04 eseguiti in corrispondenza dell'intervento di progetto. L'area di progetto si imposta interamente su depositi sabbiosi, limosi e argillosi a deposizione in ambiente fluvio lacustre (af) appartenenti a depositi alluvionali. All'interno dei sondaggi eseguiti, sono stati installati un piezometro a tubo aperto fenestrato nel foro S1-Pz e piezometro Casagrande nel sondaggio S3-Pz, all'interno dei quali è stato misurato il livello di falda che è stata rinvenuta a una profondità prossima al piano campagna.
- Per quanto riguarda la pericolosità e il rischio geomorfologico dalla cartografia della pericolosità aggiornata dal PAI nel 2022 e dalla carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia si evidenzia l'assenza di di fenomeni di dissesto in corrispondenza dell'area di progetto.
- Per quanto concerne il rischio e la pericolosità idraulica è stata analizzata, oltre la cartografia PAI, la cartografia tematica del Piano di Gestione Rischio Alluvioni redatto dal distretto dell'Appennino Meridionale, aggiornata al 2022. Secondo tale cartografia, l'area di studio non è interessata da corsi d'acqua di dimensioni significative e quindi da pericolosità e rischio idraulico ad essi correlati.
- Per il vincolo idrogeologico è stata riportata e analizzata la carta del PAI dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria pubblicata nel 2001 non essendo reperibile una cartografia più aggiornata. Secondo tale cartografia, l'opera in progetto non si trova in una zona soggetta a Vincolo Idrogeologico.

- Dal punto di vista sismico il sito di progetto risulta caratterizzato da sismicità alta. Sulla base delle indagini geofisiche, si assumerà la categoria di suolo C per tutte le opere di progetto. Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, nessuno dei motivi di esclusione risulta verificato a priori, per cui dovrà essere effettuata una verifica del fenomeno di liquefazione che sarà oggetto della relazione geotecnica.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RC2V	LOTTO 00 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2002) Regione Calabria – Autorità Regionale Ambientale 2. Acque POR Calabria 2000/2006 14 Valutazione Ex-ante Ambientale 31 dicembre 2002.
- Amato A. & Cimini G.B., (2001) – *Deep structure from seismic tomography*. In: Vai G.B. & Martini I.P. (Eds) *Anatomy of an orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean basins*. Kluwer Academic Publishers, Bodmin: 33-46.
- Amodio Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Piccarreta G., (1976) – *L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*.
- Antronico L., Cotecchia F., Cotecchia V., Gabriele S., Gullà G., Iovine, G., Lollino G., Moraci N., Pagliarulo R., Petrucci O., Rocca F. Sorriso-Valvo M. & Terranova O., (2006) – *Attività di monitoraggio di siti in frana e di aree soggette a fenomeni di subsidenza*. POR Calabria, 200-2006.
- Autorità di Bacino del Distretto dell'Appennino Meridionale; Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI 2022), Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA 2022) e il Piano Stralcio per l'Erosione Costiera (PSEC 2021): <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/>
- Bellotti P., Caputo C., Dall'Aglio P. L., Davoli L., & Ferrari K., (2009) – *Insedimenti umani in un paesaggio in evoluzione: interazione uomo-ambiente nella Piana di Sibari (Calabria Ionica)*. Il Quaternario, 22(1), 61-72.
- Bertoni W., Bratti C., Carbognin L., Cesi C., Chierici G. L., Dossena G., Guerricchio A., La Monica U., La Tegola A., Succetti A., (2000) – *Aanalysis of subsidence in the Crotona area along the Ionian coast of Calabria, Italy*. *Land Subsidence*. vol. 1,155-166.
- Bonardi G., Cello G., Perrone V., Tortorici L., & Turco E., (1982) – *The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani Arc in a semiquantitative palinspastic restoration*.
- Bonardi, G., Compagnoni, R., Messina, A., Perrone, V., Russo, S., & Da Francesco, A. M. (1992). Sovrimonta metamorfica Alpina nell'unità dell'Aspromonte (settore meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano). *Bollettino della Società geologica italiana*, 111(1), 81-108.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. F535 "Trebisacce". Progetto CARG.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 25.000 dell'I.G.M. Fogli 222 – III – SW e 221 – II – SE.

- Catalano S., Monaco C., Tortorici L., Paltrinieri W. & N. Steel, (2004) – *Neogene-Quaternary tectonic evolution of the Southern Apennines*. *Tectonics*, **23**: TC2003, doi: 10.1029/2003TC001512.
- Cassa per opere straordinarie di pubblico interesse nell'Italia Meridionale (Cassa per il Mezzogiorno), 1971. Carta geologica della Calabria (Legge speciale per la Calabria del 26-11-1955 n° 1177).
- Cherubini C., Cotecchia V., & Pagliarulo R. (1994) - Geological and geotechnical problems connected with the disappearance of the ancient city of Sybaris, *Science and Technology for Cultural Heritage*, 3, pp. 95-112.
- Cianflone G. et alii (2015) - InSAR Time Series Analysis of Natural and Anthropogenic Coastal Plain Subsidence: The Case of Sibari (Southern Italy).
- Cinti F.R., Pantosti D., Cucci L. & D'Addezio G. (2002) – New constraints on the seismic history of the Castrovillari fault in the Pollino gap (Calabria, southern Italy). *Journal of Seismology*, 6, pp.199-217.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Copernicus. European Ground Motion Service (EGMS) - <https://egms.land.copernicus.eu/>
- Di Nocera S., Ortolani F., Russo M. & Torre M. (1974) – *Successioni sedimentarie e limiti Miocene-Pliocene nella Calabria settentrionale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 98, pp 559-587.
- DISS Working Group. (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3. 0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas.
- Dubois R., (1976) – *La suture calabro-apenninique crétacé-èocène et l'ouverture Tyrrhénienne néogène: étude pétrographique et structurale de la Calabre centrale*. Unpubl. Doctoral Thesis, Université P. et M. Curie, Paris, 567 pp.
- Grandjacquet C., & Mascle G., (1978) – *The structure of the Ionian Sea, Sicily, and Calabria-Lucania*. In: *The ocean basins and margins* (pp. 257-329). Springer, Boston, MA.
- Guerricchio A. & Ronconi M.L. (1997) – Osservazioni geomorfologiche nella Piana di Sibari e variazioni delle linee di costa storiche nella zona degli scavi archeologici. *I Quaderni IRFEA*, 12, pp. 1-31

- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007) CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med>
- ISPRA, Progetto IFFI, La piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico (IdroGEO): <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. & Silenzi S. (2004) – Sea- level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. *Quaternary Science Reviews*, 23, pp. 567-598.
- Lanzafame, G., & Tortorici, L. (1981). La tettonica recente della valle del fiume Crati (Calabria). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 4, 11-21.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A, Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI: 10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Moretti A. (1993) – *Note sull'evoluzione tettono-stratigrafica del bacino crotonese dopo la fine del Miocene*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **112**: 845-867.
- Norme di Attuazione e misure di salvaguardia dell'Autorità di bacino regionale Calabria. Testo aggiornato e approvato dal Comitato Istituzionale con Del. N. 3 dell'11-04-2016.
- Ogniben L., (1969) – *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 8, 453-763.
- Ogniben L., (1973) – *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*. *Geologica Romana*, **12**, pp 243-585.
- Palmieri E., (1992) – *Indagine sul fenomeno della subsidenza provocato dalle piattaforme ENI-Agip per l'estrazione di metano*. Relazione geologica nella vertenza giudiziaria Comune Crotona-Agip;

- Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) – *Tyrrhenian Basin and Apenninic Arcs: kinematics relations since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. it., **45**: 425-451.
- Piano Tutela Acque – Regione Calabria
- Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., Gasperini, P., & Antonucci, A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15, versione 4.0. Scandone P., (1982) – *Structure and evolution of the Calabrian Arc*.
- Sorriso-Valvo M. & Sylvester A., (1993) – *The relationship between geology and landforms along a coastal mountain front, northern Calabria, Italy*. Earth Surf. Proc. Landf., 18, 257-273.
- Sorriso-Valvo, M., Tansi, C., & Antronico, L. (1996). Relazioni tra frane, forme del rilievo e strutture tettoniche nella media Valle del Fiume Crati (Calabria). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 19, 107-117.
- Stanley JD & Bernasconi,MP (2009) - Buried and Submerged Greek Archaeological Coastal Structures and Artifacts as Gauges to Measure Late Holocene Seafloor Subsidence off Calabria, Italy.
- Tansi, C., Muto, F., Critelli, S., & Iovine, G. (2007). Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy). *Journal of Geodynamics*, 43(3), 393-414.
- Tansi C. et al., (2007) – *Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy)*. Journal of Geodynamics 43.3 (2007): 393-414.
- Tenuta B., Caira B., Aita M., Cufari G., Filice C., (2017) – *Piano Strutturale Assetto della Sibaritide*. Relazione Geologica Definitiva.
- Tortorici L., (1982) – *Lineamenti geologico-strutturali dell'arco calabro-peloritano*. Rendiconti della Società Italiana Mineralogia Petrologia, 38, 927-940.
- Tortorici, L., Monaco, C., Tansi, C., & Cocina, O. (1995). Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy). *Tectonophysics*, 243(1-2), 37-55.
- Versace P., Ferrari E., Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., (1989) – *Valutazione delle piene in Calabria*. CNR – IRPI – GEODATA n. 30.