

**AUTOSTRADA A2 "MEDITERRANEA"
COLLEGAMENTO PORTO GIOIA TAURO GATE SUD CON
AUTOSTRADA A2 - LOTTO 1 E LOTTO 2**

DG 54/17 LOTTO 1

COD. UC165

PROGETTO DEFINITIVO

COD. UC167

GRUPPO DI PROGETTAZIONE: R.T.I.: INTEGRA CONSORZIO STABILE (capogruppo mandataria)
Prometeoengineering.it S.r.l. - Dott. Geol. Andrea Rondinara

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Prof. Ing. Franco BRAGA (Integra Consorzio Stabile)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



GEOLOGO:
Dott. Geol. A. CANESSA (Prometeoengineering.it S.r.l.)

Direttore Tecnico:
Prof. Ing. Franco Braga

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Alessandro Orsini (Integra Consorzio Stabile)

MANDANTI:



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Dott. Ing. Giuseppe Danilo Malgeri

Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Alessandro FOCARACCI

Dott. Geol. Andrea Rondinara

**02 - STUDI GENERALI
02.04 - SISMICA
Relazione sismica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO DPUC0165		T00SG00GEORE03_A			
LIV. PROG. N. PROG. DPUC0167 D 21		CODICE ELAB. T00SG00GEORE03		A	-
A	EMISSIONE	Settembre 2022	Citterio	Salcuni	Focaracci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

1	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	2
1.1	Inquadramento geografico e geomorfologico	2
1.2	Inquadramento geologico.....	3
1.3	Inquadramento idrogeologico.....	4
1.4	Inquadramento tettonico	5
2	INQUADRAMENTO SISMICO	7
2.1	Magnitudo di riferimento.....	7
2.2	Sorgenti sismogenetiche.....	8
2.3	Sismicità storica	9
2.4	Pericolosità sismica di base ai sensi del DM 17.01.2018	10
2.4.1	Vita nominale.....	10
2.4.2	Classi d'uso	11
2.4.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	11
2.5	Categoria di suolo	12
2.5.1	Spetto di risposta in accelerazione.....	14
2.6	Amplificazione topografiche	15
2.7	Amplificazione stratigrafica - Risposta Sismica Locale.....	15
3	ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE	20

1 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

1.1 Inquadramento geografico e geomorfologico

Dal punto di vista geografico, il sito in oggetto si colloca nell'area sud-occidentale della Calabria, nel territorio provinciale di Reggio Calabria (RC), in comune di Gioia Tauro.



Figura 1: Immagine aerea del territorio in cui è ubicato l'intervento. L'ellisse rossa individua l'area oggetto di intervento. (Non in scala. Fonte: Google Earth)

1.2 Inquadramento geologico

Secondo la carta geologica di progetto, si registra la presenza di terreni sciolti che rappresentano il sottofondo stradale fino a una profondità sicuramente superiore rispetto alla profondità di interazione dell'opera.

I terreni sciolti sono qui rappresentati da depositi costieri attuali (*R1 ed R2 – depositi eolici e spiagge attuali*), e da depositi pleistocenici (*R4 – detriti e alluvioni terrazzate*), comprese le loro rispettive coltri di alterazione superficiale, dovute al rimaneggiamento nella zona agricola e periurbana, presentano granulometrie da grossolane (*pietrischi*) verso il basso, a medie (*sabbie*) a fini (*in sottili straterelli siltitici*).

Tale variabilità si manifesta con un locale scadimento delle caratteristiche geotecniche, sia in senso verticale che orizzontale, soprattutto dovuto alle diverse permeabilità.

Nella figura seguente si può notare un dettaglio della parte bassa della formazione *R4* che affiora estesamente in tutto il bacino di sedimentazione dal versante tirrenico fino alle pendici dell'Aspromonte.



Figura 1: Immagine tratta dalle note alla carta geologica del progetto Carg

La formazione, è costituita prevalentemente da sabbie bruno-giallastre di conoide alluvionale, i sedimenti sono caratterizzati da significative eteropie di facies latero-verticali; i clasti sono eterometrici, poco arrotondati con diametro variabile, la matrice è sabbiosa e talora sabbioso-siltosa. Talvolta sono presenti sottili livelli di sabbie argilloso-terrose che si alternano a sabbie ciottolose, le sabbie grossolane sono talora stratificate con livelli pelitici. L'andamento variabile dei depositi non è riconducibile a nessun tipo di stratificazione, le variazioni laterali non sono connesse con lenti o spessori variabili e presentano diverso comportamento geotecnico e diversa permeabilità, nonché diversi andamenti freatici.

1.3 Inquadramento idrogeologico

Il territorio della Calabria è caratterizzato da una fortissima eterogeneità e complessità delle caratteristiche idrogeologiche, riconducibile sia al complesso assetto strutturale dell'area che alla grande varietà di termini litologici affioranti (Alloca et al. 2007).

Da un punto di vista idrogeologico, in modo schematico, operando a scala regionale, si possono distinguere nove complessi idrogeologici, in ordine decrescente di permeabilità: calcari, dolomie, sabbie e conglomerati, alluvioni, graniti, scisti, evaporiti, arenarie e peliti che danno origine a tre tipologie di strutture idrogeologiche (Polemio et al. 2013): acquiferi rocciosi permeabili per fratturazione e carsismo; acquiferi permeabili per porosità delle pianure; acquiferi presenti in rocce cristalline e metamorfiche fratturate e alterate.

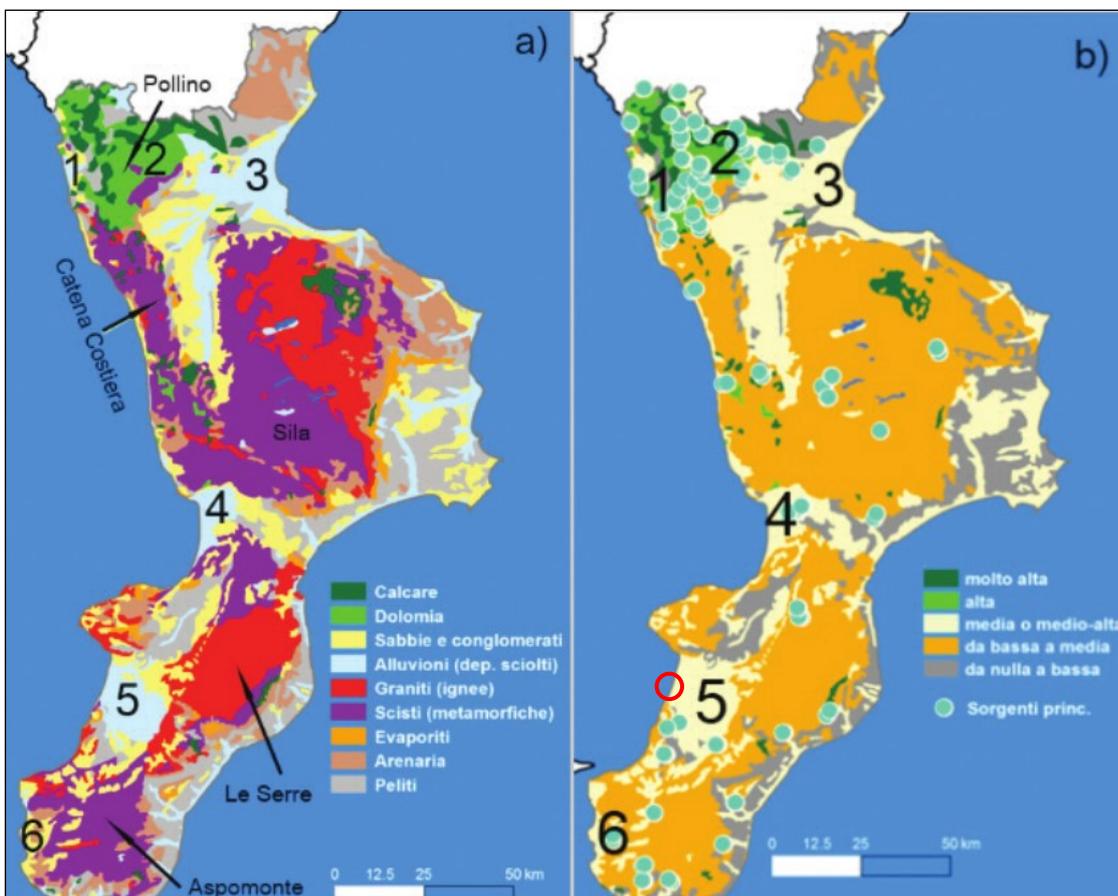


Figura 2: a) Carta dei principali complessi idrogeologici della Calabria. b) Carta delle permeabilità relative e delle principali sorgenti della Calabria. (Polemio et al., 2013). Il cerchio rosso evidenzia l'area oggetto di intervento.

L'area oggetto di intervento si colloca nell'ambito dei depositi alluvionali, caratterizzati da una permeabilità media o medio-alta.

Sulla base dei dati disponibili e delle campagne di indagini eseguite nell'area in interesse non è presente falda alla profondità di interesse per le opere in progetto.

1.4 Inquadramento tettonico

Il territorio in cui ricade l'area d'intervento fa parte della vasta regione - tettonica definita nel suo complesso Arco Calabro Peloritano, qui caratterizzato dal Graben dello Stretto di Messina al quale, sul fronte calabro emerso, corrispondono l'Horst dell'Aspromonte e il meno esteso Horst di Piale che delimitano verso est l'ampia depressione controllata da più sistemi di faglie, nota in letteratura come Bacino di Reggio. Si tratta di una regione interessata da intensi movimenti tettonici verticali ancora attivi, che hanno dato origine al rapido sollevamento dell'Aspromonte in Calabria e dei Monti Peloritani in Sicilia e allo sprofondamento dello Stretto.

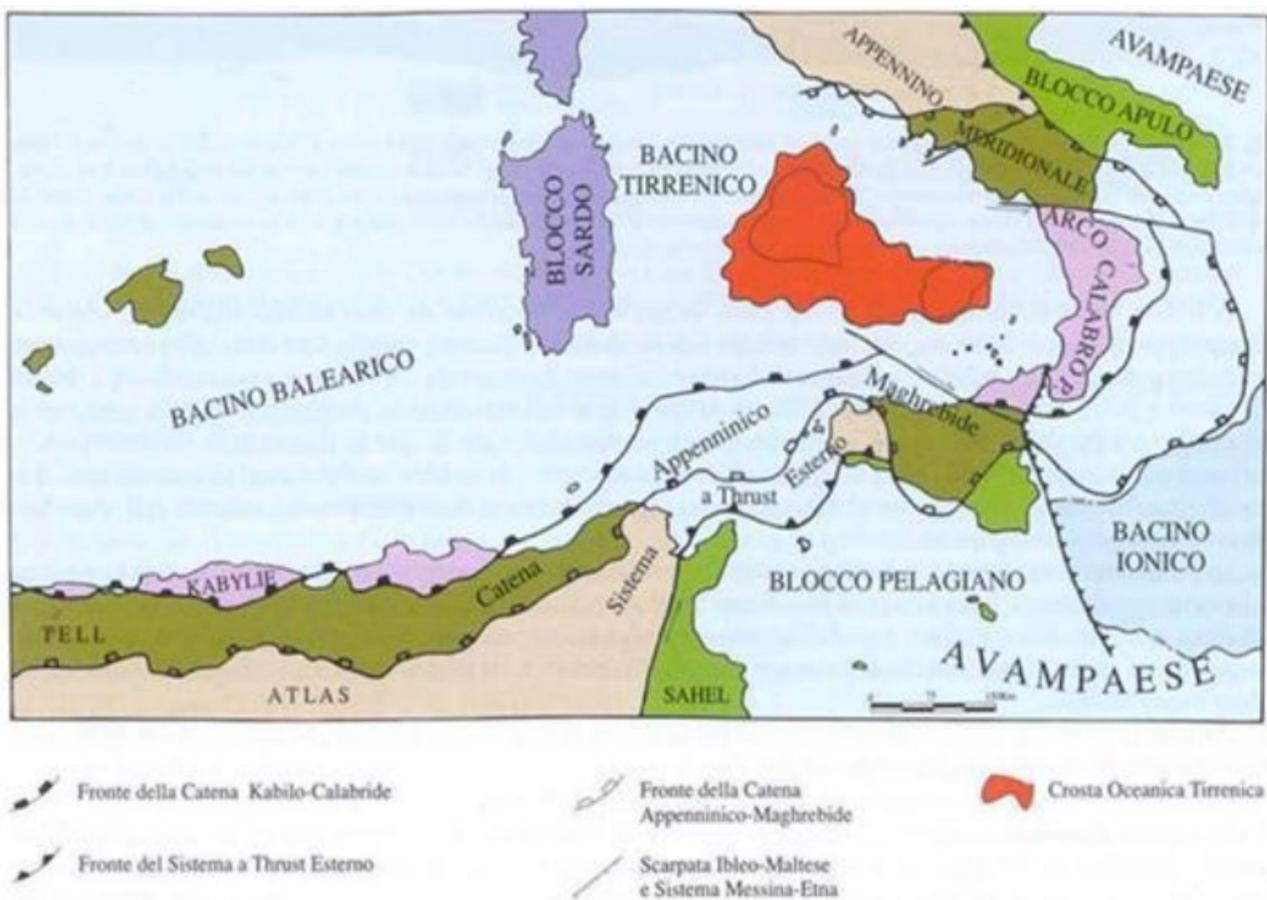


Figura 3: L'Arco Calabro Peloritano nell'evoluzione tettonica del Mediterraneo centrale (da Lentini et al., 2005, mod.)

Secondo gli studi più noti, la struttura principale di questa regione sarebbe rappresentata da uno slab orientato in direzione NE-SW e immergente a NW, posto sul fronte ionico, verso il quale sembra dirigersi l'intero Arco Calabro Peloritano.

La piana costiera a nord di Gioia Tauro in cui sarà realizzato l'intervento è interpretata come una piccola struttura di sprofondamento (graben), delimitata da faglie ad andamento NE-SO ed E-O, e parzialmente riempita da sedimenti antichi e recenti. La piana è compresa tra i due blocchi fagliati in corso di rapido innalzamento di Capo Vaticano e Palmi (Dumasetalii, 1982) ed è inserita nella più ampia struttura dell'Arco Calabro Peloritano. Dalla Carta Neotettonica d'Italia (CNR, 1983) l'abbassamento della piana di Gioia Tauro risalirebbe al Pliocene inferiore-medio con ulteriori movimenti fino al Pliocene superiore. Dal Pleistocene medio inizia un lento e progressivo sollevamento caratterizzato da una lunga fase di sedimentazione terrigena, con conseguente emersione e progradazione della piana verso occidente. A tale periodo è da ricondurre la faglia ad andamento NE-SO che segna, attraverso un evidente gradino morfologico, il limite est della piana costiera. Il gradino delimita dunque due aree distinte. Quella più a monte caratterizzata da ampi terrazzi continentali sabbiosi e conglomeratici, un tempo aree di abrasione marina poi dislocate a varie quote a seguito del sollevamento quaternario. L'altra è la fascia litoranea data da depositi di litorale antichi e recenti e sedimenti alluvionali.

La sismicità dell'area tirrenica meridionale è connessa all'evoluzione geodinamica dell'Arco Calabro durante l'intensa attività tettonica del Quaternario. La caratteristica tettonica più importante è rappresentata da una zona di faglia normale che si estende, più o meno continuamente, lungo il lato interno dell'Arco per circa 180 km. I segmenti di faglia individuali separano i principali bacini del Pliocene-Pleistocene dalle catene di montagne sollevate (Aspromonte, Serre e Catena Costiera). Un altro sistema è ancora quello di Reggio Calabria che si estende nell'area dello Stretto di Messina con orientamento NE-SW.

Del sistema di faglie normali Serre-Aspromonte con direzione NE-SW si ricorda la faglia di Cittanova che corre più o meno continuamente per una lunghezza totale di circa 80km lungo il confine tra le catene montuose di Serre e dell'Aspromonte sollevate e di bacini del tardo Pliocene-Pleistocene di Mesima e Gioia Tauro. La faglia di Cittanova è lunga 15 km e delimita ad est il graben di Gioia Tauro. Il piano di faglia si inclina ripidamente verso ovest e coinvolge sia i sedimenti più giovani del bacino di Gioia Tauro, fortemente deformati lungo il piano di faglia, sia i basamenti cristallini. Il rigetto verticale totale della faglia di Cittanova potrebbe raggiungere valori di circa 1200m; ciò suggerisce un tasso di sollevamento minimo di 0.6-0.7 mm/anno. Altro lineamento importante nella storia sismica della zona è la faglia di S.Eufemia. Questo segmento lungo 18 km è parte del sistema di faglia di S.Eufemia che si estende, verso ovest, dal margine meridionale della faglia di Cittanova allo Stretto di Messina. Questa faglia con direzione ENE-WSW si inclina ripidamente verso nord e, verso sud, delimita il bacino di Gioia Tauro.

2 INQUADRAMENTO SISMICO

2.1 Magnitudo di riferimento

Da un punto di vista sismico, l'arco Calabro rappresenta un'area molto attiva caratterizzata da eventi crostali storici, i più grandi dei quali raggiunsero (negli ultimi 6 secoli) un'intensità MCS di X-XI ($6 < M < 7.1$), e dal verificarsi di terremoti ad epicentri intermedi e profondi localizzati lungo il lato interno dell'Arco, sotto il Mar Tirreno meridionale.

La zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) ha definito n.36 zone sismogenetiche, a ciascuna delle quali è stata associata una sorgente sismica rappresentativa del quadro tettonico locale, dimensionandone la magnitudo M_w del terremoto atteso. Sulla base di tale zonazione è stata quindi redatta la pericolosità sismica di base di riferimento per la pianificazione urbanistica e la progettazione. Le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la classificazione della pericolosità sismica.

L'area di progetto si trova all'interno della zona n. 929 "Calabria Tirrenica", caratterizzata da una M_w di 7.3.

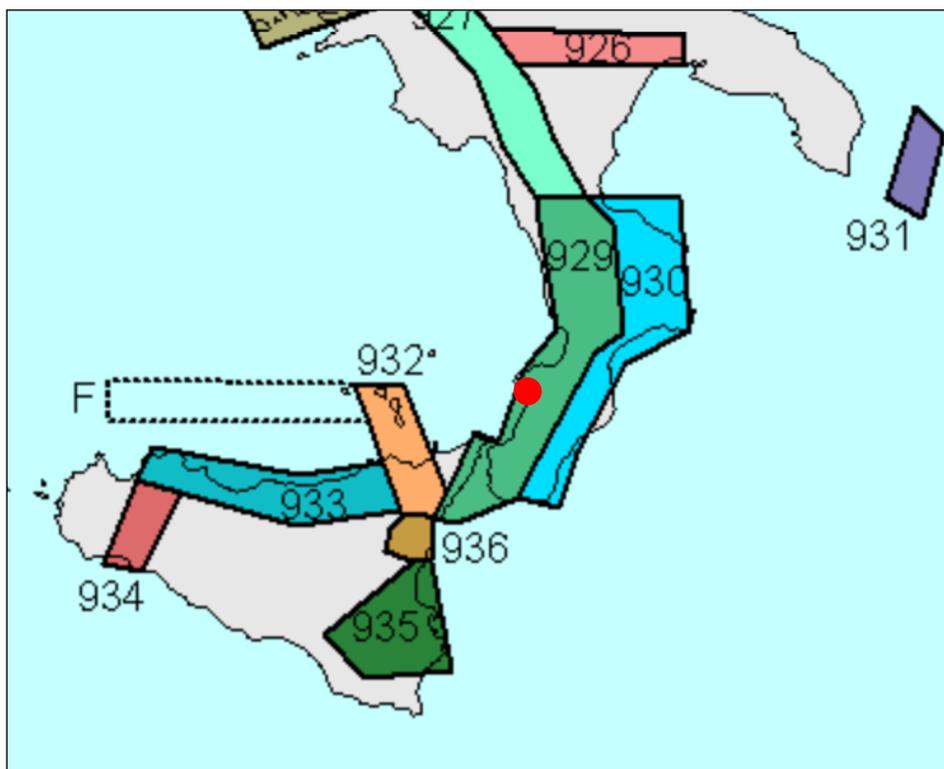


Figura 4: Zonazione sismogenetica ZS9 del Sud Italia. Le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la classificazione della pericolosità sismica. Il punto rosso indica l'area di intervento.

2.2 Sorgenti sismogenetiche

Dall'esame del "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS version 3 <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>), in prossimità dell'area di intervento è presente la sorgente sismogenetica composta ITICS082 – Piana di Gioia Tauro, le cui principali informazioni di riferimento sono riportate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

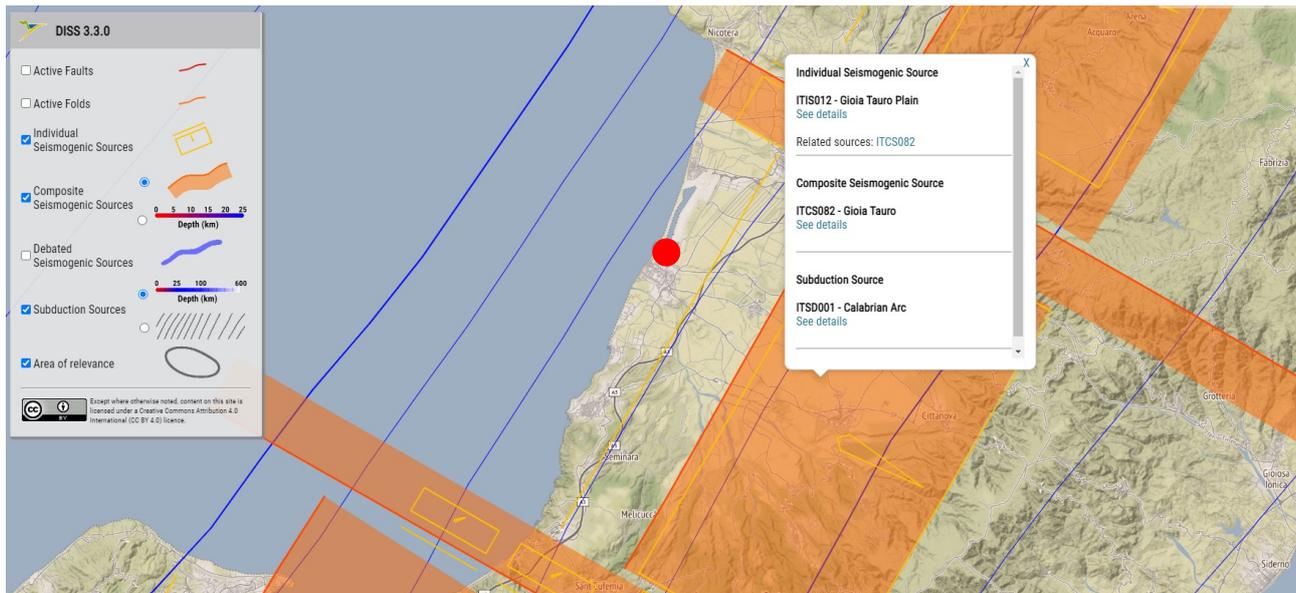


Figura 5: Estratto del database delle sorgenti sismiche italiane DISS per la zona in esame DISS version 3.3.0 (fonte INGV <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>). Il punto rosso indica l'area di intervento.

PARAMETRIC INFORMATION

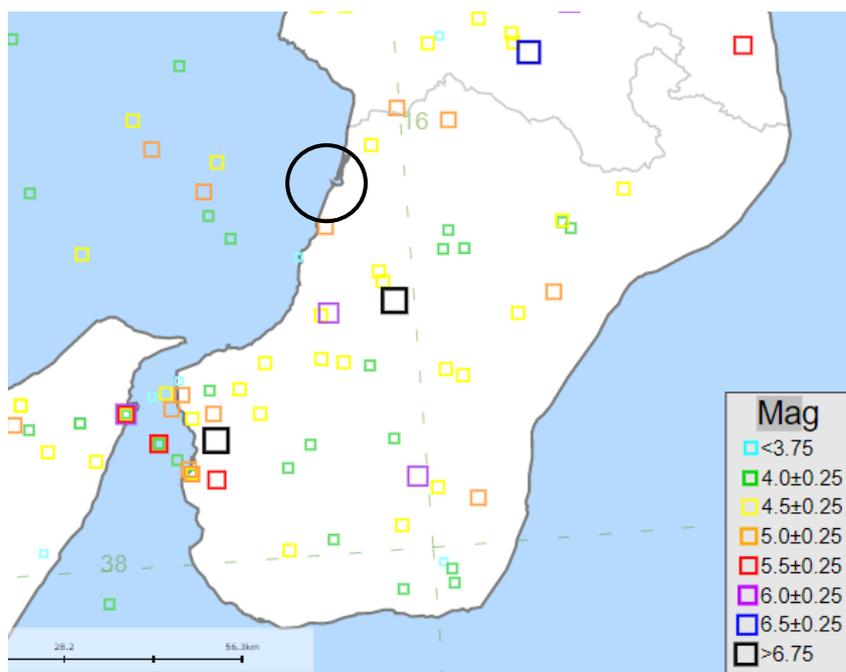
Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	3.0	OD Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	11.0	LD Based on data of instrumental seismicity.
Strike [deg] min... max	20...40	EJ Inferred from geological and geomorphological observations.
Dip [deg] min... max	20...40	EJ Inferred from geological observations.
Rake [deg] min... max	260...280	EJ Inferred from geological observations.
Slip Rate [mm/y] min... max	1.0000... 1.4000	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	7.1	ER Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 6: Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITICS082- Gioia Tauro.

2.3 Sismicità storica

La storia sismica del comune di Gioia Tauro è illustrata nelle figure seguenti in termini di intensità (Magnitudo), dove sono riportati i dati del database CPTI15 – DBMI15 (Rovida A. et alii, 2019) (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place)



Gioia Tauro

PlaceID	IT_65374
Coordinate (lat, lon)	38.426, 15.899
Comune (ISTAT 2015)	Gioia Tauro
Provincia	Reggio di Calabria
Regione	Calabria
Numero di eventi riportati	18

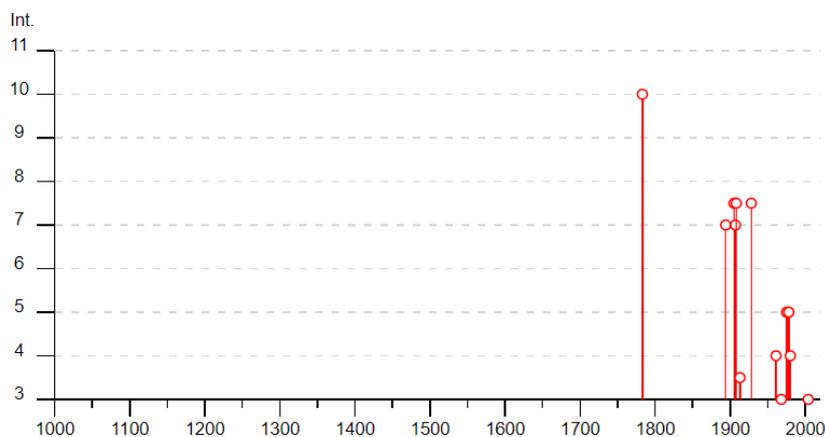


Figura 7: Sismicità storica del Comune di Gioia Tauro

2.4 Pericolosità sismica di base ai sensi del DM 17.01.2018

La figura seguente riporta la mappa della pericolosità sismica di base in condizione di campo libero (senza manufatti) per substrato rigido (categoria tipo A) e piano campagna orizzontale (categoria T1), tratta dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV.

Il valore della accelerazione di riferimento è compreso tra $a_g = 0.400$ e $a_g = 0.450$ (g) ed è stimata al 50° percentile per un evento sismico con probabilità di accadimento del 10 % in 50 anni.

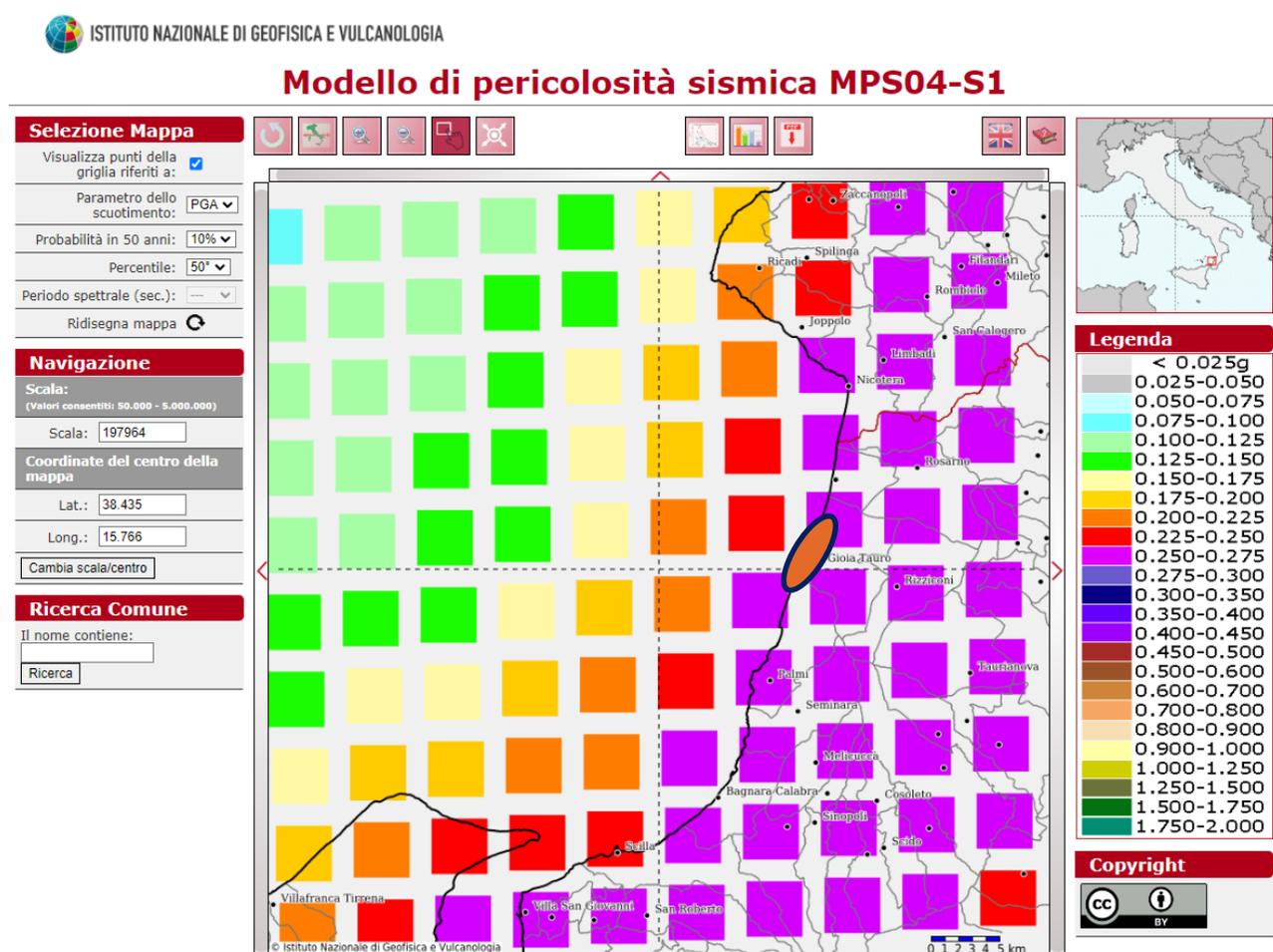


Figura 8: Mappa della pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (fonte <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). L'elisse blu individua l'area di intervento.

2.4.1 Vita nominale

Come riportato nelle NTC 2018 (2.4.1), la vita nominale di progetto V_N è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è prevista che l'opera, purché soggetta alla manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali, deve potere essere usata per lo scopo al

quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella 2.4.1 delle NTC18.

	Tipi di costruzione	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1 Tabella 2.4.1. NTC2018

Per le opere in progetto la Vita Nominale è pari a:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

2.4.2 Classi d'uso

Come riportato nelle NTC 2018, in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classi d'uso	Tipi di costruzione
<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti
<i>Classe III:</i>	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.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 2 Classi d'uso NTC2018

Le opere progettate rientrano in:

Classe d'uso IV

2.4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 3 Tabella 2.4.II NTC2018

La vita nominale delle opere è assunta pari a 50 anni con classe d'uso IV (coefficiente di utilizzo pari a 2) pervenendo così ad un periodo di riferimento $V_R = 100$ anni.

$$V_R = 100 \text{ anni}$$

2.5 Categoria di suolo

Il D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuove opere soggette ad azioni sismiche. La definizione dell'azione sismica a cui le strutture sono soggette è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'opera, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione del sito.

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.

Con riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC2018, per la definizione dell'azione sismica locale ci si è basati (approccio semplificato) sull'individuazione di categorie di sottosuolo stimate a partire dai valori di V_S , eq ottenuti dalle indagini sismiche precedentemente descritte:

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

Le prove geofisiche eseguite nell'ambito della campagna di indagini condotta da ANAS nel 2022, mostrano tutte una profondità H del substrato pari a 30 m.

La classificazione del sottosuolo è svolta con riferimento ai due lotti di progetto, UC165 e UC167 sulla base dei risultati delle indagini MASW condotte nell'area di intervento.

UC165

PROVE GEOFISICHE							
MASW 1							
Lunghezza [m]	Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs [m/s]	V _{seq(0-30)}	460 m/s
24	1	0	2.7	2.7	195		
	2	2.7	8.4	5.7	440		
	3	8.4	20.3	11.9	520		
	4	20.3	40	19.7	625	Suolo	B
MASW 2							
Lunghezza [m]	Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs [m/s]	V _{seq(0-30)}	457 m/s
46	1	0	2.4	2.4	200		
	2	2.4	7.3	4.9	430		
	3	7.3	27.5	20.2	530		
	4	27.5	40	12.5	610	Suolo	B

UC167

PROVE GEOFISICHE							
MASW 3							
Lunghezza [m]	Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs [m/s]	V _{seq(0-30)}	403 m/s
46	1	0	3.2	3.2	160		
	2	3.2	8.1	4.9	320		
	3	8.1	22.8	14.7	510		
	4	22.8	inf.	inf.	700	Suolo	B

L'area interessata dal progetto è quindi caratterizzata da una **categoria di sottosuolo 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."

2.5.1 Spetto di risposta in accelerazione

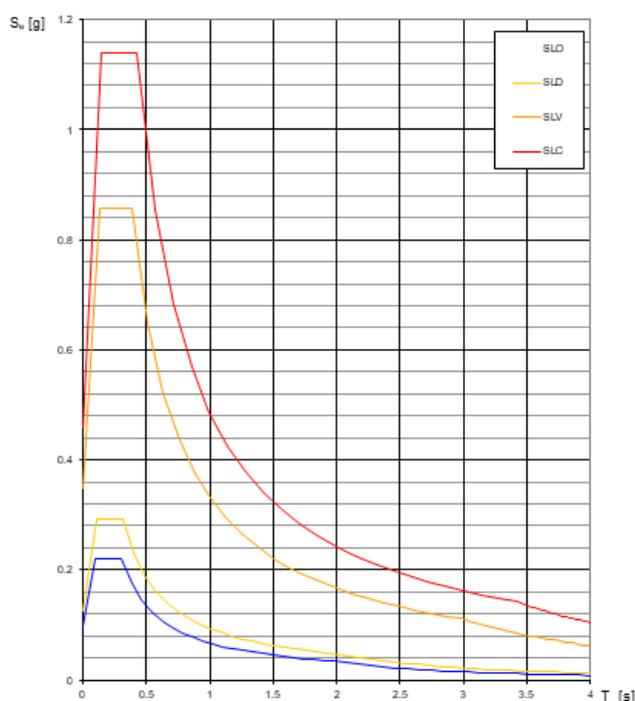
Nella seguente tabella vengono forniti, per periodi di ritorno TR di 60 anni, 101 anni, 949 anni, 1950 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati secondo la normativa vigente (NTC2018).

Nel dettaglio:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;
- 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.

TR [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
60	0.097	2.278	0.305
101	0.127	2.306	0.320
949	0.348	2.462	0.389
1950	0.457	2.495	0.426

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del peric

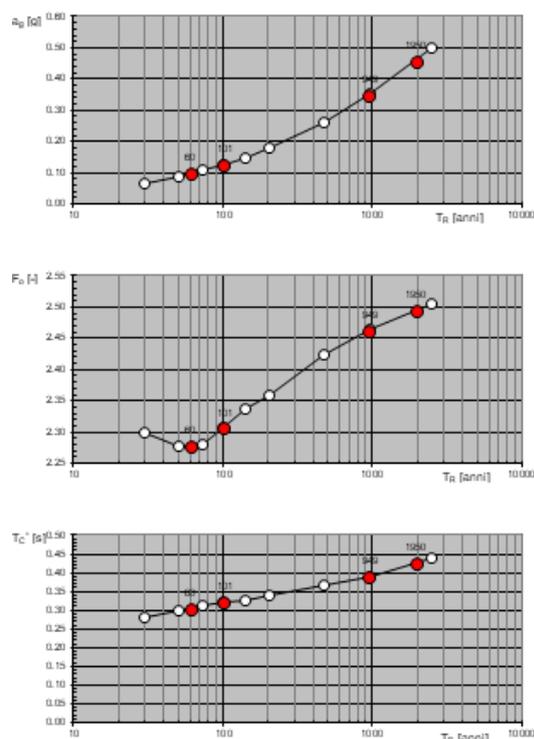


Figura 9: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* per i periodi di ritorno TR di riferimento

2.6 Amplificazione topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In particolare, il sito in oggetto può essere classificato di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1,0$.

2.7 Amplificazione stratigrafica - Risposta Simica Locale

Per la determinazione della risposta simica locale la normativa, al capitolo 3.2.2, cita:

"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s ."

Per il progetto in argomento, trattandosi di opere in calesse d'uso III, ai sensi delle "Linee Guida Per La Redazione Di Studi Di Microzonazione Sismica Del Territorio" della Regione Calabria, l'amplificazione sismica locale è stata valutata mediante un approccio rigoroso.

Attraverso questa metodologia si valutano le variazioni in termini di ampiezza e frequenza che subisce un input sismico (accelerogramma spettro-compatibile) nella sua propagazione da substrato sismico fino alla superficie a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche degli strati attraversati.

In relazione alla caratterizzazione stratigrafica evidenziata nel corso della campagna di indagini la metodologia adotta ha previsto lo sviluppo di analisi 1D, adatte a simulare una situazione caratterizzata da strati piano-paralleli poggianti su un substrato orizzontale, in cui le caratteristiche dei vari strati sono omogenee lateralmente e variano con la profondità. In questo caso si assume che le variazioni laterali di spessore e caratteristiche dei terreni sono irrilevanti e si calcola la risposta per una colonna di terreno caratteristica, potendosi trascurare effetti di bordo.

Il moto di input per le simulazioni numeriche di risposta sismica locale è generalmente rappresentato da accelerogrammi in superficie, riferiti a condizioni di suolo rigido orizzontale, liberi da effetti di amplificazione litostratigrafica o topografica. L'ampiezza ed il contenuto in frequenza di tali accelerogrammi dipende dalle caratteristiche della sorgente sismica (dimensioni della faglia, meccanismo di rottura), dalla magnitudo, e dalle caratteristiche fisico-meccaniche del percorso sorgente-sito.

L'approccio adottato per il progetto in argomento ha previsto la selezione di 7 accelerogrammi reali, spettrocompatibili con lo spettro a pericolosità uniforme della pericolosità di base adottata dalle NTC08. Le registrazioni sono state selezionate fra quelle disponibili per roccia o suolo rigido, in un intervallo di M-R compatibile con i risultati della disaggregazione sismica per il periodo di ritorno dello scuotimento analizzato per il sito di Gioia Tauro.

La definizione dell'azione sismica è quindi avvenuta attraverso i seguenti passaggi:

- Estrazione accelerogrammi di input e di progetto: Partendo dai dati di accelerazione di base e disaggregazione è stato possibile avviare l'estrazione degli accelerogrammi di input naturali. A tale scopo è stato utilizzato il software di riferimento Rexel V 3.5, messo a punto dal consorzio RELUIS (Rete dei Laboratori Universitari di ingegneria Sismica, <http://www.reluis.it/>). Il software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche da più banche dati, tra le quali la banca dati europea ESD (Amvroseys et al., 2004), la banca dati italiana ITACA (Working Group ITACA, 2010) e la banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011). Tale metodo unisce i vantaggi di una stima probabilistica dello scuotimento atteso e dell'utilizzo di accelerogrammi reali con caratteristiche compatibili con quelli dei terremoti che maggiormente contribuiscono alla pericolosità sismica del sito analizzato. Inseriti i dati di partenza raccolti precedentemente (accelerazione di base e disaggregazione) è stato possibile quindi ricavare 7 accelerogrammi naturali, che sono poi stati utilizzati per l'esecuzione dell'analisi della Risposta Sismica Locale.
- Valutazione della risposta sismica locale: La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata condotta utilizzando il programma Strata a partire dagli accelerogrammi ricavati da Rexel V 3.5, in cui
 - La situazione stratigrafica è stata approssimata a quella di una pila di strati piano paralleli omogenei
 - Ciascuno strato è caratterizzato da un comportamento lineare (ovvero le proprietà meccaniche non cambiano con l'entità delle deformazioni) definito da quattro parametri: lo spessore, la densità, il modulo di taglio (o il valore di velocità delle onde S) e lo smorzamento.

Le indagini geofisiche sono effettuate in adiacenza al sito e quindi ritenute attendibili. La sismostratigrafia di riferimento per l'analisi della risposta sismica locale tiene conto di:

- terreno di fondazione;
- spessore degli strati;
- peso per unità di volume del terreno;
- velocità delle onde medie di taglio V_s

Partendo da questi parametri, è stata ricostruita la profondità media di ogni strato, il modulo di taglio all'interno dello strato e la tensione verticale. Per l'assegnazione del tipo di materiale di ogni strato si è fatto riferimento alle indagini geognostiche. È stato considerato la stratigrafia di riferimento descritta in questa specifica relazione per valutare la risposta sismica locale Il tipo di materiale per la determinazione delle leggi di variazione del rapporto G/G_{max} e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione a taglio.

Lo spettro di risposta in accelerazione di input deve avere una forma spettrale compatibile con quella del sito in esame; gli accelerogrammi naturali provengono da registrazioni reali di eventi sismici, la cui scelta si basa sulla disaggregazione, ovvero il contributo della pericolosità del sito che è dato da una determinata sorgente sismogenetica posta ad una certa distanza epicentrale R che genera un evento di magnitudo M .

Nella seguente figura si riporta la combinazione media spettro-compatibile per il sito in esame con minore scarto estrapolata dal software REXEL 3.5, i cui n.7 accelerogrammi che ne generano lo spettro in accelerazione medio sono stati utilizzati come input al bedrock per l'analisi RLS allo SLV. Nella figura è inoltre evidenziato il fattore di scala per poter omogenizzare uno specifico accelerogramma con quello caratteristico del sito di riferimento "target spectrum").

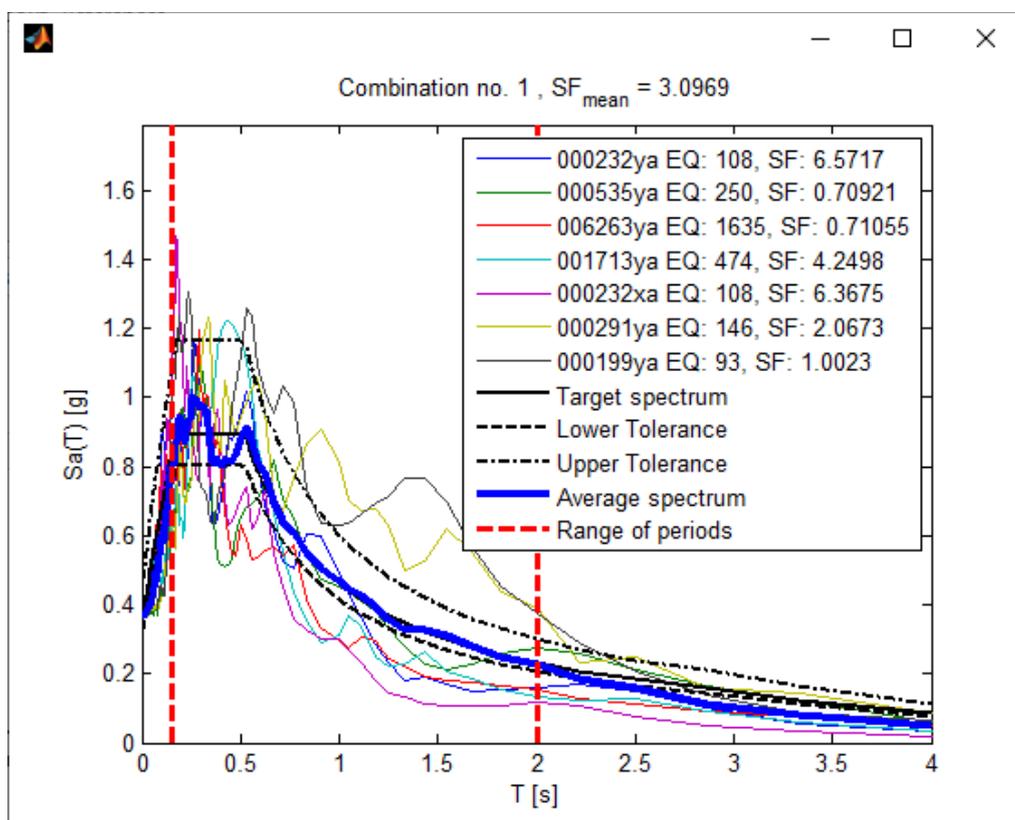


Figura 10: Accelerogrammi di riferimento

Sulla base degli accelerogrammi ottenuti e del modello del terreno, l'analisi di Risposta Simica locale è stata eseguita facendo propagare gli accelerogrammi di input dal bedrock alla superficie. L'analisi è stata eseguita mediante il software Strata v.05.5, che esegue le analisi di risposta sismica con il metodo EQL (Analisi lineare equivalente) nel dominio della frequenza utilizzando i moti di input nel dominio del tempo. Strata calcola così la risposta dinamica di sito di una colonna monodimensionale utilizzando la propagazione lineare delle onde con proprietà dinamiche del suolo che dipendono dalla deformazione.

Dall'analisi di Risposta Simica Locale si è così determinata un'accelerazione massima al suolo pari a:

$$a_{\max} = 0.451$$

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S è definito come il rapporto tra il valore di a_{\max} dello spettro di output e di input (Categoria A).

Nel caso in esame si ottiene:

$$S_S = 0.451 / 0.348 = 1.296$$

Tale coefficiente di amplificazione così determinato risulta superiore a quello determinato numericamente in relazione alle NTC18 (Tabella 4), che risulterebbe pari a $S_S = 1,06$.

Per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S si rimanda alla Tab. 3.2.IV

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 4 - Tab. 3.2.IV (NTC 2018) – Espressioni di S_s e di C_c .

Si assume pertanto come valori di riferimento quelli determinati dall'analisi di risposta sismica locale con metodo rigoroso:

- $a_{max} = 0,451g$
- $S_s = 1.296$

3 ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace (Riga 2007). Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Ovviamente, per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

L'attuale normativa vigente in materia di costruzioni edilizie (NTC2018 - par. 7.11.3.4.2) prevede che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$, dove $(N1)_{60}$ 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 efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati da normativa, distinti in funzione del coefficiente di uniformità U_c .

In relazione alle condizioni n.2 e n.3 la verifica alla liquefazione è omessa.