

SS 189 - Itinerario Agrigento Palermo  
Sistemazione e messa in sicurezza dello svincolo al Km 24 della SS 189  
(Svincolo San Giovanni Gemini in località Tumarrano)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. PA-884

R.T.I. di PROGETTAZIONE:



Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

MANDATARIA



Servizi integrati d'ingegneria - Progettazioni  
Computer Aided Design - Drafting  
Sviluppo soluzioni software - hardware - dedicato

MANDANTE



ING. ANDREA MILANO

MANDANTE

MANDANTE

PROGETTISTI:

Ing. Nicola D'Alessandro - Responsabile delle prestazioni specialistiche  
Delta Ingegneria srl - Ordine Ing. di Agrigento n. A995



AREE SPECIALISTICHE:

<b>GEOLOGIA</b> Dott. Geol. Massimo Carlino - Delta Ingegneria srl Albo Geol. di Sicilia n. 1328	<b>PROGETTAZIONE IDRAULICA</b> Ing. Maurizio Carlino - Delta Ingegneria srl Ordine Ing. di Agrigento n. A628
<b>PROGETTAZIONE STRADALE E GEOTECNICA</b> Ing. Domenico D'Alessandro - Delta Ingegneria srl Ordine Ing. di Agrigento n. A634	<b>IMPIANTI</b> Ing. Andrea Milano Ordine Ing. di Agrigento n. A789
<b>AMBIENTE E PAESAGGIO</b> Ing. Raimondo D'Alessandro - Delta Ingegneria srl Ordine Ing. di Agrigento n. A2254 Dott. Agr. Floriana Di Leonardo Albo degli Agronomi e Forestali Provincia di Palermo n. 1250	<b>STRUTTURE</b> Ing. Antonio Alparone - Alisea srl Ordine Ing. di Palermo n. A9349 Ing. Giuseppe Ferraro - Delta Ingegneria srl Ordine Ing. di Agrigento n. A203
<b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Nicola D'Alessandro - Delta Ingegneria srl Ordine Ing. di Agrigento n. A995	<b>ACUSTICA</b> Ing. Antonio Orlando - TCE srl Ordine Ing. di Salerno n. 3817
<b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b> Ing. Luigi Mupo	

**STUDI ED INDAGINI**

**Geologia**  
Relazione sismica



CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO LIV. PROG. ANNO <b>DPPA0884 E 23</b>		<b>T00GE00GEORE06B.pdf</b>		<b>B</b>	-
CODICE ELAB. <b>T00GE00GEORE06</b>					
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>	Revisione per recepimento riesame ANAS	Gennaio 2024	Dott. Geol. M. CARLINO	Ing. N. D'ALESSANDRO	Ing. N. D'ALESSANDRO
<b>A</b>	Consegna Progetto Esecutivo	Ottobre 2023	Dott. Geol. M. CARLINO	Ing. N. D'ALESSANDRO	Ing. N. D'ALESSANDRO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## Sommario

<b>1. Premessa .....</b>	<b>2</b>
Normativa di riferimento.....	2
<b>2. Breve descrizione del tracciato e delle opere principali .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Studio geologico, geomorfologico e idrogeologico generale .....</b>	<b>6</b>
3.1. Inquadramento geografico.....	6
3.2. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico Fiume Platani.....	7
3.3. Assetto Geomorfologico generale .....	8
3.4. Assetto Idrogeologico generale .....	12
3.5. Inquadramento geologico generale.....	15
<b>4. Classificazione sismica (macrozonizzazione).....</b>	<b>24</b>
<b>5. Definizione categoria del suolo di fondazione (microzonizzazione)....</b>	<b>27</b>
5.1. Dati di base .....	27
5.1.1. Campagna integrativa agosto-dicembre 2023 .....	28
5.2. Risultati indagini geofisiche. ....	29
5.3. Analisi Sismica.....	47
5.3.1. Settore rotatoria n°1 e Rampe n°1-3 e 5.....	47
5.3.2. Settore Rampa 4 "Viadotto sulla SS 189".....	50
5.3.3. Settore Rotatoria 2 – Rampa 6 – Rotatoria 3.....	54
5.4. Pericolosità sismica e definizione dello spettro di risposta elastico .....	56
5.4.1. Pericolosità sismica.....	56
5.4.2. Massime intensità macrosismiche osservate a Cammarata .....	62
5.4.1. Massime intensità macrosismiche osservate a San Giovanni Gemini .....	63
5.4.2. Sorgenti sismogenetiche.....	64
5.5. Azione sismica locale e spettro di risposta elastico.....	66
5.5.1. Settore Rotatoria n°1 e Rampe 1-3 e 5.....	69
5.5.2. Settore Rampa n°4 "viadotto sulla S.S. 189".....	71
5.5.3. Settore Rotatoria n° 2 - Rampa 6 - Rotatoria n° 3.....	73
5.6. Risposta sismica e stabilità del sito nei confronti della liquefazione .....	75
5.6.1. Aspetti generali .....	75
5.6.1. Verifica ai sensi NTC 2018.....	76
<b>6. Bibliografia.....</b>	<b>78</b>

## 1. Premessa

Scopo della presente relazione è illustrare le caratteristiche sismiche del territorio interessato dai lavori del progetto "Lavori di sistemazione e messa in sicurezza dello svincolo Tumarrano al km 23+450 della S.S. 189 "Della Valle del Platani".

A tal fine si è proceduto ad illustrare la sismicità dell'area ed a fornire la caratterizzazione nano-sismica dei terreni interessati dalle opere previste in progetto, con le seguenti finalità:

- Individuare la zona sismica del comune su cui ricade l'opera oggetto di studio (macrozonazione sismica) ai sensi dell'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006
- definire la categoria del suolo di fondazione (microzonazione) attraverso i profili di velocità ottenuti con le prove geofisiche in sito, secondo quanto specificato dal *D.M. 17-01-2018 "Normative tecniche per le costruzioni"*
- caratterizzare la pericolosità sismica dell'area mediante l'individuazione dei parametri  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno) e dell'Intensità macrosismica  $I_{max}$ ;
- ricavare i parametri spettrali che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione  $S_e(T)$ , dai quali viene poi ricavato dal progettista lo spettro di progetto  $S_d(T)$  caratteristico del tipo d'opera seguendo le modalità riportate nel *D.M. 17-01-2018 "Normative tecniche per le costruzioni"*

In prima istanza si è pertanto eseguita una ricerca bibliografica per l'acquisizione della documentazione scientifica e tecnica relativa all'area; consultato i documenti ed elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione Sicilia, della Provincia di Agrigento, e raccolto i dati e le informazioni provenienti dallo studio geologico del territorio interessato dai lavori in oggetto. La pericolosità sismica dell'area, è stata definita facendo riferimento alle mappe ed ai dati pubblicati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti GNDT, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV e dal CNR Istituto Nazionale di Geofisica.

### **Normativa di riferimento**

Alla base dello studio è posto il **D.M. 17 gennaio 2018**, pubblicato nella G.U. n.° 42 del 20 Febbraio 2018 (Supplemento Ordinario n°8), che sostituisce ed aggiorna le vecchie norme di cui al DM 14/01/2008 e in tema di **Classificazione Sismica Regionale** l'Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3519 del 28/04/2006 recepita dalla Regione Sicilia a seguito del DDG n. 64/2022 del 11/03/2022 della DPCR e delibera di Giunta regionale n° 81 del 24/02/2022.

Nel dettaglio:

- DPR 5 ottobre 2010, n. 207 - *Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».*

- D.M. 17 gennaio 2018 - *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”*
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. - *“Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”*
- OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 - *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche”*
- OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle stesse zone”*
- D.g.r. n. 408 del 19 dicembre 2003 - *“Individuazione, formazione ed aggiornamento dell’elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento ed attuazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274”.*
- D.g.r. n. 81 del 24 febbraio 2022 - *“Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia. Applicazione dei criteri dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519”.*
- D.D.G. n. 64 del 11/03/2022 - *“Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia. Applicazione dei criteri dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519”. Deliberazione della Giunta Regionale 24 febbraio 2022, n. 81. Decreto di adozione della nuova classificazione sismica.*

## 2. Breve descrizione del tracciato e delle opere principali

Il progetto prevede la realizzazione di uno svincolo a piani sfalsati al posto dell'esistente e pericoloso doppio svincolo a raso con innesto da un lato sulla SP 26 per Cammarata e San Giovanni Gemini e dall'altro sulla SP 26 del Tumarrano (Vallelunga Platameno). Negli ultimi tempi l'afflusso di traffico in tale svincolo è ulteriormente aumentato anche per effetto della realizzazione del centro commerciale "Tumarrano" per cui è aumentato il flusso che da Cammarata taglia la SS189 in corrispondenza dello svincolo a raso per immettersi nella SP26 che conduce verso il centro commerciale.



Fig. 1 – Vista da Google Earth con nuovo svincolo da realizzare

Lo svincolo a piani sfalsati progettato riprende lo schema di svincolo previsto nel Progetto Preliminare redatto dal Libero Consorzio e già verificato da ANAS con certificato n. PA 784 del 17/01/2018 di verifica tecnica con esito positivo.

In particolare la soluzione proposta prevede:

- ✓ La realizzazione di un nuovo cavalcavia sulla SS 189;
- ✓ La realizzazione di n. 2 rotatorie per lo svincolo del nuovo Cavalcavia da entrambi i lati rispetto alla SS189 e di n.1 rotatoria sulla SP26 in prossimità del Centro Commerciale, lato Tumarrano;
- ✓ La realizzazione delle rampe di uscita ed immissione nella SS 189 in prossimità del ponte esistente della SP 26 su fiume Platani, che viene riutilizzato e riqualificato per la funzionalità dello svincolo;

- ✓ La demolizione della rampa di immissione esistente dalla SP 26 sulla SS 189 in direzione Agrigento, in quanto non a norma.
- ✓ La manutenzione straordinaria della SP per Mussomeli, nel tratto compreso tra le due rotatorie poste in sinistra idraulica del fiume Platani (Lato Tumarrano).

*RTI di  
progettazione:*

*Mandataria*



**tce** S.r.l.  
technical consultant engineers

SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA - Progettazioni  
Computer Aided Design - Drafting  
Sviluppo soluzioni software - hardware - dedicato

*Mandanti*



ING.ANDREA  
MILANO



### 3. Studio geologico, geomorfologico e idrogeologico generale

#### 3.1. Inquadramento geografico

Le aree interessate dagli interventi previsti in progetto sono localizzate nei Comuni di Cammarata e San Giovanni Gemini, in provincia di Agrigento, e prevedono la razionalizzazione del doppio svincolo a raso lungo la SS 189, denominato del "Tumarrano", al km 23+450.



Fig. 2 – Stralcio CTR 621130 con individuazione nuovo Svincolo in progetto "Tumarrano"

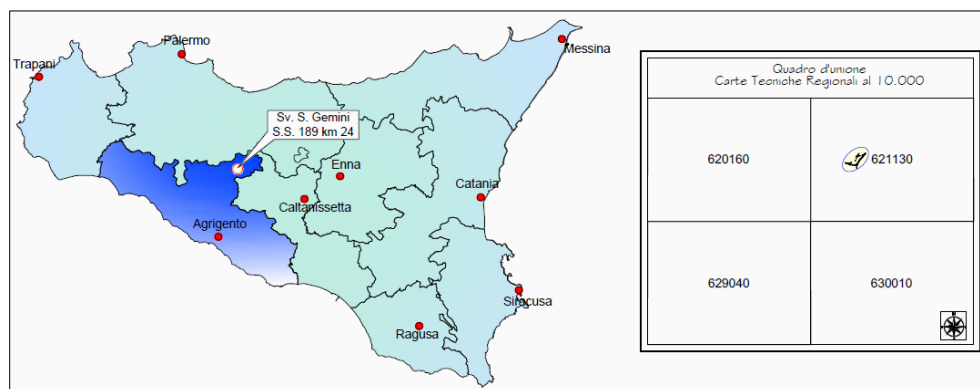


Fig. 3 – Quadro di unione CTR scala 1: 10.000 e inquadramento regionale

### 3.2. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico Fiume Platani

L'area in oggetto di studio in riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (art. 1 L. 267/98 e s.m.i.), rientra nel *Bacino idrografico del Fiume Platani (063)*, adottato dalla Regione Sicilia con D.P.R. del 25.01.2006 pubblicato sulla G.U.R.S. n. 14 del 17.03.2006, insieme ai successivi aggiornamenti fino al 2019 e le proposte di aggiornamento adottate con D.S.G n. 260 del 04/11/2020. Dall'esame delle Carte PAI della pericolosità e del rischio geomorfologico emerge che le opere in progetto non ricadono in area con presenza di frane e/o dissesti geomorfologici o criticità geologiche.

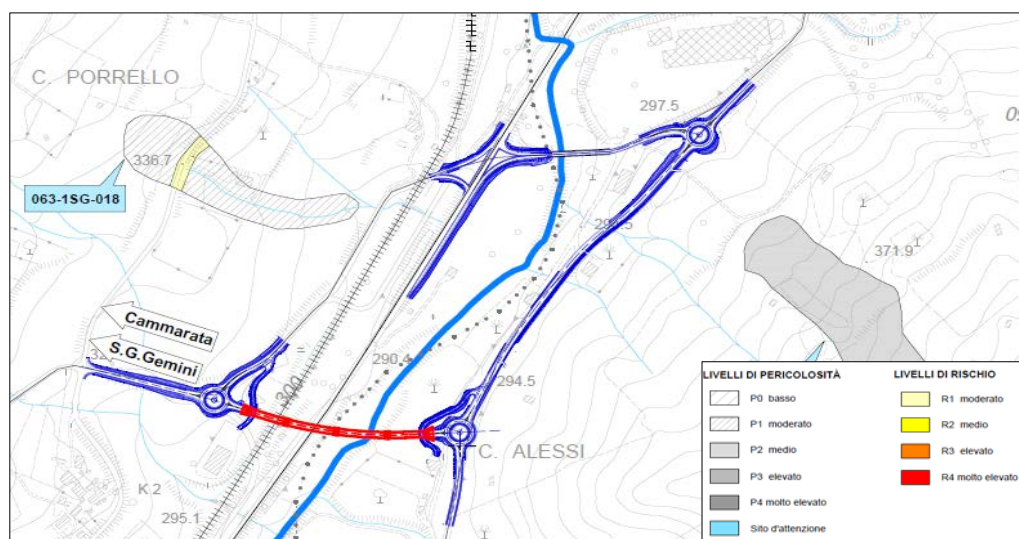


Fig. 4 – Stralcio carta PAI, pericolosità e rischio geomorfologico e relativa legenda

Analogamente nell'area in progetto le carte del rischio idraulico per fenomeni di esondazione non censiscono alcun rischio, ma soltanto un'area a pericolosità P3.

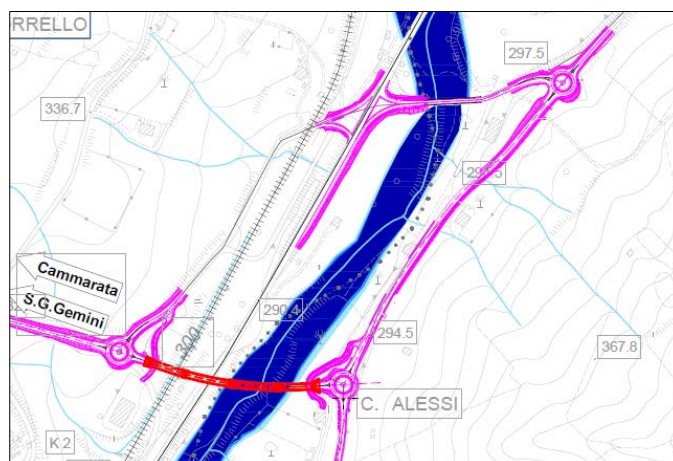


Fig. 5 – Stralcio carta PAI, pericolosità e rischio idraulico



### 3.3. Assetto Geomorfológico generale

Il sito di progetto si inserisce nel contesto morfologico del fondo valle del Fiume Platani, il settore si caratterizza per una morfologia sub-pianeggiante con estese piane alluvionali di fondovalle con depositi recenti e terrazzati disposti anche su più ordini, il letto di magra del Platani risulta incassato nelle stesse alluvioni più antiche precedentemente depositatesi.

Il letto fluviale mostra massima ampiezza, circa 500 m, nelle zone di confluenza del fiume con i suoi tributari (*Vallone Passo del Barbieri, Vallone Scrudato, Vallone Crasto*). Il reticolo idrografico principale è curvilineo localmente meandriforme con ampie anse, gli affluenti sono ben sviluppati sui versanti argillo-marnose, con patterns rettilineo o sub-rettilineo ed impluvi con ordine gerarchico del I, II e III grado.

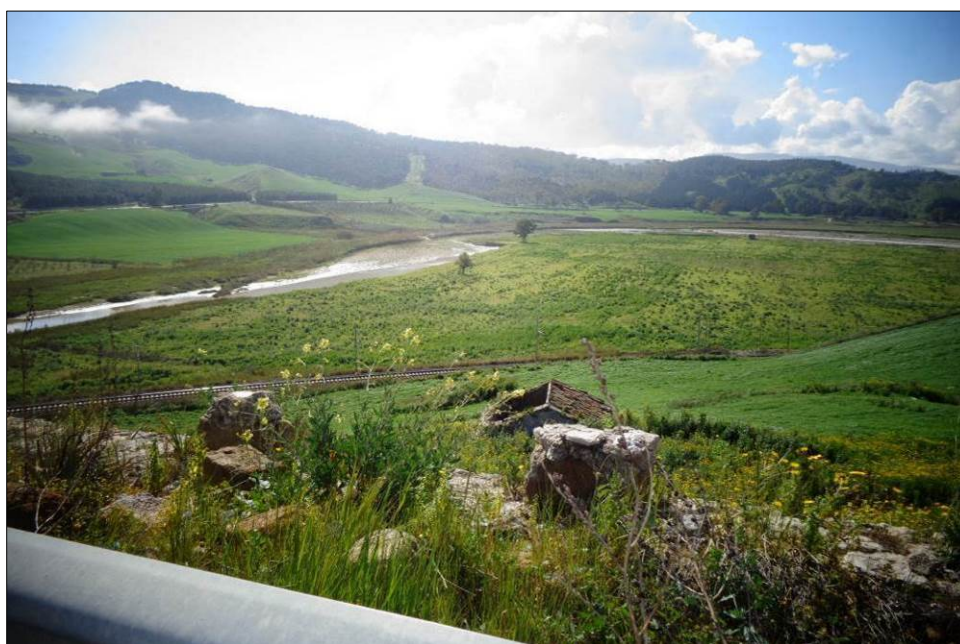


Fig. 6 – Ampia piana alluvionale del Fiume Platani

Tra i processi erosivi da segnalare nell'asta principale fenomeni di erosione di fondo con incisione dell'alveo ed erosione laterale delle scarpate fluviali con possibile scalzamento al piede del pendio argilloso. Oltre tali processi locali le principali azioni morfologiche connesse al Platani sono legate alle azioni di esondazione e divagazione delle acque, con conseguente rimaneggiamento dei sedimenti alluvionali della pianura e formazioni di depositi limo-argillosi lasciati alla fine di ogni piena.

I depositi alluvionali sono costituiti da limo, sabbia limosa, sabbia ghiaiosa di colore bruno nerastro con minuti frammenti litici costituenti livelli di "alluvioni fini" in assetto lenticolare embriacato con livelli più *grossolani*, dove prevalgono ghiaia e ciottoli immersi in matrice limo sabbiosa. Lo spessore dei depositi alluvionali è variabile da 5 a 15 metri circa in relazione alla conformazione locale.

Da segnalare la presenza di forme più aspre e nette in corrispondenza degli affioramenti della serie Evaporitica compresi fra i terreni prevalentemente argillosi tardo-terziari e i litotipi calcareo-marnosi e argillosi pliocenici (formazione dei Trubi con intercalazioni di breccie argillose). Tra le dorsali evaporitiche da segnalare i crinali gessosi di *Contrada Passo Funnuto – Montagnola* e di *Contrada Mola* che si ergono dalla piana alluvionale del Platani con quote e pendenze assai elevate.

Gli aspetti morfogenetici e le forme principali riconosciute nel contesto generale, oltre lo stretto sito di progetto, vengono di seguito sintetizzati:

### Fenomeni gravitativi

Lungo tutti i versanti argillosi della valle del Platani, indipendentemente dalla formazione affiorante (Flysch numidico nella facies pelitica, marne di San Cipirello, argille brecciate gessose o complesso argilloso tortoniano), sono state rilevate in corrispondenza diverse aree con presenza di nicchie di distacco, contropendenze ed avvallamenti che hanno conferito un aspetto irregolare ai pendii, denotando processi morfogenetici in atto.

Diverse zone, infatti, si caratterizzano per denudazione dei versanti per ruscellamento diffuso, evoluzione gravitativa negativa, che hanno determinato frane di colamento più o meno diffuse, creep, forme di erosione accelerata e calanchi.

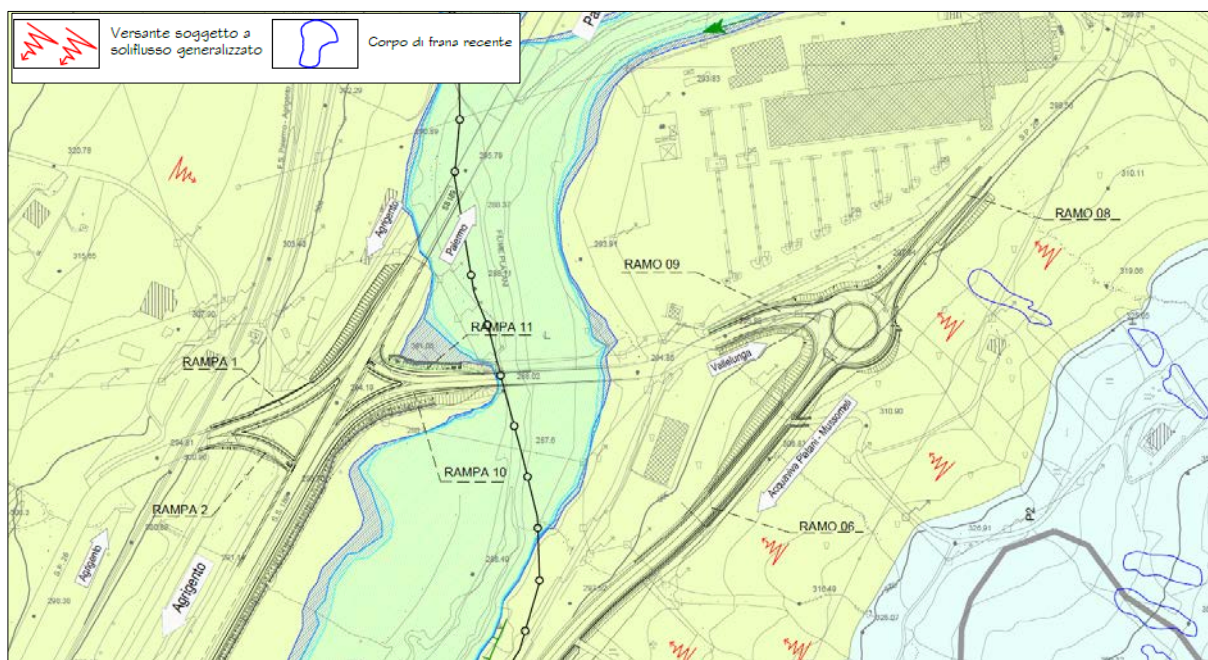


Fig. 7 – Stralcio carta geomorfologica

Il versante presenta una spessa coltre elu-colluviale di 7-8 metri originatasi dalla alterazione, disgregazione e disfacimento della formazione in posto; tale livello sommitale risulta soggetto a erosione accelerata che può evolvere a fenomeni calanchivi o colamenti lenti che deformano il versante che avanza in direzione valle.

Le forme rilevate risultano prevalentemente attive e riattivate, e sebbene non mobilizzino elevati spessori di roccia, in vari settori la loro diffusione è così estesa da determinare una condizione di dissesto elevato.

#### Forme fluviali

Le principali forme fluviali sono state rilevate nell'ambito del *Fiume Platani*, che presenta un esteso bacino a regime permanente, mentre i restanti corsi d'acqua sono a regime temporaneo strettamente legati ai cicli stagionali piovosi.

Le principali forme rilevate riguardano l'erosione fluviale di fondo e l'erosione spondale dei corsi d'acqua, che a luoghi può comportare fenomeni di richiamo a monte innescando dissesti e colamenti superficiali.



**Fig. 8 - Fiume Platani in prossimità dell'areale di progetto**

In prossimità delle contrade *Contrada San Pietro, Passo del Barbieri, Contrada Faina, San Giorgio, Isola Aratro* sono evidenti le morfologie legate alle esondazioni del Platani, che hanno determinato un'importante sedimentazione di tipo alluvionale con formazione di ampi terrazzi fluviali di forma allungata e disposti sub paralleli al corso d'acqua

#### Forme antropiche

Il modellamento antropico contribuisce notevolmente, sia in modo diretto che indiretto, nel cambiamento dell'assetto naturale del territorio. Nell'ambito della finalità del progetto stradale si è proceduto al rilevamento dei laghetti artificiali diffusi nelle zone argillose, nelle aree di cava localizzate in



corrispondenza di alcuni affioramenti calcarei e negli accumuli di materiale di riporto in grado di alterare in misura più o meno marcata la naturalità del paesaggio.

Oltre ai dissesti censiti dal PAI e da ISPRA (carta Inventario Fenomeni Franosì) si riportano tutti i dissesti rilevati nel corso del rilevamento di campagna tra cui alcuni colamenti e soliflussioni che hanno obliterato l'originario assetto dei versanti.

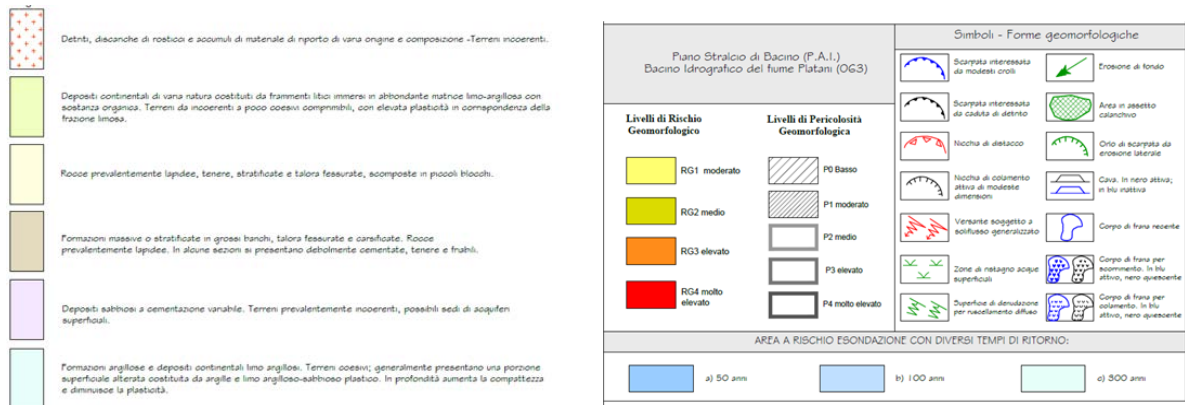


Fig. 9 - Legenda Carta Geomorfologica

### 3.4. Assetto Idrogeologico generale

Di seguito si riporta lo studio a carattere idrogeologico eseguito nell'area in studio, che ha consentito di individuare i complessi idrogeologici, le idrostrutture, gli acquiferi presenti in zona ed il flusso idrico sotterraneo che caratterizza il sottosuolo del territorio in esame.

Va subito evidenziato che la principale idrostruttura dell'areale il cui acquifero interferisce direttamente con le opere in progetto è rappresentata dal il **fondo valle del F. Platani**; il complesso è presente con buona continuità e spessore (mediamente 10-12 metri), sostenuto in profondità dalle argille tortoniane o dalle marne della F.ne San Cipirello. Il complesso ospita un notevole acquifero, perenne strettamente legato al deflusso di sub alveo del corso d'acqua.

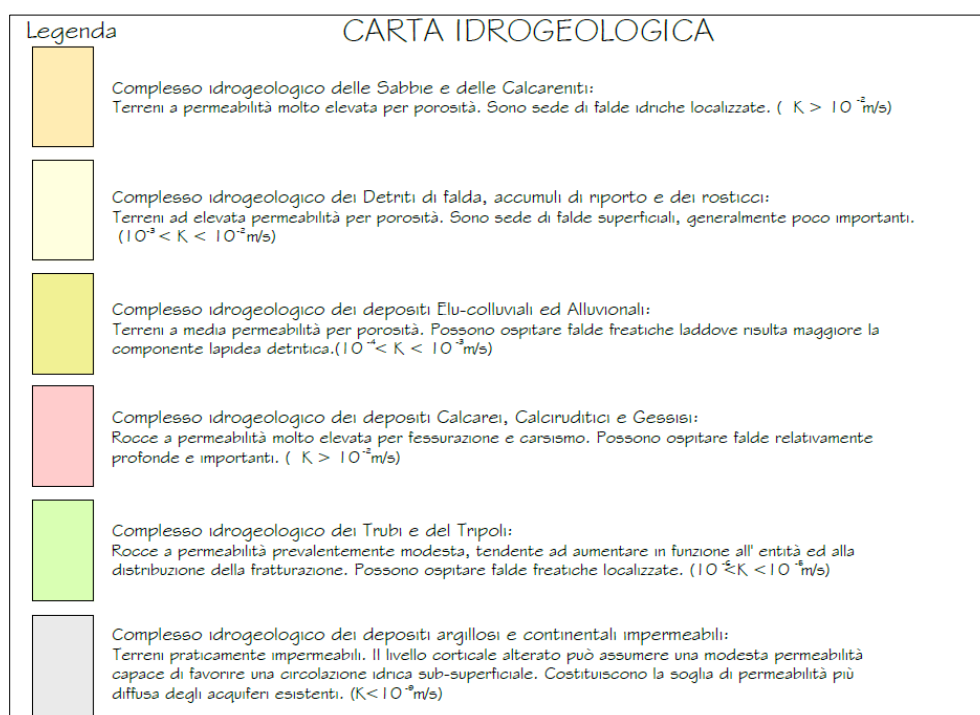


Fig. 10 – Stralcio legenda carta idrogeologica con identificazione dei complessi

Al fine di definire il modello idrogeologico del settore interessato alla costruzione dell'infrastruttura sono stati definiti, n° 6 complessi idrogeologici, intendendo con tale denominazione l'insieme dei termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giacitura, un tipo e grado di permeabilità omogenea.

In tal senso è stata eseguita un'interpretazione idrostrutturale, combinando le informazioni derivanti dal rilievo geologico di superficie, dai dati piezometrici misurati in corrispondenza dei fori di sondaggio, dal censimento dei punti di emergenza idrica e dalla permeabilità dei litotipi.



I complessi individuati sono stati così distinti:

- **Complesso idrogeologico delle sabbie e delle calcareniti:** terreni a permeabilità molto elevata per porosità, tendente a diminuire in concomitanza di livelli argillo-limosi. Coefficiente di permeabilità:  $K > 10^{-2}$  m/s.

- **Complesso idrogeologico dei detriti di falda e degli accumuli di riporto:** terreni ad elevata permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-3} < K < 10^{-2}$  m/s.

Sono sede di limitate falde superficiali, generalmente poco importanti.

- **Complesso idrogeologico dei depositi elu-colluviali ed alluvioni:** terreni a media permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-4} < K < 10^{-3}$  m/s.

Trattasi dei livelli di depositi continentali costituiti da limi argillosi frammisti a ghiaia, sabbia e ciottoli; la permeabilità può variare in relazione all'abbondanza della frazione limo-argillosa.

È il complesso più importante e diffuso nel settore investigato in particolar modo nella componente alluvionale; in tutto il fondo valle del Platani il complesso è presente con buona continuità e spessore, sostenuto in profondità, nel settore in studio, dalle argille del flysch o dalle marne della F.ne San Cipirello.

- **Complesso idrogeologico dei Trubi e del Tripoli:** terreni a permeabilità modesta per porosità, tendente ad aumentare in funzione della fratturazione del litotipo. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-6} < K < 10^{-5}$  m/s.

- **Complesso idrogeologico dei Calcari e Gessi:** Rocce a permeabilità molto elevata per fessurazione e carsismo. Coefficiente di permeabilità:  $K > 10^{-2}$  m/s.

Il complesso si localizza principalmente nelle contrade *Mola e Passo Fonnuto*. Si tratta di vasti affioramenti di calcari e gessi evaporitici che possono ospitare falde relativamente profonde (superiore ai 30 m dal p.c.) ed importanti.

- **Complesso idrogeologico delle argille:** terreni praticamente impermeabili. Coefficiente di permeabilità:  $K < 10^{-9}$  m/s.

Il livello corticale alterato può assumere una modesta permeabilità capace di favorire una circolazione idrica sub-superficiale. Costituiscono la soglia di permeabilità più diffusa degli acquiferi esistenti.

L'analisi di tutte le informazioni acquisite ha permesso di identificare l'idrostruttura principale interessata dalle opere in progetto;

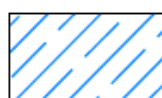
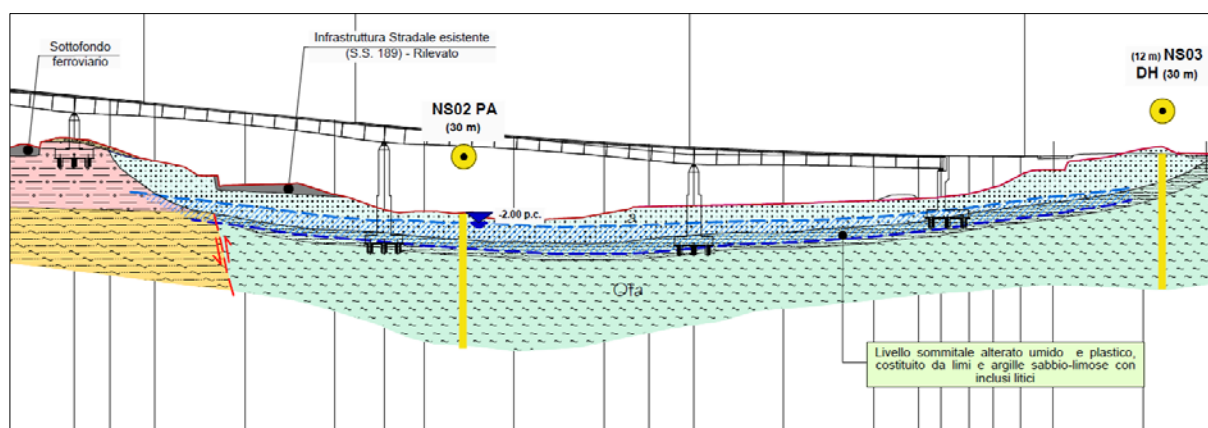
- ✓ Acquiferi continentali: falde nell'ambito dei depositi superficiali elu-colluviali e soprattutto delle alluvioni del Platani

Nello specifico l'acquifero che intercetta la nuova infrastruttura è ospitato nel complesso alluvionale e nei livelli eluviali - colluviali e nella porzione sommitale alterata della formazione argillosa di base costituita da limi sabbiosi; di ciò si ha evidenza nei sondaggi NS 2, NS6 che hanno mostrato presenza di falda a circa 2 - 3 metri dal p.c.

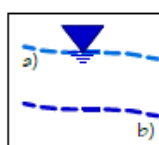
SONDAGGIO	DATA lettura	PROFONDITA' falda
N02	04/01/2021	2.00m dal p.c.
	29/01/2021	1.85m dal p.c.
N05	29/12/2020	23.50 m dal p.c.
	29/01/2021	23.40 m dal p.c.
N06	29/12/2020	4.00 m dal p.c.
	29/01/2021	3.90 m dal p.c.

Trattasi di una falda di subalveo il cui limite inferiore dell'acquifero non è netto e si individua con la comparsa graduale delle argille grigio consistenti e compatte praticamente impermeabili.

La direzione di flusso prevalente del sistema è nella stessa direzione di scorrimento del Fiume.



Falda o zona saturata con sacche idriche (Dicembre 2020-Gennaio 2021)



Livello Piezometrico presunto della falda di correlazione tra i piezometri (Dicembre 2020-Gennaio 2021)  
a) Limite superiore  
b) Limite inferiore, soglia di permeabilità

Fig. 11 – Stralci profilo geologico longitudinale con indicazione della falda

### 3.5. Inquadramento geologico generale

L'areale di progetto ricadente nella Sicilia centrale, inclusa nel cuneo tettonico dei Monti Sicani orientali, facendo parte del sistema collisionale delle unità Siciliane; il settore si caratterizza per affioramenti delle Formazioni delle Calcareniti a Lepidocicline (Lias inf. – Oligocene sup.), delle Calcareniti glauconitiche di Corleone (Miocene inferiore – medio) e la Formazione delle Marne di San Cipirrello (Miocene medio – superiore). Nello stesso settore sono presenti per contatto tettonico unità deposizionali appartenenti al bacino imerese quali la Formazione del Flysch Numidico (Oligocene – Miocene inferiore).

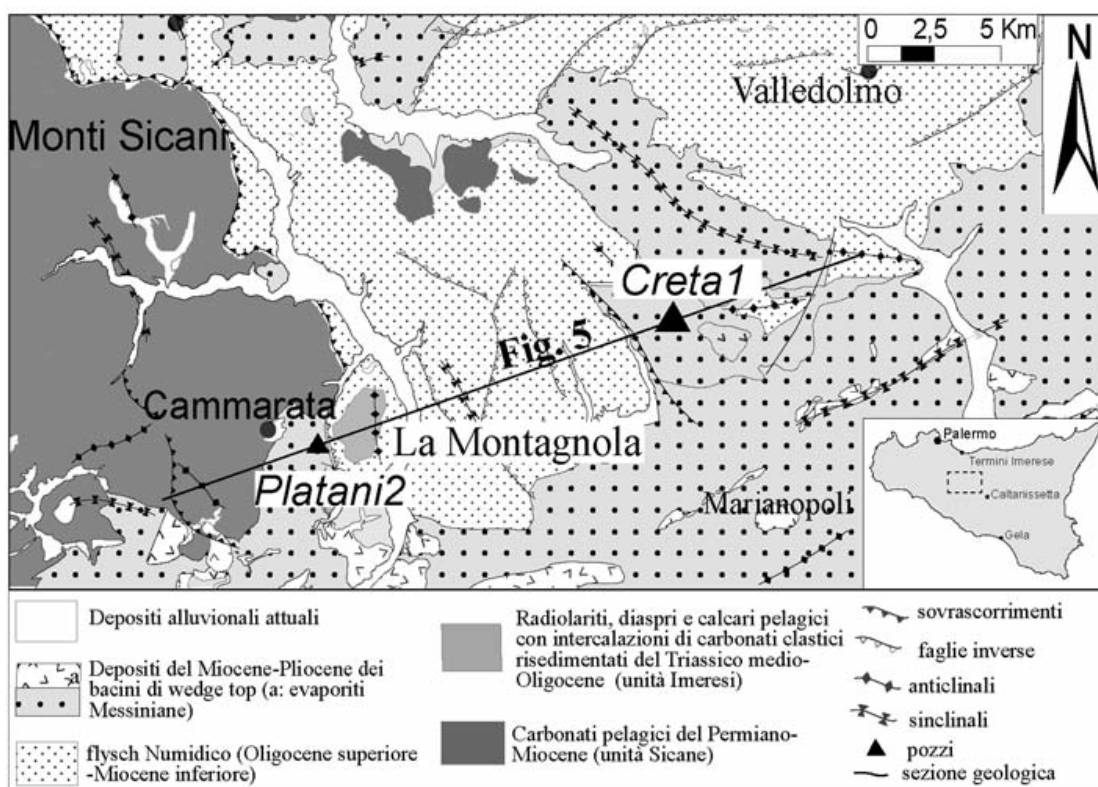


Fig. 12 – Carta geologica del settore dei Monti Sicani orientali e aree circostanti (CATALANO et al., 2013).

Le successioni sono state oggetto di importanti dislocazioni tettoniche che caratterizzano questa fascia marginale dei Monti Sicani; in particolare l'edificio sicano è legato alle deformazioni compressive che, dall'Oligocene superiore in poi hanno coinvolto le formazioni con una tettonica di tipo traslativo e plicativo.

Alla fase orogenetica ha fatto seguito, a partire dal Pliocene inferiore, una tettonica recente o Neotettonica, caratterizzata da fasi plicative seguite da una successiva fase distensiva caratterizzata da prevalenti movimenti verticali con fasi di stasi.

Spostandoci verso sud lungo la SS189, oltre l'areale di progetto, cambia completamente il contesto paleogeografico e stratigrafico deposizionale; si hanno infatti i terreni plio-pleistocene corrispondenti con un ampio bacino subsidente definito Avanfossa di Caltanissetta. Tale struttura è caratterizzata alla base dal complesso plastico argilloso su cui poggia la serie Evaporitica Messiniana che precede stratigraficamente, i depositi pelagici trasgressivi, per un arco temporale che va dal Miocene al Pleistocene.

Schematicamente abbiamo le seguenti unità stratigrafico deposizionali:

- Unità delle calciruditi e calcareniti (Tortoniano)
- Unità delle sabbie e argille sabbiose (Tortoniano)
- Unità delle argille e marne argillose (Tortoniano)
- Unità delle marne silicee "Tripoli" (Messiniano)
- Unità del Calcare di Base (Messiniano sup.)
- Unità dei Gessi (Messiniano sup.)
- Unità dei calcari marnosi e marne "Trubi" (Pliocene inf.);
- Unità delle argille marnose - "F.ne Marnoso Arenacea" (Pliocene medio sup.);
- Unità delle sabbie e calcarenite - "F.ne Marnoso Arenacea" (Pliocene sup. -Pleistocene inf).

Nel settore inoltre particolare importanza rivestono le coperture superficiali quaternarie che spesso interagiscono direttamente con le opere in progetto rappresentandone il terreno di imposta:

Formazioni Quaternarie:

- Alluvioni di fondo valle (Recente);
- Detrito di Falda (Recente);
- Depositi elu-colluviali (Recente).

### 3.5.1.1. Successione stratigrafia

Di seguito si riporta la descrizione della successione stratigrafica ricostruita attraverso il rilevamento geologico di campagna, i sondaggi geologici ed i dati bibliografici presenti per il settore. Oltre agli aspetti litologici e strutturali delle formazioni sono stati analizzati gli aspetti geomeccanici connessi alla progettazione stradale e alle specifiche opere d'arte previste.

### 3.5.1.2. Calcareniti a lepidocicline (Lias inf. Oligocene sup)

E' l'unità più antica affiorante nell'areale investigato ed appartiene al dominio del Bacino Sicano; trattasi di calcareniti gradate e laminate con abbondante macrofauna bentonica a foraminiferi (lepidocycline) e brecce calcaree con elementi di derivazione neritica. La formazione presenta livelli di argille sabbiose,

calcilutiti e marne rossastre e biancastre a foraminiferi planctonici, calcilutiti con calpionelle, radiolari, calcari oolitici

L'ambiente di sedimentazione è di piattaforma continentale – scarpata dove si risedimentavano per processi gravitativi materiali derivanti dallo smantellamento di una piattaforma carbonatica adiacente da cui derivano le calcarenitici a macroforaminiferi.

Verso l'alto si ha il passaggio alle Calcareniti glauconitice di Corleone, per limite erosivo e discordante.

#### 3.5.1.3. Argille del Flysch Numidico (Oligocene – Miocene inferiore)

Il Flysch Numidico (Ofa) è costituito da successioni torbiditiche prodotte da flussi gravitativi distribuite su ampie depressioni e superfici, litologicamente è caratterizzato da successioni argilloso-arenacee suddivisibili in più facies sedimentarie:

- la litofacies "pelitica" costituita da argilliti con intervalli caotici e subordinate quarzareniti
- la litofacies a "megabrecce carbonatiche" costituita da brecce con clasti cementati da matrice silitico-arenacea
- la litofacies "arenatica" costituita da quarzareniti ben stratificate in bancate metriche, gradate alternate a peliti grigiastre
- la litofacies "conglomeratica" costituita da conglomerati con granuli di quarzo ben arrotondati

Nella zona in studio è presente prevalentemente la facies pelitica con argille, argille marnose, argille sabbiose con sottili livelli centimetrici arenacei; la formazione affiora uniformemente in tutto il versante in sinistra del Platani dal Vallone Scrudato al Vallone Crasto-Venturo attraverso le contrade Caterina, Cozzo Azzaro, Cozzo Alessi e Robavecchia.

In affioramento si presenta come argilla, argilla marnosa di colore grigio scuro con subordinati livelli arenacei di natura quarzosa; la formazione presente abbondante coltre eluviale e colluviale spessa oltre 2-3 metri.

#### 3.5.1.4. Calcareniti glauconitiche (Miocene inferiore – medio)

Le Calcareniti glauconitiche di Corleone (Mcg) appartengono al dominio Sicano, la deposizione e messa in posto è riferibile al periodo compreso tra l'Aquitano sup. - Langhiano; trattasi di una alternanza di biocalcareni e biocalciruditi a macroforaminiferi in strati di decimetrici con presenza di minerali glauconitici, alternate a marne sabbiose glauconitiche e argille sabbiose. La formazione si presenta di colore giallastro tendente al grigio verdastro (per la presenza della glauconite), la stratificazione è netta con giacitura piano-parallela e incrociata piana o concave, i banconi hanno potenza di alcuni metri e sono spesso interessati da fratturazione.

Affiorano a sud est del Vallone Passo del Barbiere in prossimità delle collinette denominate Cozzi di Giure con modesti affioramenti residuali circondati dalle marne di San Cipirello.



#### 3.5.1.5. Marne di San Cipirrello (Miocene medio – superiore)

La formazione delle Marne di San Cipirello (Mmc) ricopre le calcareniti glauconiti ed è databile nell'intervallo Serravalliano – Tortoniano inf; litologicamente è costituita da una sequenza di argille, argille marnose e argille sabbiose, talora con intercalazioni calcarenitiche, di colore da grigio chiaro a grigio-verdastro, contenenti una abbondante microfauna a foraminiferi. In profondità la formazione integra presenta tessitura scagliosa, dove prevale la componente marnosa si hanno fratture concoidi e livelli litici.

I depositi della formazione San Cipirello affiorano a destra della vallata nelle contrade San Crispino, Puzzillo, Don Matteo, Gilferraro; si tratta di una sequenza costituita da argilla marnosa e argilla sabbiosa di colore grigio verdastro a tessitura scagliosa, consistenza marnosa e frattura concoide

#### 3.5.1.6. Formazione delle argille e marne argillose - (Tortoniano)

Non affiorano nel settore investigato; litologicamente l'unità è costituita prevalentemente da argille ed argille marnose grigio azzurre, con passaggi sia laterali che verticali, senza alcuna regolarità, di argille sabbiose e porzioni di conglomerati.

Spesso le argille presentano in superficie uno strato di copertura alterato dello spessore variabile da 1 a 5 m (vedere lo studio di dettaglio per gli approfondimenti puntuali), costituito da limi argillosi, di colore marrone scuro caratterizzati da una discreta plasticità, decrescente con la profondità.

Oltre tale livello si passa alla formazione argillosa inalterata, costituita da argille marnose e/o sabbiose, di colore grigio-azzurro, mediamente consistenti e plastiche, con generale miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche.

Il complesso argilloso ingloba modesti lembi di terreni marnosi più antichi, ed olistoliti di varie dimensioni, natura ed età. Lo spessore dell'unità è indeterminabile, poiché non affiora il letto dello strato, e poiché i numerosi sondaggi eseguiti non danno indicazioni valide circa lo spessore.

#### 3.5.1.7. Unità delle Sabbie e marne sabbiose

L'unità delle sabbie e marne sabbiose appartiene alla Formazione Terravecchia; si tratta di sedimenti sabbiosi disposti a lenti di estensione variabile, di colore grigio - giallastro, stratificate in livelli di spessore decimetrico, a cementazione variabile.

A luoghi l'unità è caratterizzata da intercalazioni di livelli di conglomerati poligenici in matrice terrosa dello spessore di 20 – 30 centimetri, mentre in altre sezioni naturali presenta grossi corpi di argille sabbiose a struttura brecciata, caotiche a stratificazione indistinta.

Complessivamente l'unità è riferibile ad ambienti sedimentari di transizione fluvio-deltizio connessi al disfacimento dei rilievi emersi a seguito della fase tettonica compressiva inframiocenica.

#### 3.5.1.8. Unità delle calciruditi e calcareniti

L'unità si presenta come un potente banco di calciruditi ben stratificate passanti verso l'alto a calcareniti visibilmente stratificate.

I livelli di calcarenite presentano stratificazione incrociata prodotta da correnti trattive che confermano un ambiente di deposizione fluvio deltizio.

Tale condizione di sedimentazione determina frequente variazione di facies con disomogeneità delle granulometrie del pacco arenario, nonché frequenti intercalati tra i livelli di calcare, di modesti lembi di conglomerati con ciottoli quarzarenitici, e livelli decimetrici di argille sabbiose

#### 3.5.1.9. Tripoli – (Messiniano)

Il tripoli è l'unità di base della serie Gessoso Solifera, e segna l'inizio di facies di bacino chiuso evaporitico. È presente con modesti affioramenti a ridosso dei calcari, generalmente gli spessori sono modesti così come limitata è la continuità laterale del Tripoli, anche se si può presumere una certa continuità del litotipo non riscontrabile a causa degli intensi processi erosivi (naturali ed antropici), che tendono a mascherarlo con spesse coltri eluviali.

Il Tripoli è costituito da un'alternanza di strati diatomitici e marnoso-calcarei, con spicole di Radiolari e gusci di Diatomee.

Si presenta agevolmente fissile, friabile, terroso con perfetta sfaldatura lungo i piani di laminazione, in cui si possono rinvenire resti di pesce; presenta un caratteristico basso peso specifico, che lo rende molto leggero e facilmente riconoscibile.

#### 3.5.1.10. Calcare di base – (Messiniano sup.)

Si presenta in grossi banchi in cui è difficile riconoscere l'originaria stratificazione, il colore è grigio-biancastro in superficie tendente al grigio scuro in profondità.

I banchi di calcare sono separati da intercalazioni marnose di pochi decimetri chiamate "partimenti", che contengono a loro volta straterelli calcarei di pochi centimetri. Tali livelli segnano la temporanea variazione delle condizioni di sedimentazione, che ritornano di mare più profondo per poi ridivenire prettamente evaporitiche.

I grossi banchi di calcare sono dati da breccia risedimentata di frammenti di ritmite calcarea che in alcune zone conserva ancora indisturbata la sua struttura.

Il litotipo non affiora nel settore in oggetto di studio, generalmente mostra forme di erosione carsica superficiale dovuti alla dissoluzione della roccia carbonatica; le superfici si presentano con microcarsismi quali scannellature, microsolchi e in generale una spetto cariato. Gli spessori della formazione dei calcari sono assai variabili mostrano valori medi intorno ai 50-70 m.

Il passaggio inferiore dal Tripoli al calcare non avviene in maniera netta ma gradualmente con qualche livello calcareo (10 – 20 centimetri) intercalato alle marne diatomitiche.

Il passaggio stratigrafico superiore con i Gessi di Pasquasia è in discordanza, coincidendo con la tettonica intramessiniana che divide il primo ciclo evaporitico dal secondo.

#### 3.5.1.11. Gessi – (Messiniano sup.)

La formazione si presenta sia come banchi litoidi di gessi macrocristallini stratificati sia come intercalazioni di argille gessose a contenuto sabbioso. Complessivamente i gessi presenti nella zona, sono quelli del secondo ciclo "Gessi di Pasquasia" con i quali inizia il complesso evaporitico superiore.

Sono costituiti dall'alternanza di potenti banconi di gesso macrocristallino, da livelli di gesso "balatino" e gesso selenitico, separati da intercalazioni marnose.

Le sequenze iniziano con una zona inferiore caratterizzata da sottili strati di Gesso Balatino cui segue una zona di Gesso Selenitico. Il primo presenta un fitto numero di veli di gesso spessi poco più di qualche millimetro, di colore bianco-grigio, di probabile deposito primario; l'attuale stratificazione è disturbata da fenomeni tettonici.

I banconi di gesso selenitico si presentano con macrocristalli geminati a coda di rondine, di dimensioni comprese fra i 2-3 cm fino ai 15-20 cm.

I gessi in molti casi sono nettamente separati dalle formazioni sottostanti da livelli gessarenitici e da una formazione torbiditica, caotica, inglobante al suo interno oltre che conglomerati a matrice gessosa anche livelli diatomitici e marnosi bituminosi.

In molti casi questa formazione gessosa è presente accompagnata da sedimenti tipicamente argillosi sotto forma di intercalazioni che determinano nella morfologia di superficie degli addolcimenti del rilievo; localmente i gessi appaiono di spessore molto ridotto o talora assenti; in tal caso i Trubi poggiano direttamente sui calcari.

I Gessi sono tagliati al tetto dalla deposizione in discordanza delle marne a Globigerine o Trubi.

#### 3.5.1.12. Trubi – (Pliocene Inferiore)

Nella tipica espressione i Trubi sono dei calcari marnosi più o meno cementati passanti a marne calcaree di colore bianco crema fino a grigio chiaro; hanno frattura concoide e contengono tracce di idrossidi di ferro e noduli piritici dispersi uniformemente nella roccia e facilmente visibile ad occhio nudo. Associate ai Trubi a tratti intercalate e frammiste, si rinvengono breccie argillose a struttura caotica con intercalazioni di marna calcarea.

In affioramento si presentano ben stratificati, con strati aventi uno spessore di circa 10 - 20 cm e con delle fratture ortogonali alla stratificazione stessa, talvolta così regolari da potersi confondere con i piani

di stratificazione. A volte gli affioramenti sono mascherati da estese coltivazioni e seminativi; la loro presenza è provata dal colore biancastro che assume il terreno in corrispondenza di questo litotipo.

#### 3.5.1.13. Formazione marnoso – arenacea – (Pliocene medio - Pleistocene inf)

La formazione è da far risalire ad una deposizione terrigena torbidaica che ha colmato in più fasi il bacino prossimo alla linea di costa. Il prevalere della sedimentazione sui fenomeni erosivi, ha determinato un avanzamento della terra emersa con conseguente spostamento della linea di costa in più riprese. Tale meccanismo ha determinato il susseguirsi di più cicli sedimentari ognuno dei quali costituito da argille, argille sabbiose passanti sia lateralmente che verticalmente a sabbie e calcareniti di tipico ambiente deltizio.

Schematicamente possiamo suddividere la formazione, dal basso verso l'alto, in tre differenti unità fra loro intercalate ed alternate, e complessivamente discordanti sui sottostanti Trubi:

- Unità delle argille ed argille marnose (*Pam*);
- Unità delle sabbie e sabbie argillose (*Psa*);
- Unità delle calcareniti e sabbie (*Pc*).

#### **UNITA' DELLE ARGILLE ED ARGILLE MARNOSE - (*Pam*);**

L'unità poggia in discordanza sui Trubi ed è costituita da argille ed argille marnose generalmente di colore grigio-azzurro, omogenee a struttura scagliosa, con resti di fossili e a luoghi, minuti cristalli di gesso.

In perforazione si presentano di colore grigio-verde con livelli argillosi alternati ad argille sabbiose e veli di sabbia grigia con minuti resti fossili.

L'unità verso l'alto passa gradualmente a sedimenti sempre più limosi e sabbiosi, pertanto il passaggio all'unità successiva non è mai netto sia in affioramento che in perforazione.

#### **UNITA' DELLE SABBIE E SABBIE ARGILLOSE – (*Psa*)**

L'unità è costituita da sabbie giallastre con livelli limosi e talora argillosi generalmente poco cementati; si riscontrano inoltre modesti livelli di ghiaia e conglomerati, costituiti da calcareniti e quarzareniti in matrice sabbiosa e nella parte alta della sequenza veli di calcarenite.

Si tratta di un tipico deposito di mare basso con una facies eteropica passante dalle argille-sabbiose grigie alle sabbie sciolte o debolmente cementate, per poi passare a calcareniti cementate molto ricche in fossili. Il passaggio alle calcareniti avviene gradatamente prima passando ad argille sabbiose quindi a calcareniti vere e proprie con intercalazioni irregolari di argille sabbiose.

#### **UNITA' DELLE CALCARENITI E SABBIE – (*Pc*)**

Il termine classico di questa unità è rappresentato da una biocalcarenite bruno-giallastra a stratificazione piano-parallela e laminazione incrociata, generalmente cementata e ricca di resti fossili (macrofauna ad ostreidi, pectinidi e molluschi in genere).

Le calcareniti rappresentano una litologia di facies deltizia così come dimostrato dalle tipiche strutture di sedimentazione di questo ambiente (laminazione incrociata). Inoltre è ipotizzabile una sedimentazione sul fondo subacqueo debolmente inclinato, con avanzamento dello stesso in avanti facendo così progredire la terra emersa e spostare la linea di costa.

#### 3.5.1.14. Depositi elu-colluviali – (Recente)

Si tratta di depositi continentali che hanno subito un certo trasporto per opera delle acque dilavanti e di ruscellamento accumulandosi nelle aree pianeggianti o depresse.

La natura è prevalentemente limosa ed argillo - sabbiosa, con matrice terrosa e frammenti rocciosi di varia dimensione e natura composizionale, che provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti, costituendo un mantello di detrito eluviale che ricopre le formazioni in posto. Il deposito inoltre presenta abbondanti resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti. Sono caratterizzate da fenomeni di compressibilità e variazioni di volume in relazione al contenuto d'acqua che possono interagire negativamente con le opere stradali da realizzare.

#### 3.5.1.15. Detrito di falda - (Recente)

Si tratta di una coltre di copertura delle formazioni in posto con spessori variabili da pochi decimetri a 3-4 m. Generalmente è costituito da ghiaie, brecce, variamente cementate a luoghi misti a matrice terrosa o sabbioso-argillosa. I frammenti sono generalmente di natura calcarea, calcareo - marnosa e gessosa, provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti.

#### 3.5.1.16. Alluvioni e depositi terrazzati – (Recente)

Le alluvioni del Platani rappresentano la formazione maggiormente interferente con le nuove opere da realizzare.

La significativa presenza del Fiume Platani e relativi affluenti, ha consentito un'importante sedimentazione di tipo continentale con la formazione di un vasto deposito alluvionale. Trattasi di depositi continentali costituiti da un insieme sciolto o scarsamente cementato di limi argillosi frammisti a ghiaia, sabbia e ciottoli; talora si rinvengono blocchi e livelli conglomeratici grossolani che si ricollegano all'azione di trasporto della rete idrografica a regime torrentizio che sfiora sulle zone di pianura.



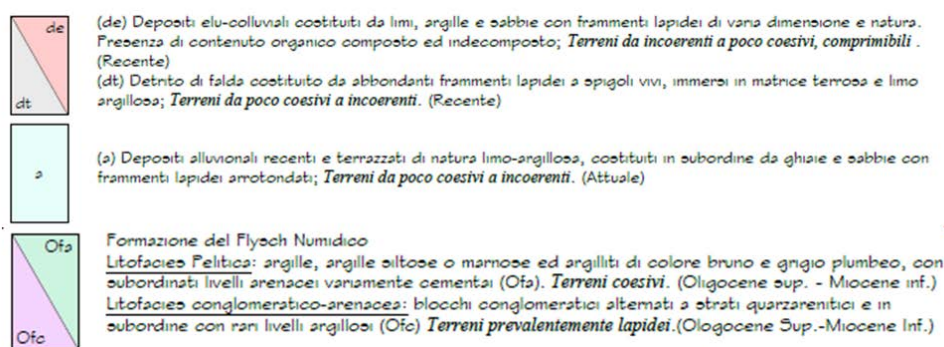
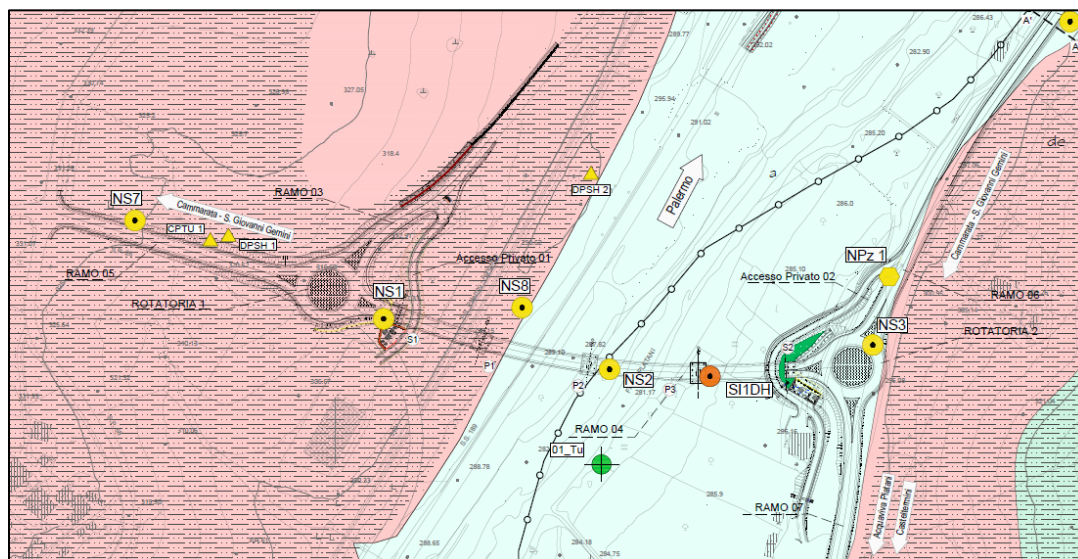


Fig. 13 – Stralcio carta geologica e relativa legenda, del settore interessato dai lavori di realizzazione del nuovo svincolo "Tumarrano".

I depositi presentano inoltre abbondanti resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti; ciò determina fenomeni di compressibilità e variazioni di volume in relazione al contenuto d'acqua che possono interagire negativamente con le opere stradali da realizzare. La variabilità di questi depositi è notevole anche su spazi molto brevi, sia in senso orizzontale che verticale. Le alluvioni in esame presentano scarsa permeabilità essendo molto abbondante la frazione limosa e argillosa; non di rado sono frequenti fenomeni di ristagno superficiale delle acque meteoriche.

#### 4. Classificazione sismica (macrozonizzazione)

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stata introdotta una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

I valori convenzionali di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Zona	Valore di $a_g$
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Tab. 1 – Valori di  $a_g$  secondo la ex classificazione sismica  
Regionale DGR n. 408/2003

La normativa, oltre a prevedere i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la loro classificazione, detta specifiche norme tecniche secondo la tipologia costruttiva da realizzare o adeguare, in particolare:

- Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti;
- Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici;
- Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

L'introduzione della nuova classificazione comporta per il territorio siciliano, oltre alla scomparsa delle zone *non classificate* che divengono di 4° livello (con facoltà della Regione di applicare eventuali norme tecniche specifiche), un complessivo aumento delle zone sismiche di 1° livello che passano da 18 Comuni a 36, tutte ristrette nel settore della Valle del Belice (Trapani) e in Provincia di Messina.

Con il recepimento della successiva **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006**, è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione siciliana (GURS n.13 del 25/03/2022), che riclassifica molte zone della Sicilia, in conformità al **D.D.G. n° 64 del 11/03/2022** del dirigente Regionale della Protezione Civile, la cui proposta è stata condivisa dalla Giunta regionale con la **delibera n° 81 del 24/02/2022**.

Nella sottostante tabella, vengono riportati i valori dell'accelerazione massima al suolo  $a_g$ , fissati

con i nuovi criteri dell'OPCM n. 3519/2006, attraverso le quali sono state individuate e classificate le nuove zone sismiche.

Classificazione sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)	Accelerazione Orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag)
<b>Zona 1</b>	$0,25 < ag \leq 0,35g$	0,35g
<b>Zona 2</b>	$0,15 < ag \leq 0,25g$	0,25g
<b>Zona 3</b>	$0,05 < ag \leq 0,15g$	0,15g
<b>Zona 4</b>	$Ag \leq 0,05g$	0,05g

**Tab. 2 – Valori di ag secondo la nuova classificazione sismica  
Regionale D.D.G n. 64/2022**

In particolare, con la recentissima classificazione, si registra un aumento dei comuni ricadenti in Zona 1, che passano da 27 a 53, limitatamente alle provincie di Siracusa e Ragusa, una diminuzione dei comuni in Zona 2, che passano da 329 a 304, un aumento dei comuni in Zona 3 che passano da 5 a 32 ed infine una notevole riduzione dei comuni in zona 4, nelle provincie di Agrigento e Caltanissetta, da 29 ad 2.

Classificazione sismica	Numero Comuni		Differenze tra la Nuova zonazione e ex DGR 408/2003
	Nuova zonazione sismica DDG 64/2022	Zonazione sismica ex DGR 408/2003	
<b>Zona 1</b>	53	27	<b>+26</b>
<b>Zona 2</b>	304	329	<b>-25</b>
<b>Zona 3</b>	32	5	<b>+27</b>
<b>Zona 4</b>	2	29	<b>-27</b>
<b>Totale</b>	<b>391*</b>	<b>390</b>	<b>+1*</b>
*Rispetto alla precedente classificazione viene classificato il comune di Misiliscemi (Tp) di recente istituzione			

**Tab. 3 – Differenze numero di comuni per zona Sismica, tra nuova classificazione Regionale DDG n. 64/2022 e vecchia DGR 408/2003**

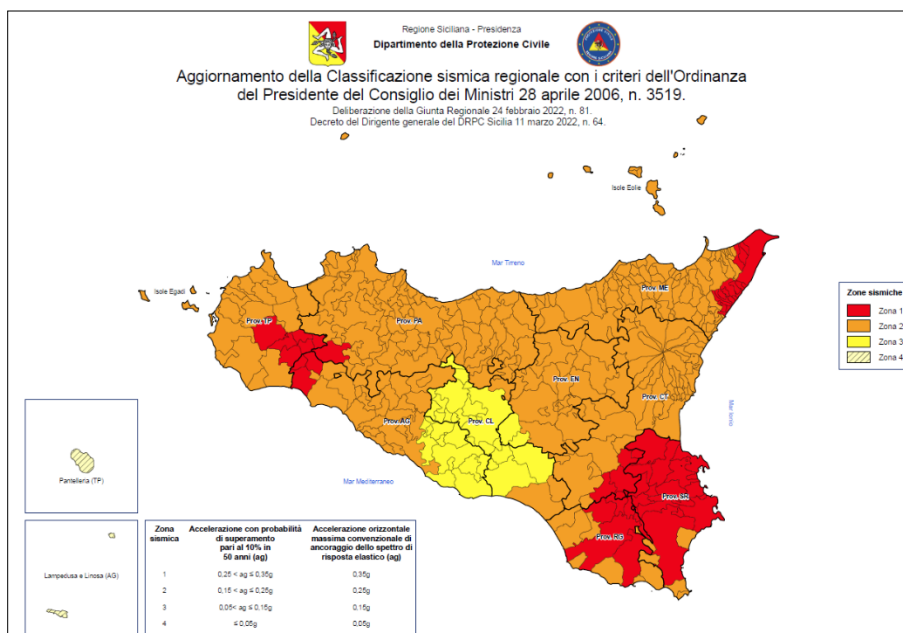


Fig. 14 – Classificazione sismica Regionale (DDG n. 64 del 11.03.2022)

I due comuni interessati dai lavori ricadono nella zona sismica 2.

Comune	Zona sismica
Cammarata	2
S. Giovanni Gemini	2





Nello specifico la campagna indagini in situ del progetto definitivo è stata così articolata:

- n° 8 sondaggi verticali a carotaggio continuo di cui
  - n° 3 fori attrezzati a piezometro a tubo aperto
  - n° 3 fori attrezzati con tubo Down Hole
  - n° 4 prove di permeabilità LeFranc
  - n° 30 prove SPT in foro
  - n° 25 Campioni indisturbati
  - n° 21 campioni rimaneggiati
  - n° 18 campioni per indagini ambientali
- n° 2 pozzetti esplorativi con prelievo di 3 campioni rimaneggiati
- n° 6 pozzetti esplorativi per campionamento ambientale
- n° 2 prove penetrometriche Dinamica DPSH
- n° 1 prova penetrometriche statica CPTu
- n° 2 prove di carico su piastra

Inoltre sono stati esaminati i modelli stratigrafici elaborati dallo studio geologico, in particolare:

- Le colonne
- I profili e le sezioni geologiche;
- I dati derivati dalle prove geofisiche.

Sono state anche consultate le risultanze delle campagne indagini effettuate da **ANAS** nel 2010 e 2015 e da **RFI** nell'ambito del progetto di ammodernamento della rete ferroviaria PA-Ag che è adiacente al sito di progetto.

#### 5.1.1. Campagna integrativa agosto-dicembre 2023

Nel corso dell'attuale fase di progettazione, completato il progetto definitivo e l'interpretazione dei dati geognostici disponibili, sono state programmate le integrazioni delle indagini geognostiche, le prove ed analisi di laboratorio da porre a supporto della progettazione esecutiva, a seguito di osservazioni sulla lunghezza dei sondaggi riportate nella verifica del progetto definitivo.

È stato predisposto un piano di indagini geognostiche finalizzato ad approfondire il modello geologico del sottosuolo nelle componenti stratigrafiche e geotecniche, oltre la lunghezza prevista dei pali di fondazione delle opere d'arte.

La campagna di indagini è stata eseguita nell'agosto 2023 comprendente indagini sia geognostiche, geofisiche ed ambientali ha previsto:

- n° 1 sondaggio a rotazione a carotaggio continuo, della lunghezza di 45.00 m. e prove spt in foro;
- n° 1 prova sismica down hole in foro di sondaggio;
- n° 6 pozzetti esplorativi per campionamento ambientale

- Prove ed analisi di laboratorio (determinazione delle caratteristiche fisiche, prove di rottura per compressione semplice non confinata (ELL), prova di taglio diretto.

La campagna di indagini sismiche esecutive, come detto ha previsto l'esecuzione di n° 3 prove sismiche in foro di tipo Down Hole eseguite nel 2021 e una eseguita nel 2023, ubicate in rapporto alle opere da eseguire, ed al contesto geologico del sito con specifico riferimento all'assetto stratigrafico, geomorfologico e geotecnico locale.

## 5.2. Risultati indagini geofisiche.

### Prova sismica in foro tipo Down-Hole, principi e metodi

Il metodo sismico in foro down-hole consente di determinare il tempo di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, P ed S, generate in superficie mediante l'uso di una massa battente, all'interno delle varie unità litologiche che si incontrano lungo una perforazione. In fase esecutiva, per il rilievo delle onde elastiche, si utilizza un sistema di ricezione costituito da geofoni opportunamente assemblati (geofono da pozzo), che viene fissato a profondità man mano crescenti contro le pareti di un perforo, opportunamente condizionato, mediante un sistema pneumatico (fig. 12)

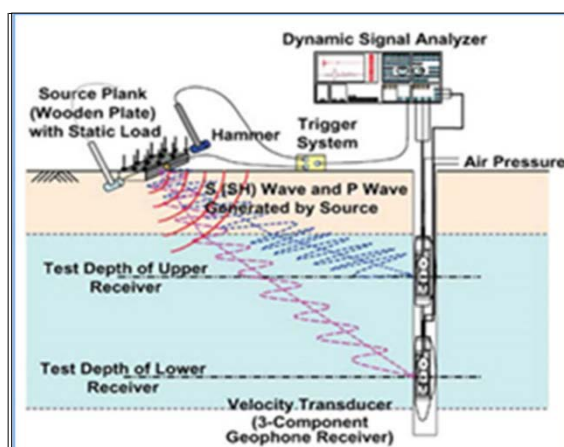


Fig. 16 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole

La rilevazione delle onde P e delle onde S, nota la profondità dell'apparato di misurazione, permette di determinare le relative velocità di propagazione e di calcolare i moduli elastici dinamici dei litotipi, assunti i valori dei pesi di volume che li caratterizzano.

A differenza della sismica a rifrazione, che misura i tempi di arrivo delle onde sismiche dopo che queste hanno subito fenomeni di rifrazione e/o di riflessione, il metodo down-hole, misurando il tempo di arrivo delle onde elastiche man mano che queste penetrano negli strati più profondi, ha il vantaggio di non

avere come condizione necessaria l'aumento della velocità con la profondità; pertanto è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nel pacco di litotipi attraversati dall'indagine.

I tempi di primo arrivo delle onde S sono stati determinati tramite la procedura di Boatwright (1987), che prevede la tecnica dell'inversione di fase previa rotazione delle componenti orizzontali del geofono. L'elaborazione dei dati consiste nel diagrammare i tempi di tragitto  $t$  misurati lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità  $z$ .

La procedura di interpretazione applicata al set dati registrati è conosciuta come metodo diretto. Il **metodo diretto** consiste nel diagrammare i tempi di tragitto misurati  $t_{oss}$  lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità  $z$ . I  $t_{oss}$  devono essere corretti per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. L'equazione che permette tale correzione, funzione della profondità di investigazione, è la seguente:

$$t_{corretto} = \frac{z}{r} \cdot t_{osservato} = \frac{z}{\sqrt{z^2 + d^2}} \cdot t_{osservato}$$

dove

$z$  = profondità di investigazione

$r$  = distanza tra sorgente e ricevitori

$d$  = distanza sorgente-asse foro

Infine, i tempi misurati consentono, in funzione della distanza tra il punto d'energizzazione e la ricezione dei segnali, di definire, per i singoli intervalli, le velocità delle onde P ( $V_p$ ) e delle onde S ( $V_s$ ), il coefficiente di Poisson ( $\sigma$ ) ed i moduli elasto-dinamici e geosismici.

### Sintesi dei dati

Nell'ambito del presente progetto sono state eseguite di n° 3 prove sismiche in foro di tipo Down Hole eseguite nel 2021 e una eseguita nel 2023. Di seguito si riportano una serie di tabelle e grafici che riassumono la sintesi dei dati ricavati.

SONDAGGIO	I.D. PROVA	PRFONDITA' (m)	PASSO MISURA' (m)
NS01	DH_S1	30	1
NS03	DH_S3	30	1
NS04	DH_S4	30	1

Fig. 17 – Indagini Down-Hole eseguite nel 2021

ID	Profondità sondaggio [m]	Interdistanza [m]	Frequenza di campionamento [Hz]	Tempo acquisizione [s]
SI1_DH	45,00	1,00	6000	0,3

Fig. 18 – Indagine Down-Hole eseguita nel 2023

## NS1 DH

La prova sismica in foro DH 1 eseguita nel foro NS1, ubicato ricade in destra idraulica del Fiume Platani in corrispondenza del versante afferente alla Formazione di San Cipirello seppur non direttamente affiorante poiché presenta una spessa coltre elu-colluviale di 7-8 metri originatasi dalla alterazione, disgregazione e disfacimento della formazione in posto. Il pendio nel settore di valle, mostra uno spessore di copertura eluviale frammista a depositi colluviali ed alluvionali con spessori elevati di circa 20 metri (sondaggio NS1)

Profondità dal p.c. (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	$\gamma^{din}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$	Vp/Vs
Da 0 a -3	419.49	111.93	1.59	0.46	3.70
da -4 a -11	1194.88	177.94	1.96	0.49	7.19
da -12 a -21	1687.61	224.68	2.09	0.49	7.64
da -22 a fondo foro	2117.38	352.46	2.18	0.48	6.51

Profondità dal p.c. (m)	G (Kg/cm <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	E (kg/cm <sup>3</sup> )	M (kg/cm <sup>3</sup> )	Imp. Sismica (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
Da 0 a -3	232.64	3237.76	678.78	3547.94	181.56
da -4 a -11	687.52	28671.14	2038.53	29587.83	348.36
da -12 a -21	1093.44	59853.72	3258.38	61311.64	469.97
da -22 a fondo foro	2964.86	96111.31	8784.90	100064.45	770.65

Fig. 19 – Tabella riassuntiva parametri estrapolati dalla prova sismica Down Hole NS01 DH

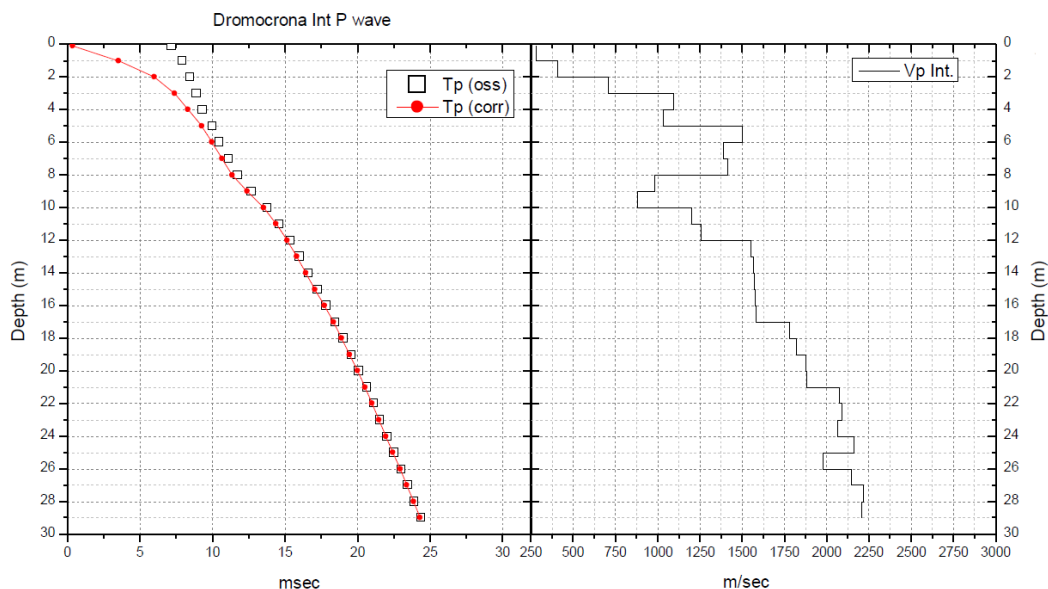


Fig. 20 – Dromocrone, velocità media onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

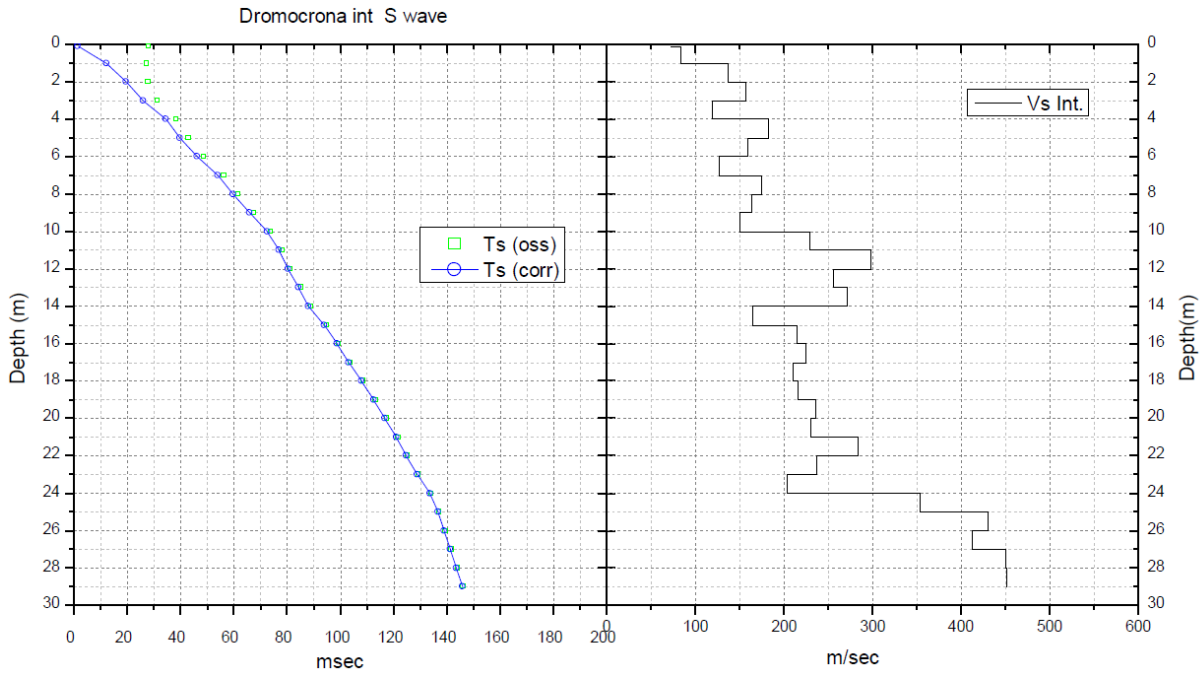


Fig. 21 – Dromocrone, velocità media onde “S”, in funzione della profondità dal p.c.

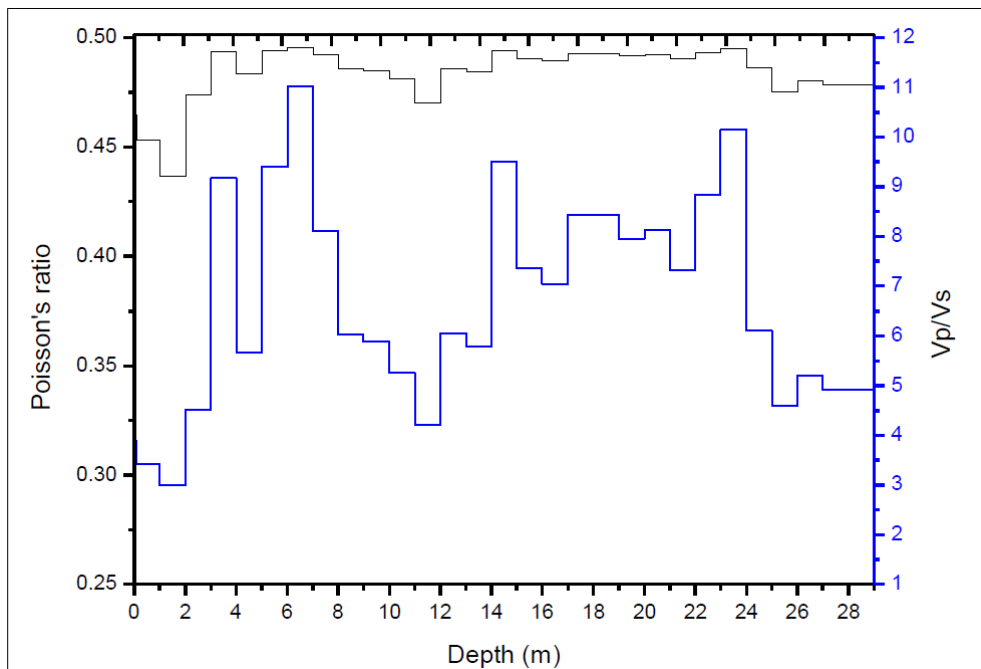


Fig. 22 – Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.



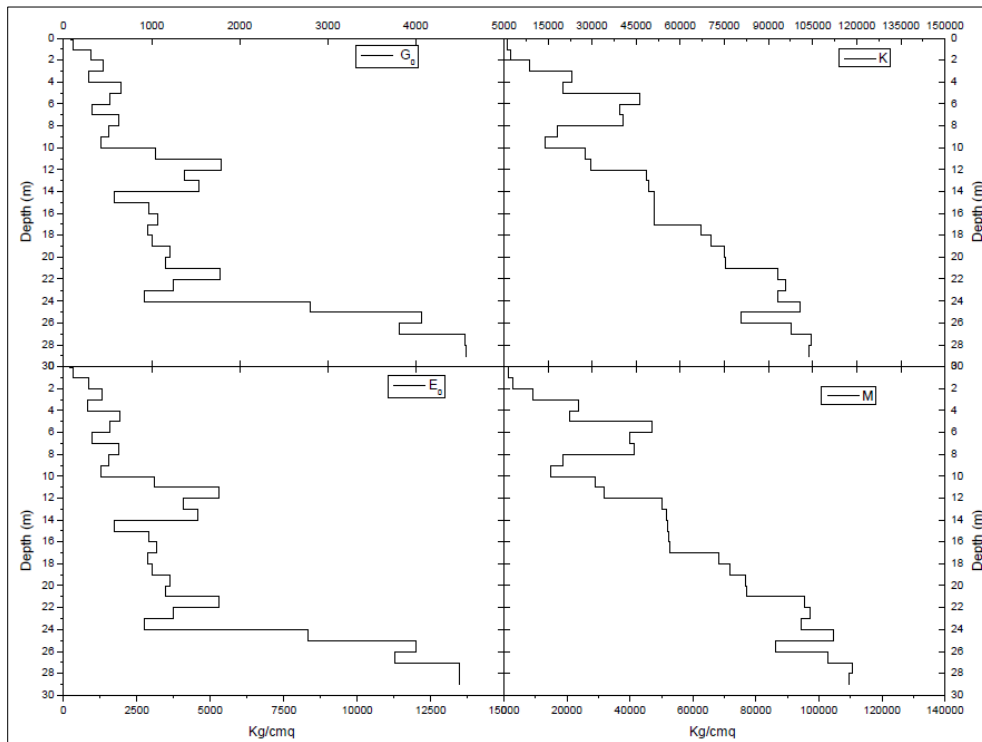


Fig. 23 – Diagrammi relativi agli andamenti dei moduli elastici “G”, “E”, “M” e “K” in funzione della profondità dal p.c.

➤ Il valore del  $V_{SEQ}$  risulta uguale a 202.74m/s

Z (m)	Spessore (h (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_s Z$ (m/s)	$V_{SEQ30}$ (m/s)
0.10	0.1	71.52	0.0014	71.52	202.74
1.00	0.9	82.91	0.0109	81.61	
2.00	1.0	136.37	0.0073	102.11	
3.00	1.0	156.91	0.0064	115.56	
4.00	1.0	119.25	0.0084	116.46	
5.00	1.0	182.29	0.0055	125.53	
6.00	1.0	159.38	0.0063	130.13	
7.00	1.0	126.08	0.0079	129.54	
8.00	1.0	174.73	0.0057	133.87	
9.00	1.0	163.08	0.0061	136.59	
10.00	1.0	149.92	0.0067	137.81	
11.00	1.0	228.54	0.0044	142.97	
12.00	1.0	298.17	0.0034	149.45	
13.00	1.0	255.31	0.0039	154.38	
14.00	1.0	270.40	0.0037	159.26	
15.00	1.0	164.99	0.0061	159.63	
16.00	1.0	214.41	0.0047	162.22	
17.00	1.0	224.39	0.0045	164.91	
18.00	1.0	210.64	0.0047	166.92	
19.00	1.0	215.42	0.0046	168.92	
20.00	1.0	235.89	0.0042	171.35	
21.00	1.0	230.71	0.0043	173.48	
22.00	1.0	282.97	0.0035	176.58	
23.00	1.0	236.54	0.0042	178.55	
24.00	1.0	203.15	0.0049	179.46	
25.00	1.0	353.70	0.0028	183.06	
26.00	1.0	429.92	0.0023	187.20	
27.00	1.0	412.69	0.0024	191.07	
28.00	1.0	450.15	0.0022	195.08	
29.00	2.0	450.56	0.0044	195.98	

Fig. 24 – Valore di  $V_{seq}$  Down Hole NS01 DH

La prova sismica in foro DH 1 ha mostrato una  $V_{seq}$  pari a 202,74 m/s.

### NS3 DH

La prova sismica DH 3 è stata eseguita nel foro del sondaggio stratigrafico NS3. Il sondaggio ricade in prossimità della costruenda rotatoria 2 in sinistra idraulica del Fiume Platani. Il sondaggio mostra un livello di copertura elu-colluviale costituito da limi argillosi e limi sabbiosi con minuti inclusi litici e tracce organiche a copertura del complesso argillo-marnoso di base.



Fig. 25 – Esecuzione prova sismica Down-hole DH\_S3

Profondità dal p.c. (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	$\gamma^{din}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$	Vp/Vs
Da 0 a -3	1012.87	461.37	1.90	0.36	2.21
da -4 a -5	819.86	225.33	1.82	0.46	3.67
da -6 a -11	1915.50	470.75	2.14	0.47	4.12
da -12 a fondo foro	1935.50	531.25	2.15	0.46	3.67
Profondità dal p.c. (m)	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Imp. Sismica (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
Da 0 a -3	4174.50	14643.95	11340.63	20209.95	876.50
da -4 a -5	952.46	11238.00	2775.19	12507.95	411.09
da -6 a -11	4867.65	74413.21	14250.15	80903.41	1007.55
da -12 a fondo foro	6239.76	74066.90	18198.07	82386.59	1141.64

Fig. 26 – Tabella riassuntiva parametri estrapolati dalla prova sismica Down Hole NS03 DH

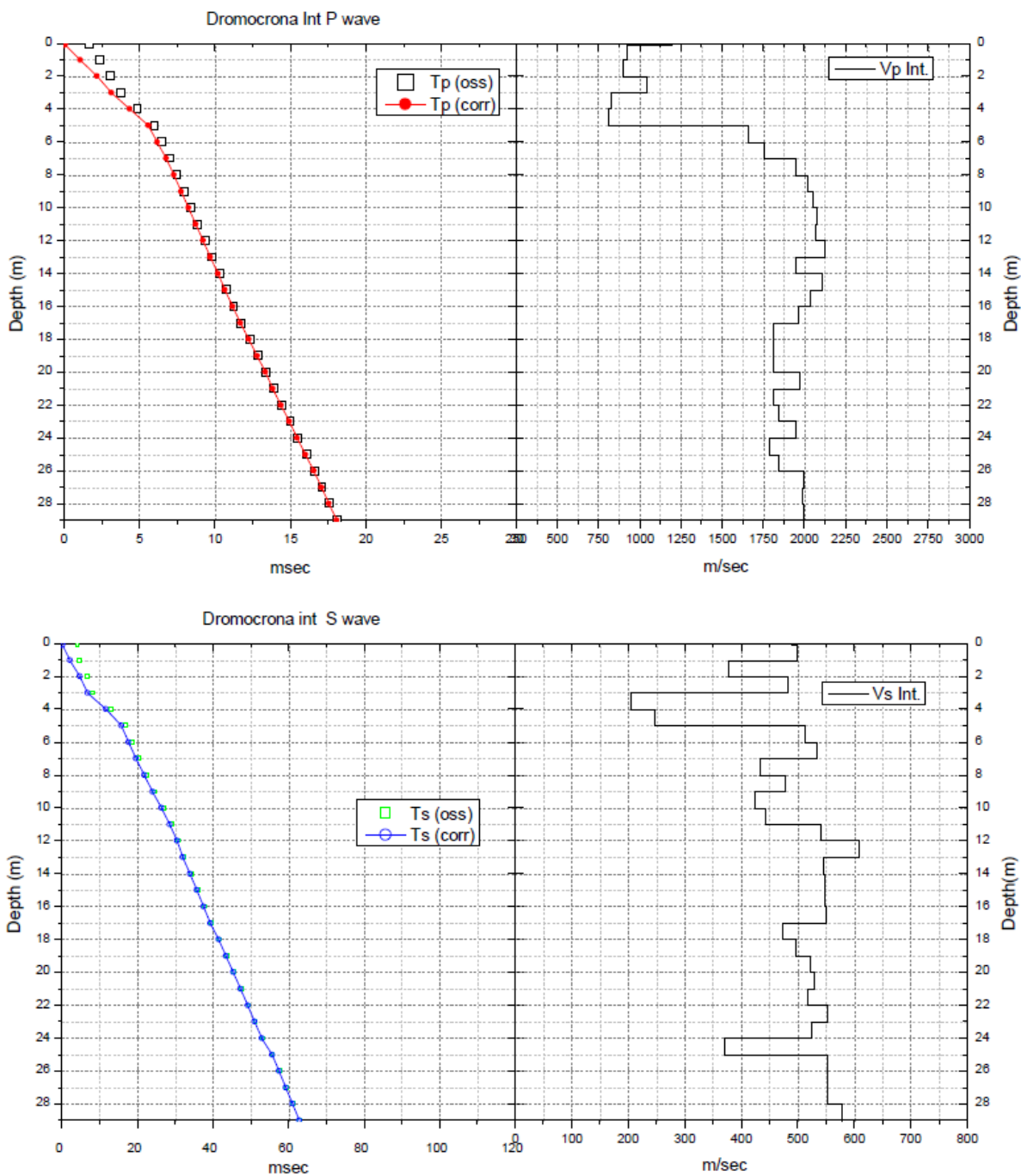


Fig. 27 – Dromocrone, velocità media onde “P” ed “S”, in funzione della profondità dal p.c.

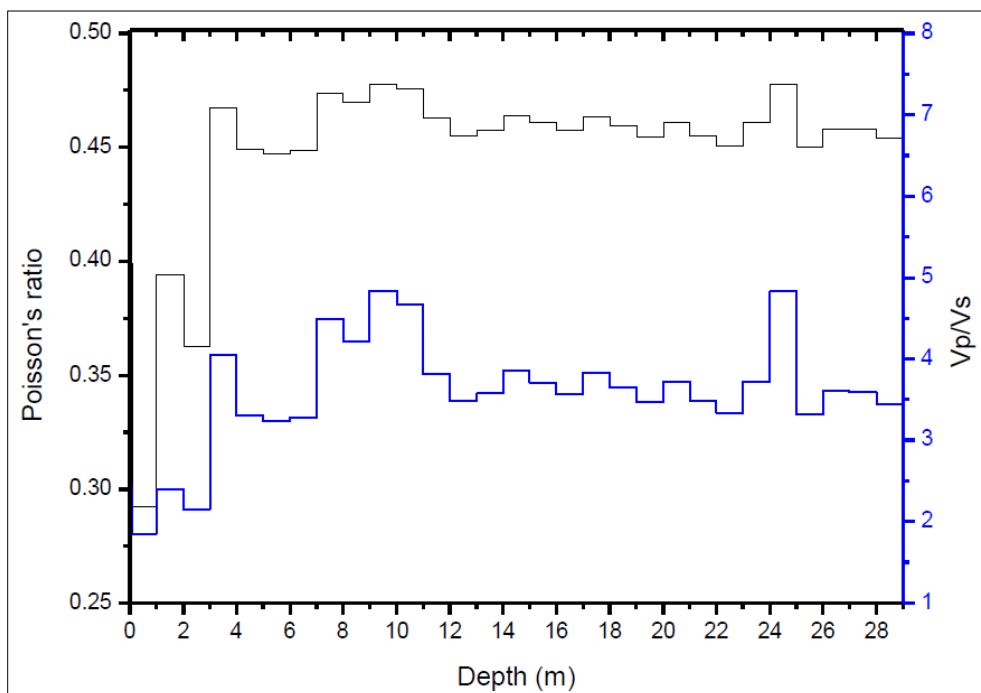


Fig. 28 – Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

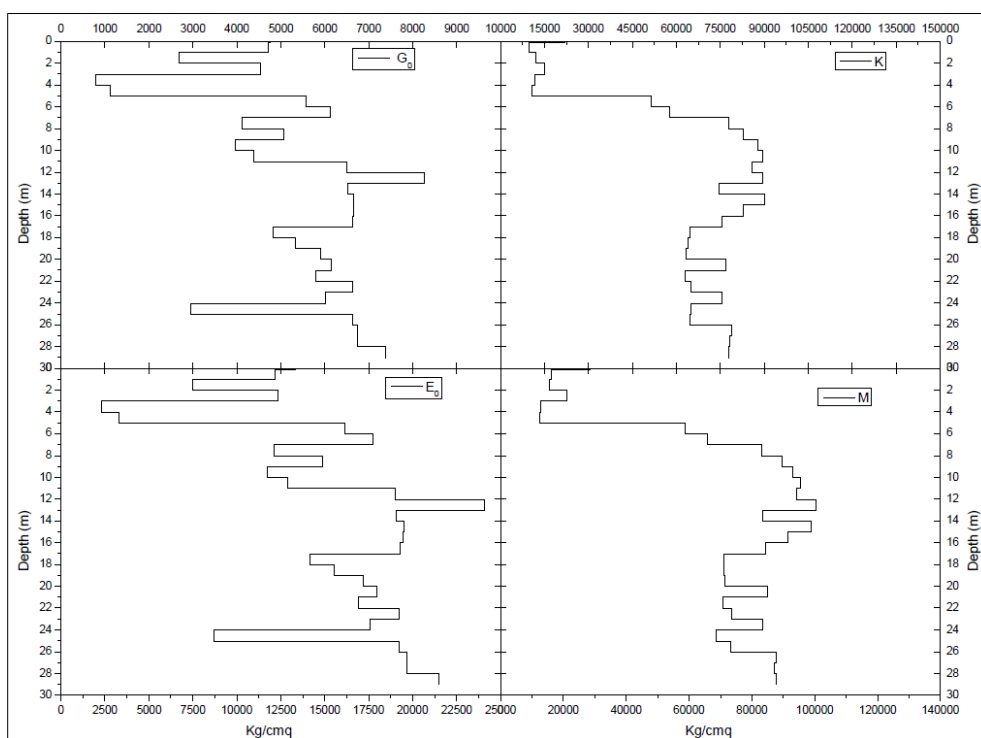


Fig. 29 – Diagrammi relativi agli andamenti dei moduli elastici "G", "E", "M" e "K" in funzione della profondità dal p.c.



➤ Il valore del  $V_{SEQ}$  risulta uguale a 465.14m/s

Z (m)	Spessore (h (m))	Vs (m/s)	h/Vs (sec)	VsZ (m/s)	VsEQ30 (m/s)
0.10	0.1	488.41	0.0002	488.41	465.14
1.00	0.9	497.87	0.0018	496.90	
2.00	1.0	376.73	0.0027	428.55	
3.00	1.0	482.46	0.0021	445.13	
4.00	1.0	204.58	0.0049	344.01	
5.00	1.0	246.08	0.0041	318.65	
6.00	1.0	511.70	0.0020	340.03	
7.00	1.0	533.78	0.0019	358.63	
8.00	1.0	433.04	0.0023	366.50	
9.00	1.0	478.84	0.0021	376.31	
10.00	1.0	423.19	0.0024	380.52	
11.00	1.0	443.92	0.0023	385.53	
12.00	1.0	540.92	0.0018	394.98	
13.00	1.0	608.90	0.0016	405.96	
14.00	1.0	545.54	0.0018	413.51	
15.00	1.0	547.07	0.0018	420.35	
16.00	1.0	548.28	0.0018	426.57	
17.00	1.0	549.25	0.0018	432.25	
18.00	1.0	472.55	0.0021	434.31	
19.00	1.0	496.29	0.0020	437.18	
20.00	1.0	522.52	0.0019	440.78	
21.00	1.0	528.42	0.0019	444.29	
22.00	1.0	517.87	0.0019	447.18	
23.00	1.0	552.37	0.0018	450.91	
24.00	1.0	523.82	0.0019	453.54	
25.00	1.0	369.59	0.0027	449.46	
26.00	1.0	553.08	0.0018	452.72	
27.00	1.0	553.29	0.0018	455.79	
28.00	1.0	553.47	0.0018	458.68	
29.00	2.0	579.23	0.0035	449.63	

Fig. 30 – Valore di Vseq Down Hole NS03 DH

La prova sismica in foro DH 3 ha mostrato una Vseq pari a 465,14 m/s.

## NS4 DH

La prova sismica DH 4 è stata eseguita nel foro del sondaggio stratigrafico NS4. Il sondaggio è stato eseguito lungo la rampa 6, che collega le rotatorie 2 e 5, mostra un livello di copertura elu-colluviale costituito da limi argillosi e limi sabbiosi con minuti inclusi litici e tracce organiche a copertura del complesso argillo-marnoso di base. Lo spessore del livello di copertura in corrispondenza del sondaggio NS04 mostra una potenza maggiore per la presenza di un impluvio che ha inciso maggiormente la formazione di base.

Profondità dal p.c. (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	$\gamma^{din}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$	Vp/Vs
Da 0 a -5	561.53	130.61	1.67	0.46	4.15
da -6 a -14	1347.14	342.07	2.00	0.46	4.31
da -15 a -16	763.46	365.19	1.80	0.35	2.10
da -17 a fondo foro	1715.69	567.53	2.10	0.44	3.05

Profondità dal p.c. (m)	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Imp. Sismica (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
Da 0 a -5	310.30	6565.63	908.12	6979.37	221.14
da -6 a -14	2663.12	34118.86	7675.72	37669.68	686.11
da -15 a -16	2462.52	7416.10	6622.38	10699.47	657.39
da -17 a fondo foro	6998.26	54051.73	20105.23	63382.74	1192.37

Fig. 31 – Tabella riassuntiva parametri estrapolati dalla prova sismica Down Hole NS04 DH

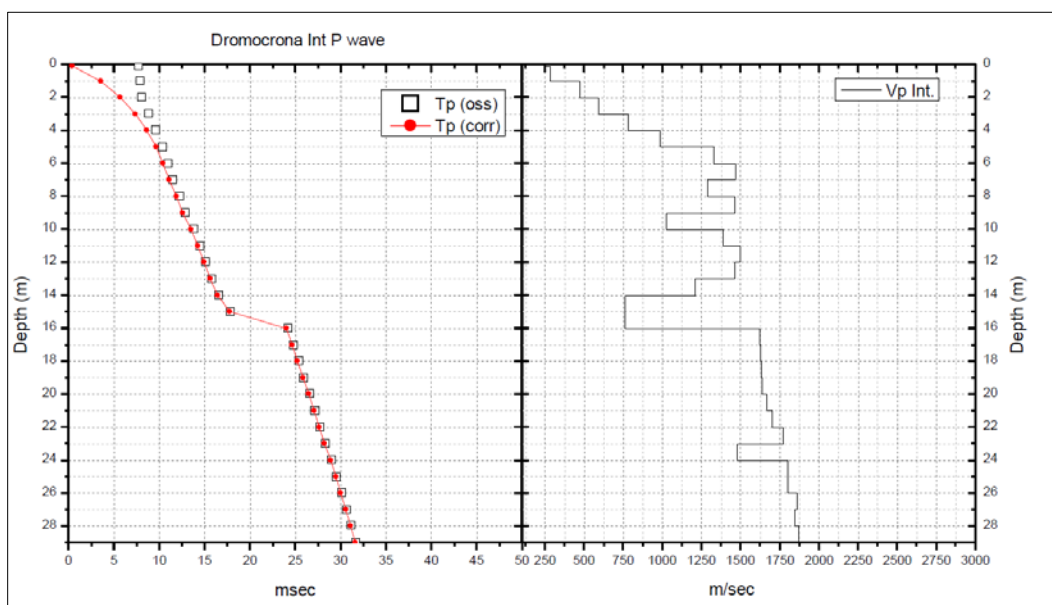


Fig. 32 – Dromocrone, velocità media onde "P" in funzione della profondità dal p.c.

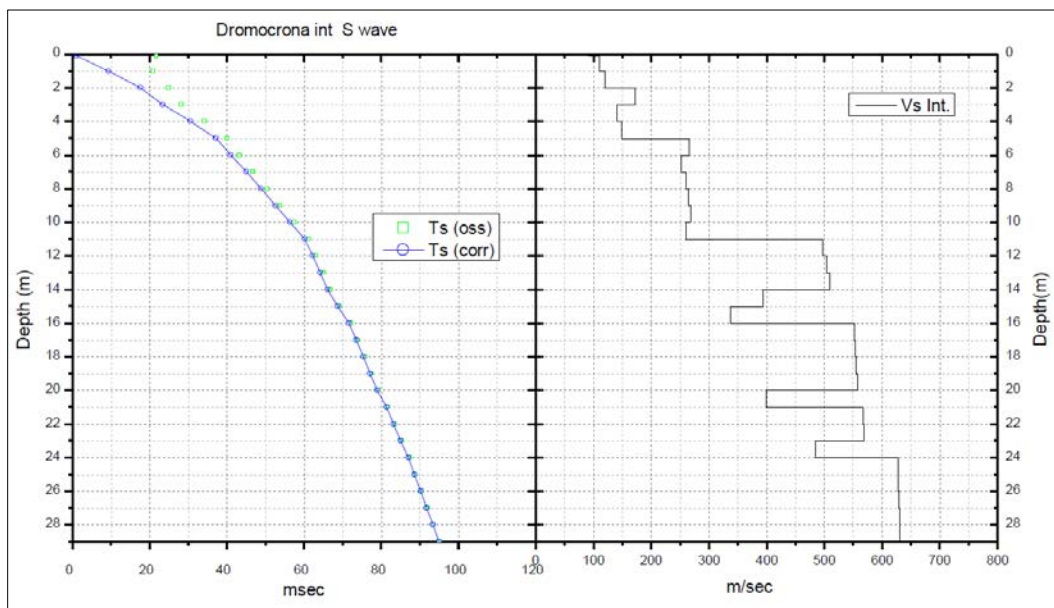


Fig. 33 – Dromocrone, velocità media onde “S”, in funzione della profondità dal p.c.

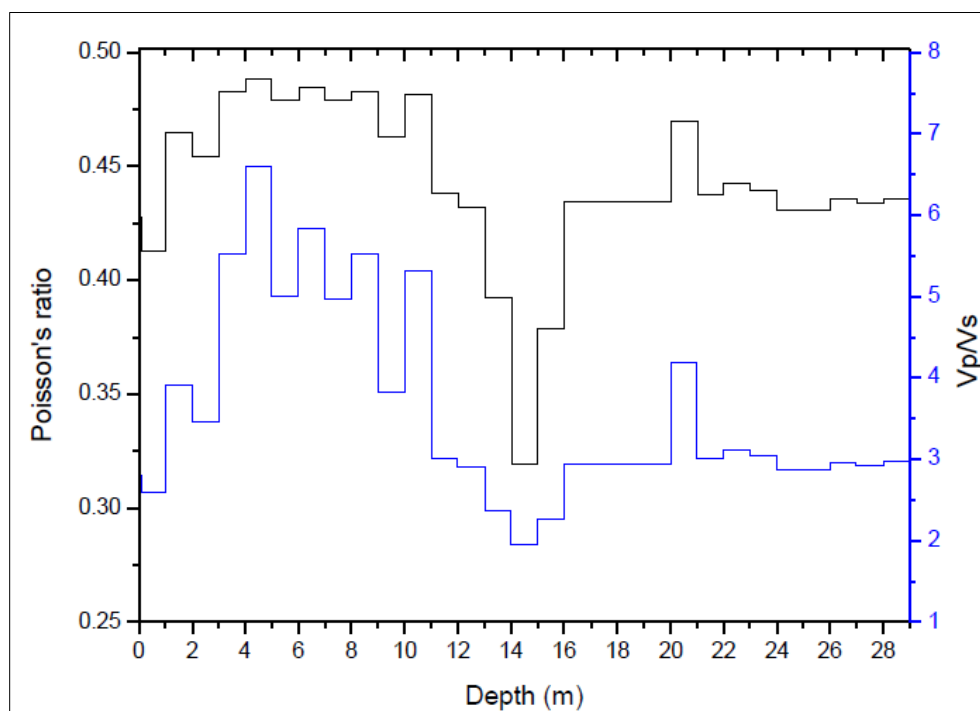


Fig. 34 – Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

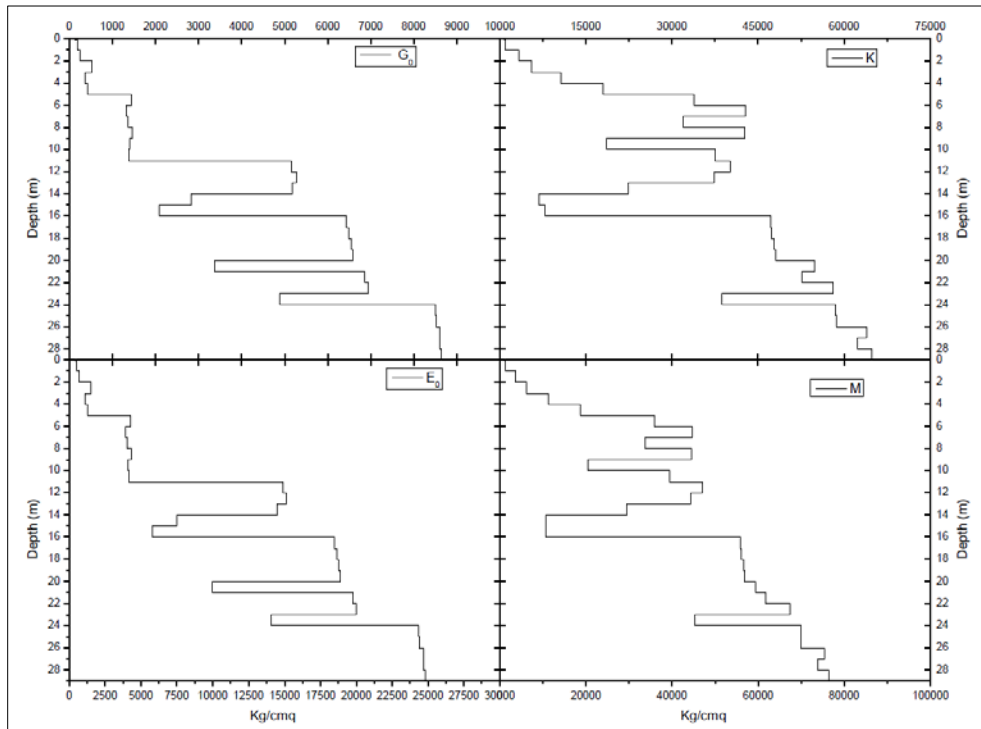


Fig. 35 – Diagrammi relativi agli andamenti dei moduli elastici “G”, “E”, “M” e “K” in funzione della profondità dal p.c.

➤ Il valore del  $V_{SEQ}$  risulta uguale a 310.74.m/s.

Z (m)	Spessore (h (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_s Z$ (m/s)	$V_{SEQ30}$ (m/s)
0.10	0.1	92.26	0.0011	92.26	310.74
1.00	0.9	109.43	0.0082	107.43	
2.00	1.0	120.09	0.0083	113.40	
3.00	1.0	171.95	0.0058	127.92	
4.00	1.0	140.85	0.0071	130.93	
5.00	1.0	149.07	0.0067	134.19	
6.00	1.0	265.48	0.0038	146.25	
7.00	1.0	251.28	0.0040	155.54	
8.00	1.0	259.18	0.0039	163.72	
9.00	1.0	264.48	0.0038	170.96	
10.00	1.0	268.16	0.0037	177.39	
11.00	1.0	260.17	0.0038	182.67	
12.00	1.0	497.29	0.0020	192.84	
13.00	1.0	503.80	0.0020	202.45	
14.00	1.0	508.75	0.0020	211.55	
15.00	1.0	393.22	0.0025	218.27	
16.00	1.0	337.16	0.0030	223.19	
17.00	1.0	551.14	0.0018	231.28	
18.00	1.0	553.43	0.0018	239.01	
19.00	1.0	555.29	0.0018	246.40	
20.00	1.0	556.82	0.0018	253.47	
21.00	1.0	398.66	0.0025	257.94	
22.00	1.0	566.73	0.0018	264.49	
23.00	1.0	567.66	0.0018	270.78	
24.00	1.0	484.06	0.0021	275.84	
25.00	1.0	627.52	0.0016	282.17	
26.00	1.0	628.27	0.0016	288.27	
27.00	1.0	628.92	0.0016	294.18	
28.00	1.0	629.48	0.0016	299.88	
29.00	2.0	629.97	0.0032	300.38	

Fig. 36 – Valore di  $V_{seq}$  Down Hole NS04 DH

La prova sismica in foro DH 4 ha mostrato una  $V_{seq}$  pari a 310,74 m/s.



### SI 1 DH

La prova sismica SI 1DH ricade in prossimità della costruenda pila 3 in sinistra idraulica del Fiume Platani. Il sondaggio mostra un livello alluvionale costituito da ghiaie sabbiose con ciottoli e limi sabbiosi a copertura del complesso argillo-marnoso di base.

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]
1	5,00	5,00	781	260
2	8,00	3,00	1500	390
3	40,00	32,00	1981	634
4	45,00	5,00	2127	962

Fig. 37 – Tabella riassuntiva parametri estrapolati dalla prova sismica Down Hole SI 1 DH



Fig. 38 – Dromocrone tempi profondità e profilo di velocità ( in blu onde P, in rosso onde S) SI 1 DH

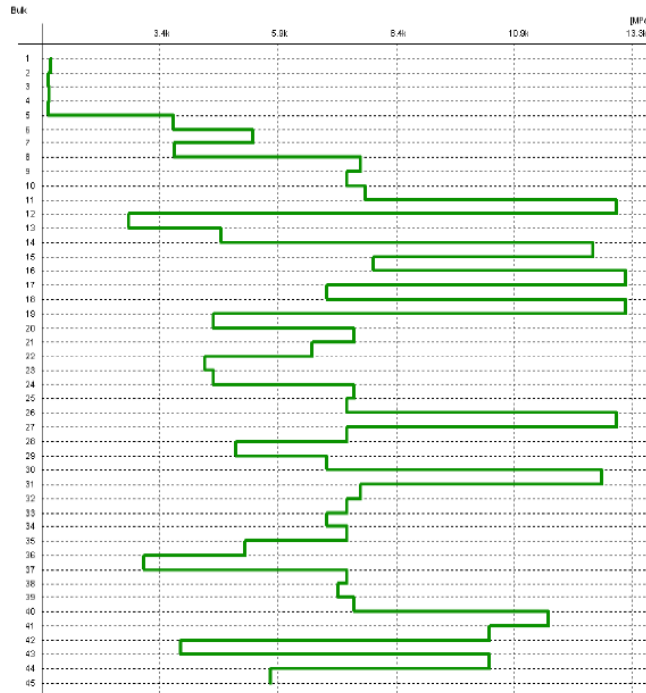


Fig. 39 – Andamento in profondità del modulo di compressibilità (modulo di Bulk)

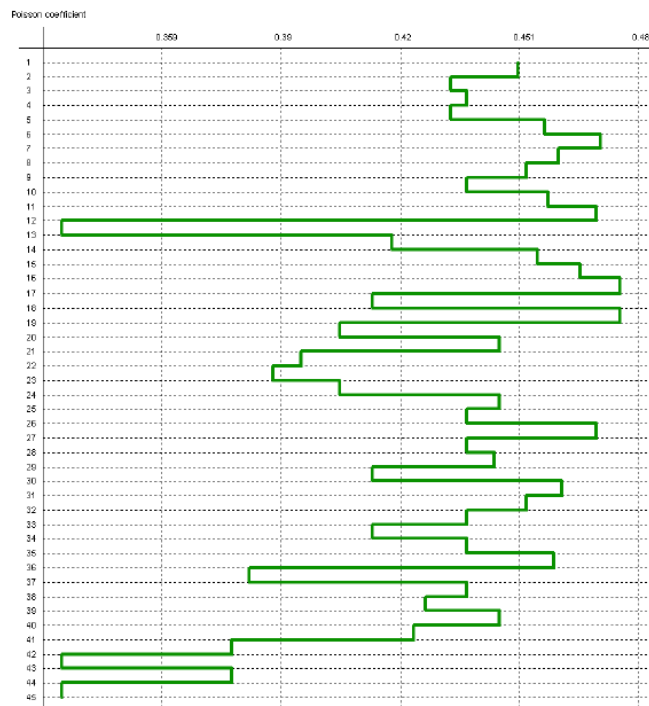


Fig. 40 – Andamento in profondità del Coefficiente di Poisson

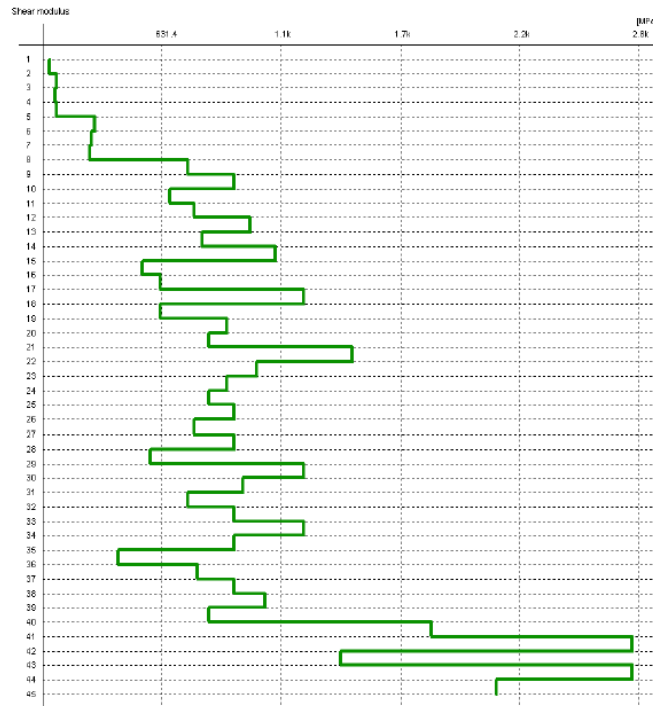


Fig. 41 – Andamento in profondità del modulo di taglio G

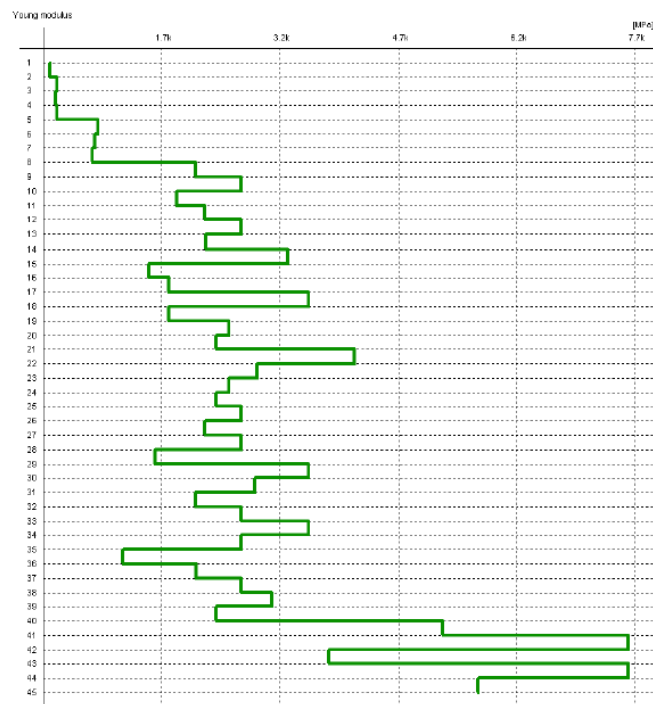


Fig. 42 – Andamento in profondità del modulo di Young E

DH	Profondità (m)	n. sismostrati	$V_{seq}$	Categoria di suolo
SI1_DH	45.00	4	516.82	B

Fig. 43 – Valore di  $V_{seq}$  Down Hole SI 1 DH

La prova sismica in foro SI 1 DH ha mostrato una  $V_{seq}$  pari a 516,82 m/s.

In relazione alle inversioni di velocità delle  $V_s$  riscontrate nei sondaggi NS01\_DH, NS03\_DH e NS04\_DH, si precisa, che quest'ultime sono trascurabili e riconducibili a livelletti e trovanti a diverso comportamento geomeccanico, tipici dei depositi alluvionali ed elu-colluviali, che presentano alternanze di livelli ghiaiosi e argillo limosi e talora trovanti a diversa competenza.

### 5.3. Analisi Sismica

In ottemperanza alla nuova normativa in materia di costruzione in zona sismica è stato condotto uno studio specifico per definire il profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi del Cap. 3.2.2 della NCT che riprende e modifica l'art. 3.1 "categorie di suolo di fondazione" dell'ordinanza n° 3274 e smi.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>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.</i>
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.

Tab. 4 – Tabella classificazione dei suoli di fondazione

Al fine di meglio articolare lo studio, l'area di progetto, è stata suddivisa zone omogenee, dal punto di vista stratigrafico, per assetto geologico-sismico e considerando le principali opere d'arte da realizzare;

in tal senso si sono individuate tre sottozone:

- Settore rotatoria n° 1 e Rampe n° 1 – 3 e 5
- Settore Rampa 4 "Viadotto sulla SS 189"
- Settore Rotatoria 2 – Rampa 6 – Rotatoria 3

#### 5.3.1. Settore rotatoria n°1 e Rampe n°1-3 e 5

Il settore mostra una copertura eluviale frammista a depositi colluviali ed alluvionali con spessori elevati di circa 20 metri (sondaggio NS1) a ricoprimento delle marne di san Cipirello.

Nel settore la velocità delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi D.M. 17-01-2018 "Normative tecniche per le costruzioni") è stata determinata attraverso il Down-Hole sondaggio NS1.



La  $V_{s,eq}$  così come determinata dall'indagine sismica per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella sottostante espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, come di seguito esplicitato:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} = 202,74 \text{ m/s}$$

Z (m)	Spessore (h (m))	Vs (m/s)	h/Vs (sec)	VsZ (m/s)	V <sub>SEQ30</sub> (m/s)
0.10	0.1	71.52	0.0014	71.52	202.74
1.00	0.9	82.91	0.0109	81.61	
2.00	1.0	136.37	0.0073	102.11	
3.00	1.0	156.91	0.0064	115.56	
4.00	1.0	119.25	0.0084	116.46	
5.00	1.0	182.29	0.0055	125.53	
6.00	1.0	159.38	0.0063	130.13	
7.00	1.0	126.08	0.0079	129.54	
8.00	1.0	174.73	0.0057	133.87	
9.00	1.0	163.08	0.0061	136.59	
10.00	1.0	149.92	0.0067	137.81	
11.00	1.0	228.54	0.0044	142.97	
12.00	1.0	298.17	0.0034	149.45	
13.00	1.0	255.31	0.0039	154.38	
14.00	1.0	270.40	0.0037	159.26	
15.00	1.0	164.99	0.0061	159.63	
16.00	1.0	214.41	0.0047	162.22	
17.00	1.0	224.39	0.0045	164.91	
18.00	1.0	210.64	0.0047	166.92	
19.00	1.0	215.42	0.0046	168.92	
20.00	1.0	235.89	0.0042	171.35	
21.00	1.0	230.71	0.0043	173.48	
22.00	1.0	282.97	0.0035	176.58	
23.00	1.0	236.54	0.0042	178.55	
24.00	1.0	203.15	0.0049	179.46	
25.00	1.0	353.70	0.0028	183.06	
26.00	1.0	429.92	0.0023	187.20	
27.00	1.0	412.69	0.0024	191.07	
28.00	1.0	450.15	0.0022	195.08	
29.00	2.0	450.56	0.0044	195.98	

I valori ottenuti orientano ad adottare un profilo sismico di **categoria 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.

Vs Eq (m/sec )	categoria suolo
202,74	C

Per quanto riguarda la definizione delle **condizioni topografiche** dell'area in esame queste sono generalmente del tipo **T1** come definito dalla seguente tabella:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T 1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T 2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T 3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T 4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

*RTI di  
progettazione:*

*Mandataria*



*Mandanti*



ING.ANDREA  
MILANO

### 5.3.2. Settore Rampa 4 "Viadotto sulla SS 189"

Il settore in esame si caratterizza per la presenza del viadotto che attraversa ortogonalmente l'ampia vallata del Fiume Platani e consente di superare la S.S. 189 dalla rotonda 1 alla rotonda 2.

Nell'area è presente un'ampia fascia alluvionale connessa al Fiume Platani, mentre ai fianchi in sinistra idraulica si hanno i depositi argillosi afferenti alla formazione del Flysch numidico e in dx le marne di San Cipirello.

Nel sito studiato non sono visibili in affioramento faglie o strutture tettoniche evidenti, anche se il contatto al disotto del complesso alluvionale del Platani, tra il Flysch Numidico (Bacino Imerese) e la Formazione delle marne di San Cipirello (Bacino Sicano) è certamente frutto di una fase tettonica compressiva.

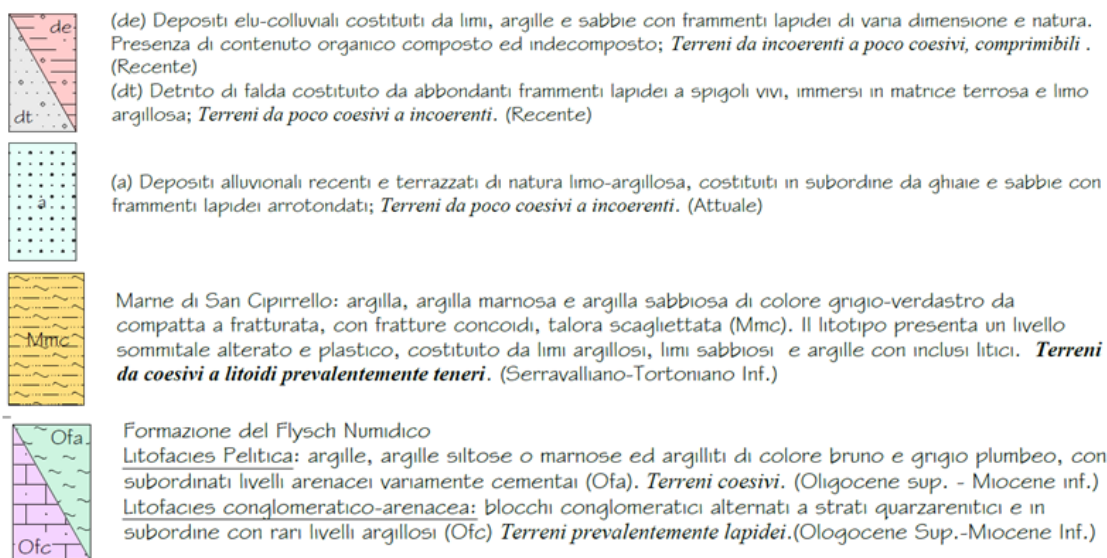
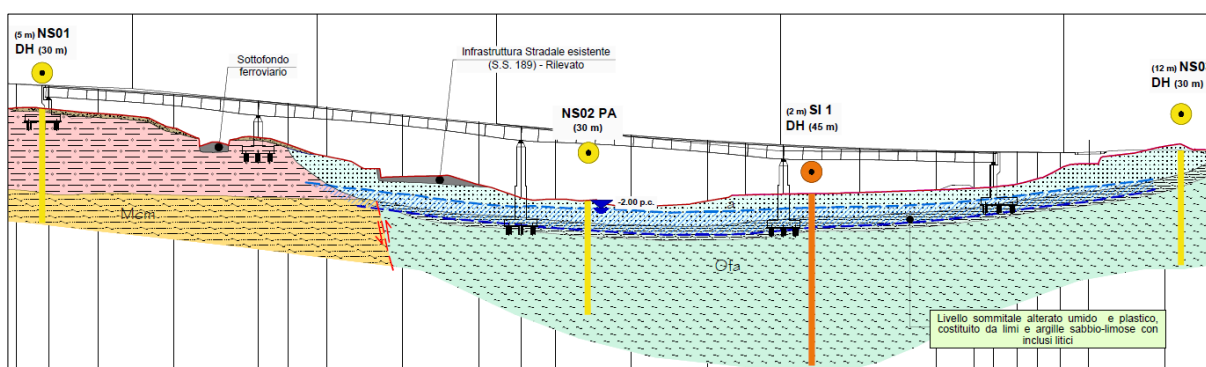


Fig. 44 – Profilo longitudinale e legenda, Rampa n° 4

Le alluvioni nel sondaggio di riferimento NS02 sono presenti fino a 4 metri circa, sono costituiti da ghiaie, ciottoli, sabbie limose di colore giallastro – marrone; a seguire si riscontra la formazione di base. Trattasi di terreni argilloso-marnosi e argillo sabbiosi con livelletti consistenti arenitici appartenenti alla Formazione del Flysch Numidico affioranti lungo il versante sinistro della valle.

Nel settore, che prevede come principale opera da realizzare il viadotto sul fiume Platani per attraversare la SS 189, la velocità delle onde di taglio  $V_s$  eq (necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi D.M. 17-01-2018 "Normative tecniche per le costruzioni") è stata determinata, attraverso le prove sismiche Down-Hole eseguite nei sondaggi NS1 e NS03 ed SI 1DH. Le  $V_s$ ,eq al piano di campagna, così come determinata dalle indagini sismiche sono risultate essere, 202,74 m/s per la DH\_S1, ubicata in dx idraulica del fiume Platani in corrispondenza della spalla S1, 465,14 m/s per la DH\_S3 eseguita in prossimità della spalla n° 2 e 516,82 m/s per la prova down hole eseguita nel sondaggio SI 1.

La  $V_s$ ,eq così come determinata dall'indagine sismica DH\_S1 per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo H=30 m nella sottostante espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, come di seguito esplicitato:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} = 202,74 \text{ m/s}$$

Z (m)	Spessore (h (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_s Z$ (m/s)	$V_{SEQ30}$ (m/s)
0.10	0.1	71.52	0.0014	71.52	202.74
1.00	0.9	82.91	0.0109	81.61	
2.00	1.0	136.37	0.0073	102.11	
3.00	1.0	156.91	0.0064	115.56	
4.00	1.0	119.25	0.0084	116.46	
5.00	1.0	182.29	0.0055	125.53	
6.00	1.0	159.38	0.0063	130.13	
7.00	1.0	126.08	0.0079	129.54	
8.00	1.0	174.73	0.0057	133.87	
9.00	1.0	163.08	0.0061	136.59	
10.00	1.0	149.92	0.0067	137.81	
11.00	1.0	228.54	0.0044	142.97	
12.00	1.0	298.17	0.0034	149.45	
13.00	1.0	255.31	0.0039	154.38	
14.00	1.0	270.40	0.0037	159.26	
15.00	1.0	164.99	0.0061	159.63	
16.00	1.0	214.41	0.0047	162.22	
17.00	1.0	224.39	0.0045	164.91	
18.00	1.0	210.64	0.0047	166.92	
19.00	1.0	215.42	0.0046	168.92	
20.00	1.0	235.89	0.0042	171.35	
21.00	1.0	230.71	0.0043	173.48	
22.00	1.0	282.97	0.0035	176.58	
23.00	1.0	236.54	0.0042	178.55	
24.00	1.0	203.15	0.0049	179.46	
25.00	1.0	353.70	0.0028	183.06	
26.00	1.0	429.92	0.0023	187.20	
27.00	1.0	412.69	0.0024	191.07	
28.00	1.0	450.15	0.0022	195.08	
29.00	2.0	450.56	0.0044	195.98	

La  $V_s$ ,eq determinata dall'indagine sismica DH\_S3 per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo H=30 m nella sottostante

espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, come di seguito esplicitato:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} = 465,14 \text{ m/s}$$

Z (m)	Spessore (h (m))	V <sub>s</sub> (m/s)	h/V <sub>s</sub> (sec)	V <sub>s</sub> Z (m/s)	V <sub>sEQ30</sub> (m/s)
0.10	0.1	488.41	0.0002	488.41	465.14
1.00	0.9	497.87	0.0018	496.90	
2.00	1.0	376.73	0.0027	428.55	
3.00	1.0	482.46	0.0021	445.13	
4.00	1.0	204.58	0.0049	344.01	
5.00	1.0	246.08	0.0041	318.65	
6.00	1.0	511.70	0.0020	340.03	
7.00	1.0	533.78	0.0019	358.63	
8.00	1.0	433.04	0.0023	366.50	
9.00	1.0	478.84	0.0021	376.31	
10.00	1.0	423.19	0.0024	380.52	
11.00	1.0	443.92	0.0023	385.53	
12.00	1.0	540.92	0.0018	394.98	
13.00	1.0	608.90	0.0016	405.96	
14.00	1.0	545.54	0.0018	413.51	
15.00	1.0	547.07	0.0018	420.35	
16.00	1.0	548.28	0.0018	426.57	
17.00	1.0	549.25	0.0018	432.25	
18.00	1.0	472.55	0.0021	434.31	
19.00	1.0	496.29	0.0020	437.18	
20.00	1.0	522.52	0.0019	440.78	
21.00	1.0	528.42	0.0019	444.29	
22.00	1.0	517.87	0.0019	447.18	
23.00	1.0	552.37	0.0018	450.91	
24.00	1.0	523.82	0.0019	453.54	
25.00	1.0	369.59	0.0027	449.46	
26.00	1.0	553.08	0.0018	452.72	
27.00	1.0	553.29	0.0018	455.79	
28.00	1.0	553.47	0.0018	458.68	
29.00	2.0	579.23	0.0035	449.63	

La V<sub>s,eq</sub> determinata attraverso la prova sismica nel sondaggio SI 1 DH ha evidenziato per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro V<sub>s,30</sub>, ottenuto ponendo H=30 m nella sottostante espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, come di seguito esplicitato:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} = 516,82 \text{ m/s}$$

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	V <sub>p</sub> medio [m/s]	V <sub>s</sub> medio [m/s]
1	5,00	5,00	781	260
2	8,00	3,00	1500	390
3	40,00	32,00	1981	634
4	45,00	5,00	2127	962



Le Vs,eq così come determinate hanno delineato un profilo sismico rispettivamente per la DH\_S1 (spalla 1 e pila 1) di **categoria C** e per la DH\_S3 e SI 1 DH (spalla 2, pile 2 e 3) di **Categoria B**.

**Categoria 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"

Vs Eq (m/sec)	categoria suolo
202,74	<b>C</b>

**Categoria 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".

Vs Eq (m/sec )	categoria suolo
465,14	<b>B</b>
516,82	<b>B</b>

Per quanto riguarda la definizione delle **condizioni topografiche** dell'area in esame queste sono generalmente del tipo **T1** come definito dalla seguente tabella:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
<b>T 1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T 2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T 3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T 4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

### 5.3.3. Settore Rotatoria 2 – Rampa 6 – Rotatoria 3

Il settore coincide con il versante in sinistra idraulica del F. Platani dove ricadono la rotatoria n. 2 (a servizio del nuovo Cavalcavia sulla SS189), la rotatoria n. 3 (sulla SP26 in prossimità del Centro Commerciale) e la rampa n. 6 che collega le due rotatorie che coincide con la SP per Mussomeli, di cui si prevede una manutenzione straordinaria ed ammodernamento.

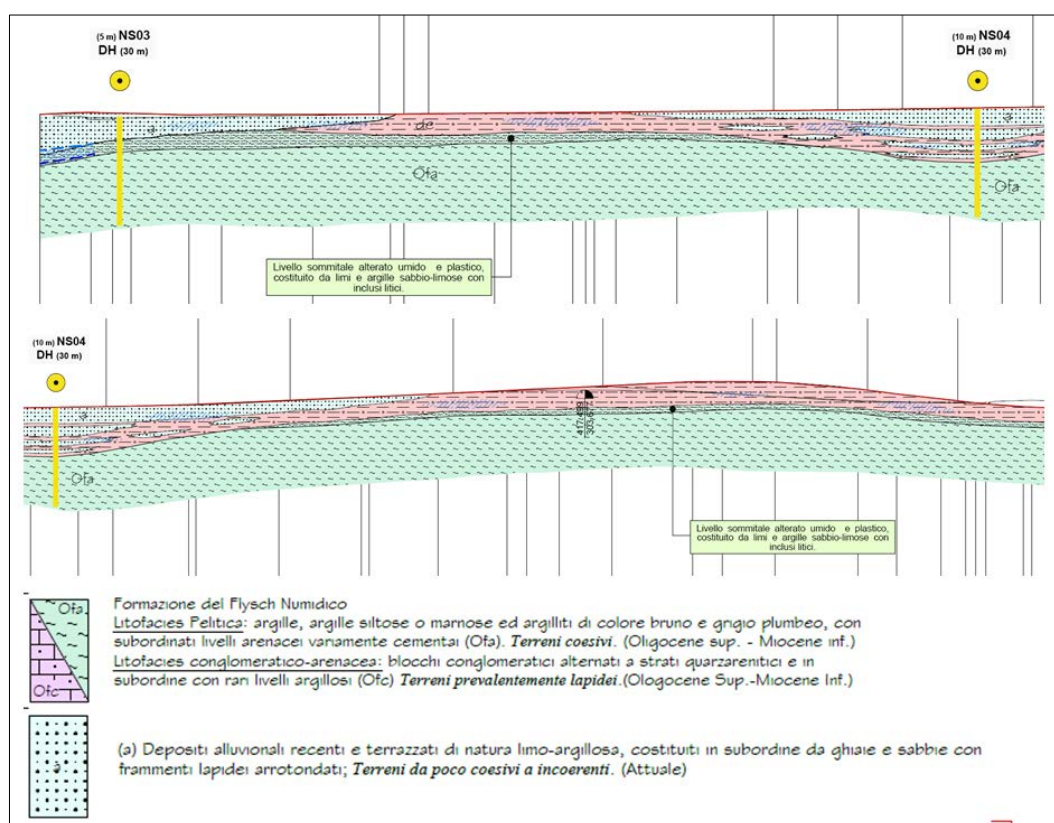


Fig. 45 – Stralcio profilo geologico rampa n°6

Lo spessore del livello di copertura è variabile tra i 5 e 7 metri con un approfondimento in corrispondenza del sondaggio NS4, dove raggiunge uno spessore di circa 14m, per la presenza di un impluvio che ha inciso maggiormente la formazione di base.

Nel settore la velocità delle onde di taglio  $V_{seq}$  (necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi D.M. 17-01-2018 "Normative tecniche per le costruzioni") è stata determinata, attraverso il Down-Hole eseguita nel sondaggio NS4.

La  $V_{s,eq}$  così come determinata dall'indagine sismica per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro  $VS_{,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella sottostante espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, come di seguito esplicitato:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} = H_i = 1N h_i V_{s,i} = 310,74 \text{ m/s}$$

Z (m)	Spessore (h (m))	Vs (m/s)	h/Vs (sec)	VsZ (m/s)	VsEQ30 (m/s)
0.10	0.1	92.26	0.0011	92.26	310.74
1.00	0.9	109.43	0.0082	107.43	
2.00	1.0	120.09	0.0083	113.40	
3.00	1.0	171.95	0.0058	127.92	
4.00	1.0	140.85	0.0071	130.93	
5.00	1.0	149.07	0.0067	134.19	
6.00	1.0	265.48	0.0038	146.25	
7.00	1.0	251.28	0.0040	155.54	
8.00	1.0	259.18	0.0039	163.72	
9.00	1.0	264.48	0.0038	170.96	
10.00	1.0	268.16	0.0037	177.39	
11.00	1.0	260.17	0.0038	182.67	
12.00	1.0	497.29	0.0020	192.84	
13.00	1.0	503.80	0.0020	202.45	
14.00	1.0	508.75	0.0020	211.55	
15.00	1.0	393.22	0.0025	218.27	
16.00	1.0	337.16	0.0030	223.19	
17.00	1.0	551.14	0.0018	231.28	
18.00	1.0	553.43	0.0018	239.01	
19.00	1.0	555.29	0.0018	246.40	
20.00	1.0	556.82	0.0018	253.47	
21.00	1.0	398.66	0.0025	257.94	
22.00	1.0	566.73	0.0018	264.49	
23.00	1.0	567.66	0.0018	270.78	
24.00	1.0	484.06	0.0021	275.84	
25.00	1.0	627.52	0.0016	282.17	
26.00	1.0	628.27	0.0016	288.27	
27.00	1.0	628.92	0.0016	294.18	
28.00	1.0	629.48	0.0016	299.88	
29.00	2.0	629.97	0.0032	300.38	

I valori ottenuti orientano ad adottare un profilo sismico di **categoria 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.

Vs Eq (m/sec)	categoria suolo
310,74	C

Per quanto riguarda la definizione delle **condizioni topografiche** dell'area in esame queste sono generalmente del tipo **T1** come definito dalla seguente tabella:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T 1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T 2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T 3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T 4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## 5.4. Pericolosità sismica e definizione dello spettro di risposta elastico

### 5.4.1. Pericolosità sismica

La sismicità del territorio è connessa alla presenza di attività neotettonica intendendo con questo termine i movimenti tettonogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l'attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni). Si possono distinguere movimenti neotettonici lineari che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) e movimenti neotettonici areali che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali. Nella Carta Neotettonica d'Italia, 1986 (edita dal C.N.R.), visualizzata nella seguente figura, si evince che il territorio che ricade in zona di avanfossa è stato interessato da un forte abbassamento fino al pleistocene inferiore seguito da sollevamento con un'intensa attività tettonica.

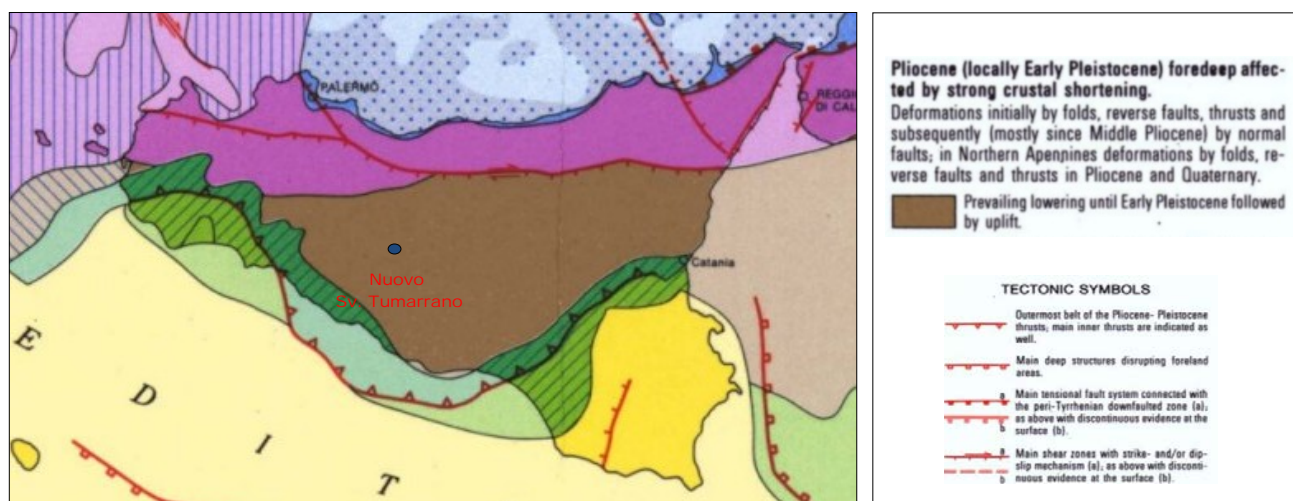
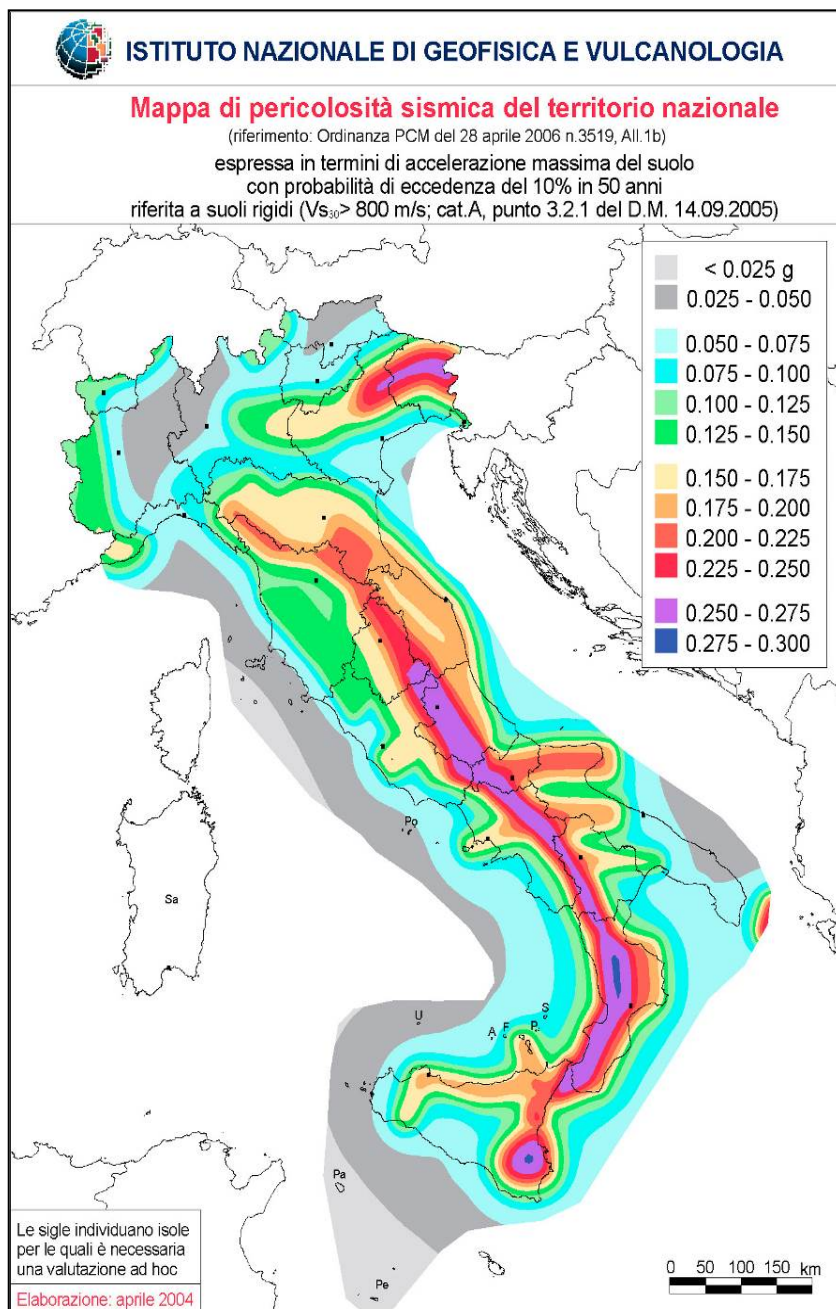


Fig. 46 – Stralcio carta neotettonica d'Italia (C.N.R. 1986)

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica. Più precisamente è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto sismico al suolo (ad esempio l'accelerazione massima) o da un grado di intensità macrosismica, venga superato in un sito dato (o in un insieme di siti) entro un dato periodo di tempo. La pericolosità sismica può essere pertanto rappresentata attraverso due indicatori:

- l'accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$
- l'intensità macrosismica





**Fig. 47 – Stralcio carta neotettonica d'Italia (C.N.R. 1986)  
Mapa di pericolosità sismica del territorio italiano (I.N.G.V. 2004)**

- sull'uso di relazioni di attenuazione (Ambrayses et al., 1996; Sabetta e Pugliese, 1996) modificate per tenere conto dei meccanismi di fagliazione prevalenti nelle diverse ZS, secondo i fattori correttivi determinati da Bomber et al. (2003);
- sull'approccio probabilistico alla Cornell per ricostruire la storia sismica di un sito;
- su una struttura ad albero logico che tenga conto delle principali alternative decisionali, quali la

Per quanto attiene la definizione della pericolosità sismica attraverso l'accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  nel 2004 è stata elaborata la nuova mappa di pericolosità sismica del territorio italiano (Figura 47).

In particolare la mappa della regione Sicilia definisce localmente i livelli di accelerazione massima su suolo roccioso (suolo di categoria A,  $V_{s30} > 800$  m/s) con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni, ovvero un periodo di ritorno pari a 475 anni (Fig. 48). Con riferimento al suddetto elaborato i territori comunali di Cammarata e San Giovanni Gemini presentano  $a_g$  compresa tra 0.050 g e 0.100 g.

Questa carta è stata elaborata basandosi:

- sulla "carta di zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9" (Figura 48);

relazione di attenuazione adottata, la modalità di valutazione dei periodi di completezza del catalogo, il calcolo dei tassi di sismicità, la magnitudo massima per le diverse ZS.

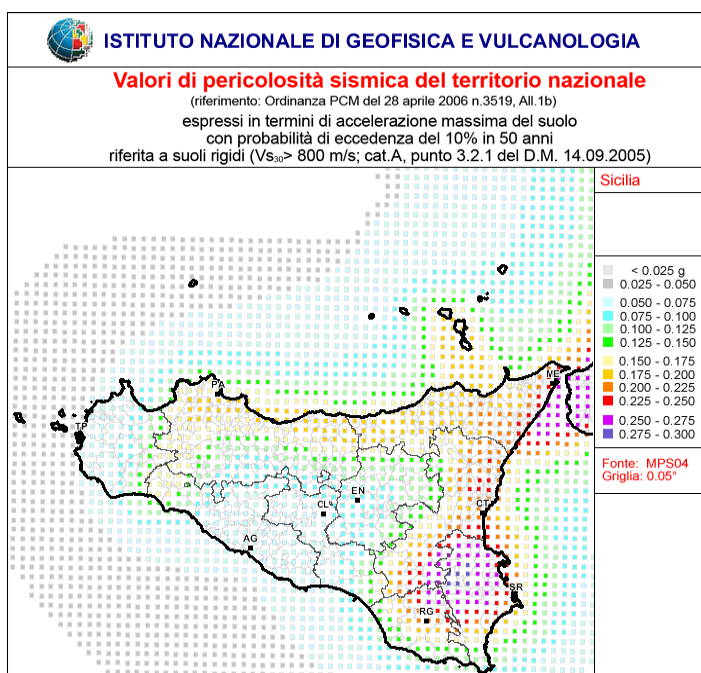


Fig. 48 – Mappa di pericolosità sismica della regione Sicilia (I.N.G.V. 2006)

Nel nuovo modello sismogenetico usato in Italia, la cosiddetta zonazione ZS9, il territorio italiano è stato suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F).

Per ogni zona sismogenetica, caratterizzata da una propria sismicità, è stata effettuata una stima della profondità media dei terremoti e del meccanismo di fagliazione prevalente. Si è valutato inoltre il grado d'incertezza nella definizione dei limiti delle zone.

La ricerca storica degli eventi sismici ha evidenziato che il settore maggiormente colpito in passato, e al tempo stesso

maggiormente indiziato di un possibile ripetersi di calamità sismiche, è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal Basso Tirreno al Canale di Sicilia e dal settore della Valle del Belice già in passato oggetto di violenti eventi sismici.

La vivace tettonica regionale che contraddistingue il settore orientale, si esprime attraverso il frequente manifestarsi di terremoti nella provincia di Messina e Catania e trova un'ulteriore testimonianza nella presenza di vulcani attivi quali l'Etna, Vulcano e Stromboli.

Il settore occidentale siciliano a cavallo della Valle del Belice è stato interessato nel 1968 da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime specialmente negli abitati di Gibellina, Montevago, S. Margherita Belice, Salemi Partanna, Menfi.

I restanti settori della Sicilia, non presentano eventi sismici storicamente significativi e statisticamente ricorrenti, così come tutto il settore attraversato dai lavori in progetto, ad esclusione di scosse o sciame sismici secondari (come si evince dalla carta di zonazione sismogenetica del territorio Italiano).

Per avere un quadro completo della pericolosità sismica è necessario considerare anche il secondo parametro, ossia l'intensità macrosismica. L'intensità macrosismica (MCS) rappresenta, in un certo senso le conseguenze socio-economiche di un evento sismico; descrivendo, infatti, il grado di danneggiamento causato dai terremoti; una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina,



con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

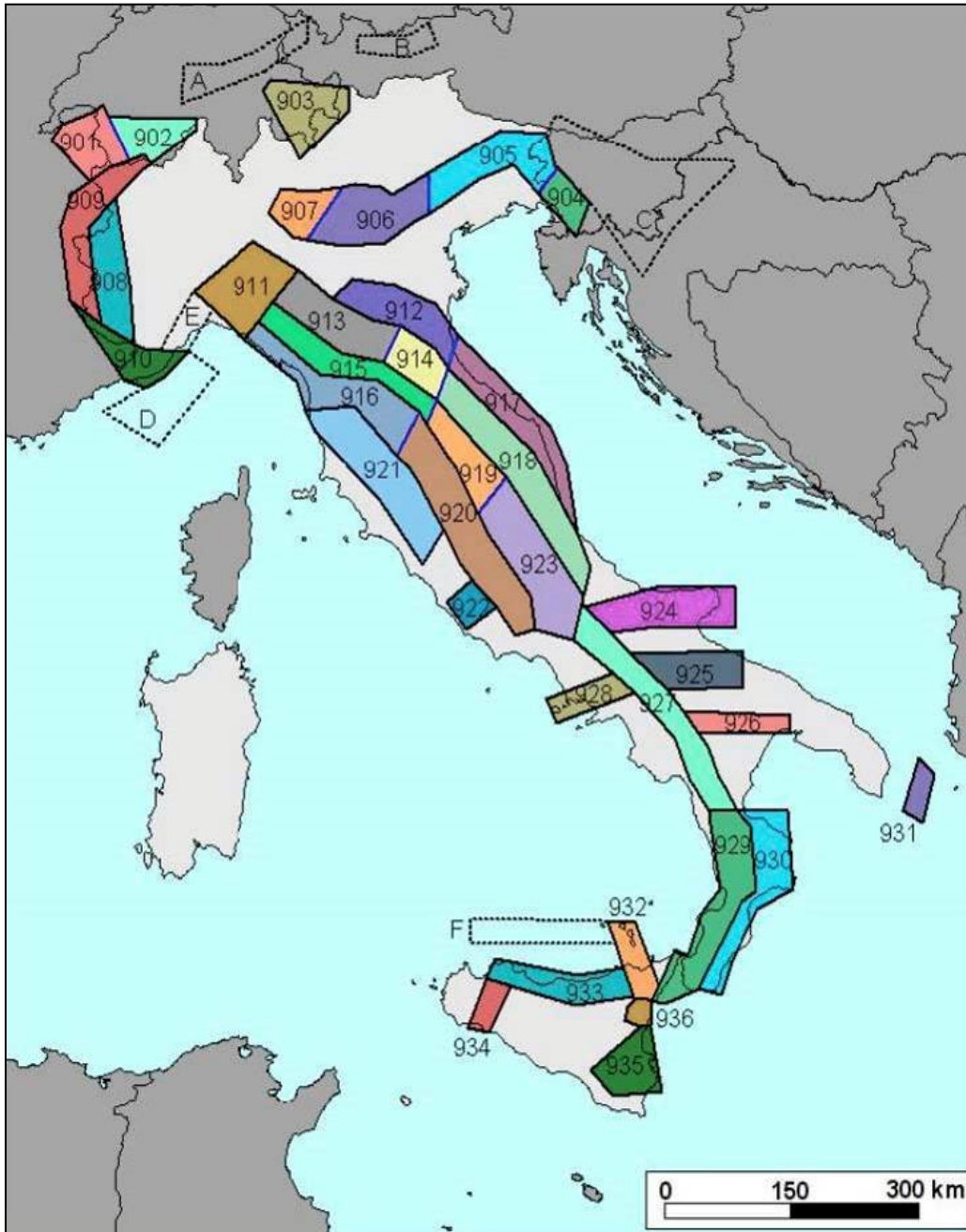


Fig. 49 – Zonazione sismogenetica del territorio italiano, ZS9

Tab. 5 – Scala Mercalli modificata MCS per la descrizione degli effetti di un sisma

Grado	Descrizione
I	Strumentale, avvertito solo dai sismografi Scossa leggerissima, avvertito solo da persone a riposo e solo nei piani superiori delle case. Gli oggetti sospesi esilmente possono oscillare Scossa leggera, percepita nelle case in orario diurno, soprattutto ai piani alti degli edifici. Vibrazioni come al passaggio di autocarri leggeri. Stime della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.
II	
III	
IV	Scossa di media intensità, percepita da molte persone nelle case in orario diurno, e da qualche persona anche all'aperto. Di notte alcune persone vengono svegliate. Oggetti sospesi oscillano notevolmente. Vibrazioni come al passaggio di autocarri pesanti. Oscillazione di automezzi fermi. Tintinnio di vetri e di vasellame. Tra IV e V grado cominciano ad essere avvertiti scricchiolii di strutture in legno.
V	Scossa forte, percepita praticamente da tutti. Di notte molte persone vengono svegliate. Oggetti instabili rovesciati. Rovesciamento di liquidi in recipienti. Oscillazioni di porte che si aprono e si chiudono. Movimento di imposte e quadri. Arresto, messa in moto, cambiamento del passo di orologi a pendolo. A volte scuotimento di alberi e crepe nei rivestimenti.
VI	Scossa molto forte, percepita da tutti con spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone. Rottura di vetrine, piatti, vetriere. Caduta dagli scaffali di soprammobili e libri e di quadri dalle pareti. Screpolature di intonaci deboli. Suono di campanelle, stormire di alberi e cespugli.
VII	Scossa fortissima. Difficile stare in piedi. Avvertita da conduttori di automezzi. Tremolio di oggetti sospesi. Danni ai mobili e alle murature composte da malte povere. Rottura di cornicioni, caduta di tegole, cornicioni, parapetti e ornamenti architettonici. Formazione di onde sugli specchi d'acqua, intorbidimento di acque. Forte suono di campane. Piccoli smottamenti in depositi di sabbia e ghiaia.
VIII	Scossa rovinosa. Lievi danni anche a strutture antisismiche, danni parziali a costruzioni ordinarie, caduta di ciminiere, monumenti, colonne, ribaltamento di mobili pesanti, cambiamento di livello nei pozzi. Rottura di rami d'albero e di palizzate. Crepacci nel terreno e su pendii ripidi.
IX	Scossa disastrosa. Danni anche a strutture antisismiche, perdita di verticalità di strutture portanti ben progettate. Edifici spostati rispetto alle fondazioni. Fessurazione del suolo e rottura di cavi e tubazioni sotterranei. Panico generale. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbia e fango.
X	Scossa disastrosissima. Distruzione della maggior parte delle strutture in muratura. Notevole fessurazione del suolo; rotaie piegate; frane notevoli in argini fluviali o ripidi pendii. Distruzione di alcune robuste strutture in legname e ponti. Gravi danni a dighe, briglie e argini Scossa catastrofica. Poche strutture in muratura restano in piedi, distruzione di ponti, ampie fessure nel terreno, condutture sotterranee fuori uso. Sprofondamenti e slittamenti del terreno in suoli molli. Rotaie fortemente deviate.
XI	
XII	Scossa molto catastrofica. Distruzione pressoché totale, distruzione delle linee di vista e di livello, oggetti lanciati in aria, onde sulla superficie del suolo, spostamento di grandi masse rocciose.

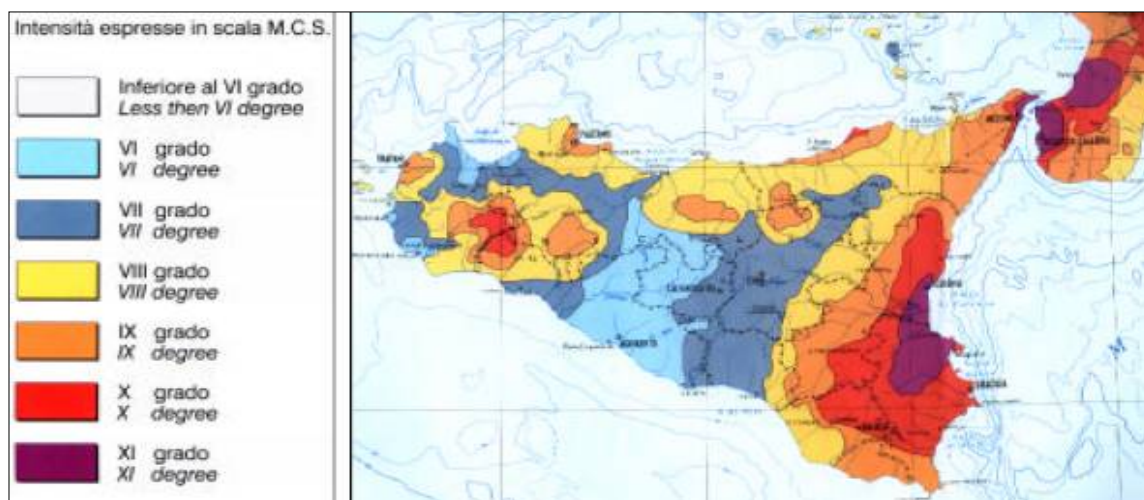


Fig. 50 – Stralcio “Massima Intensità macrosismica risentita in Italia, 1995 - C.N.R. Istituto Nazionale di Geofisica

Per l'area in esame le massime intensità macrosismiche sono visualizzate nella Figura 49 (“Massima Intensità Macrosismica risentita in Italia, 1995”, C.N.R.-Istituto Nazionale di Geofisica) e nella Figura 50 (“Massime Intensità macrosismiche osservate nei comuni della Regione Sicilia”, Molin, Stucchi, Valensise) quest'ultime valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

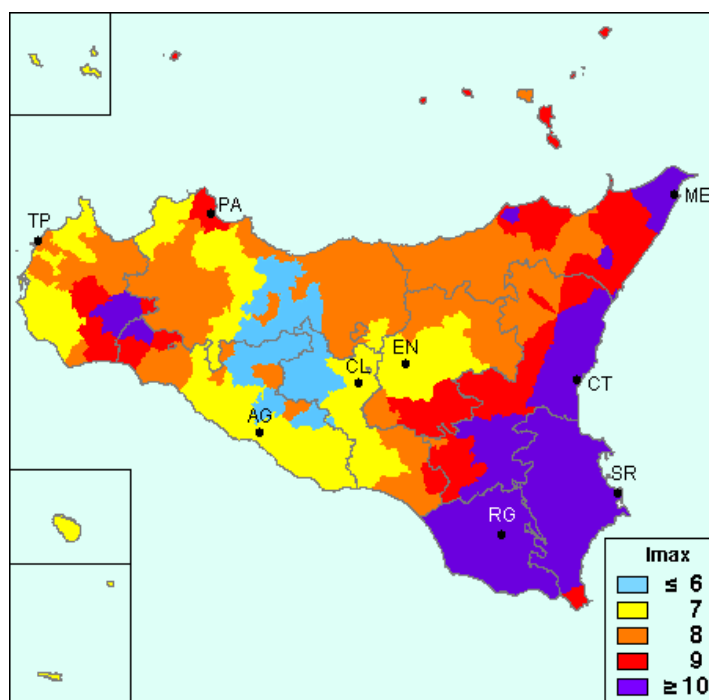
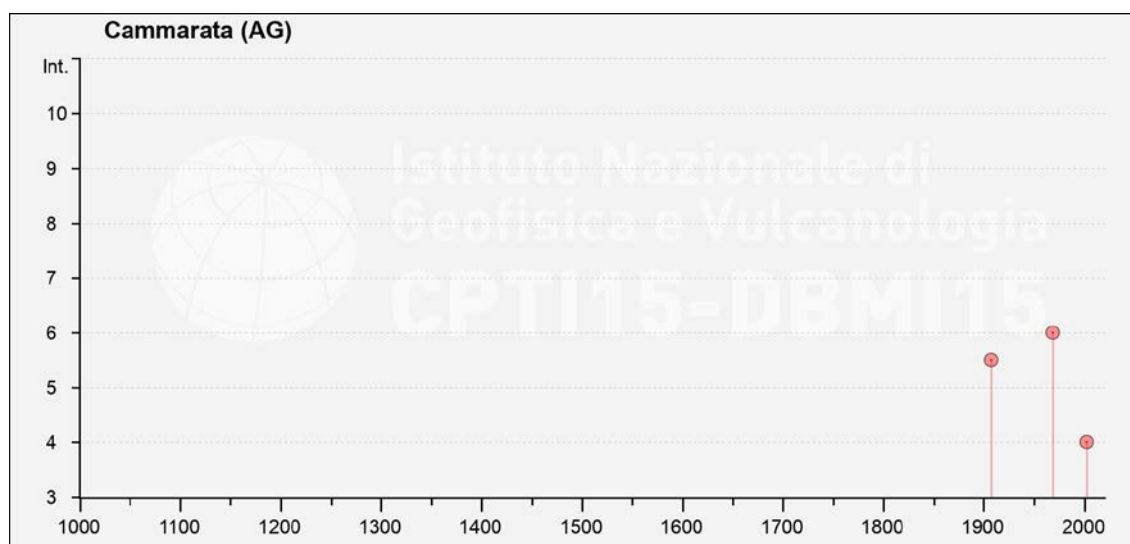


Fig. 51 – “Massime Intensità macrosismiche osservate nei comuni della Regione Sicilia” (Molin, Stucchi, Valensise)

Con riferimento alle suddette figure ed ai tabulati sotto riportati, le massime intensità macrosismiche osservate nei due comuni e nell'area interessata dai lavori è pari  $I_{max} = 6$  MCS.

#### 5.4.2. Massime intensità macrosismiche osservate a Cammarata

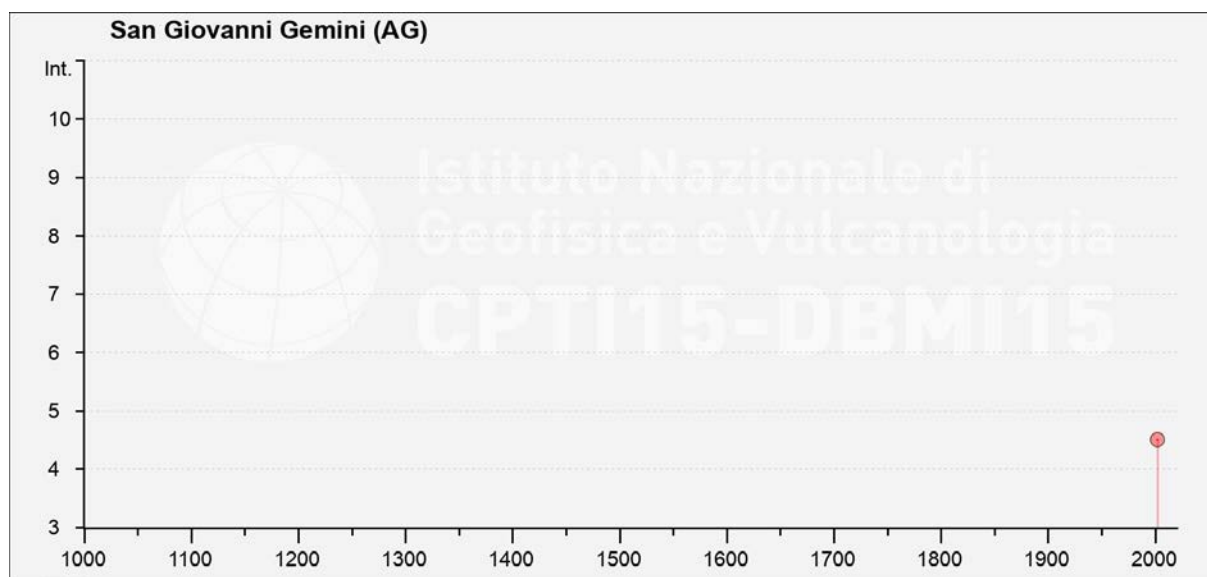
Intensità Macrosismica Riserinita $I_s$	Anno Me Gi H M S	Area Epicentrale	Località in cui è disponibile il dato macrosimico NMDP	Intensità macrosismica dell'epicentro $I_o$	Magnitudo momento dell'evento $M_w$
5-6	1907 4 24 21	Monti Sicani	1924	5-6	4,4
6	1968 1 15 2 1 9	Valle del Belice	2941	10	6,41
NF	1972 12 27 8 15 16	Valle del Belice	3062	5-6	4,34
NF	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	3256	10	6,81
NF	1990 12 13 0 24 25,68	Sicilia sud-orientale	3642		5,61
NF	1994 5 6 19 9 49,28	Sicilia centrale	3739	5	4,36
NF	1995 4 11 12 6 51,62	Sicilia centrale	3758	3-4	4,03
NF	1996 12 14 0 18 42,79	Monti Madonie	3827	5	4,27
4	2002 9 6 1 21 27,25	Tirreno meridionale	4132	6	5,92
NF	2004 5 5 13 39 42,93	Isole Eolie	4234		5,42
NF	2005 11 21 10 57 40,23	Sicilia centrale	4284		4,56



\* Dati provenienti dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI15 versione 3.0) utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT115 (versione 3.0). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3> (Locati, Rovida et al., 2021)

5.4.1. Massime intensità macrosismiche osservate a San Giovanni Gemini

Intensità Macrosismica Risentita <b>Is</b>	Anno Me Gi H M S						Area Epicentrale	Località in cui è disponibile il dato macrosismico <b>NMDP</b>	Intensità macrosismica dell'epicentro <b>Io</b>	Magnitudo momento dell'evento <b>Mw</b>
	1977	6	5	13	59					
NF	1977	6	5	13	59		Monti Nebrodi	3171	6-7	4,61
2-3	1994	5	6	19	9	49,28	Sicilia centrale	3739	5	4,36
NF	1995	4	11	12	6	51,62	Sicilia centrale	3758	3-4	4,03
2-3	1996	12	14	0	18	42,79	Monti Madonie	3827	5	4,27
4-5	2002	9	6	1	21	27,25	Tirreno meridionale	4132	6	5,92
NF	2004	5	5	13	39	42,93	Isole Eolie	4234		5,42
NF	2005	11	21	10	57	40,23	Sicilia centrale	4284		4,56



\* Dati provenienti dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI15 versione 3.0) utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT115 (versione 3.0). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3> (Locati, Rovida et al., 2021)



#### 5.4.2. Sorgenti sismogenetiche

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.2.1) del “Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 e negli anni successivi con versioni sempre più complete e aggiornate fino alla versione attuale pubblicata nel 2018.

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti.

La nuova versione del Database contiene 127 sorgenti sismogenetiche individuali, 188 sorgenti sismogenetiche composite, 35 sorgenti sismogenetiche discusse e tre zone di subduzione. Tutte le fonti si basano su dati geologico / geofisici e coprono l'intero territorio italiano e porzioni di paesi e mari adiacenti.

Dall'esame del Database (Figura 52) si osserva che il sito di progetto non risulta collocato in prossimità di significative sorgenti sismogenetiche e sostanzialmente ha risentito solo marginalmente di eventi sismici originati lungo sorgenti distanti, e riferibili, nella maggior parte dei casi alle strutture sismogenetiche ITCS006 “Sciacca - Gela” e ITCS029 “Gela - Catania”.

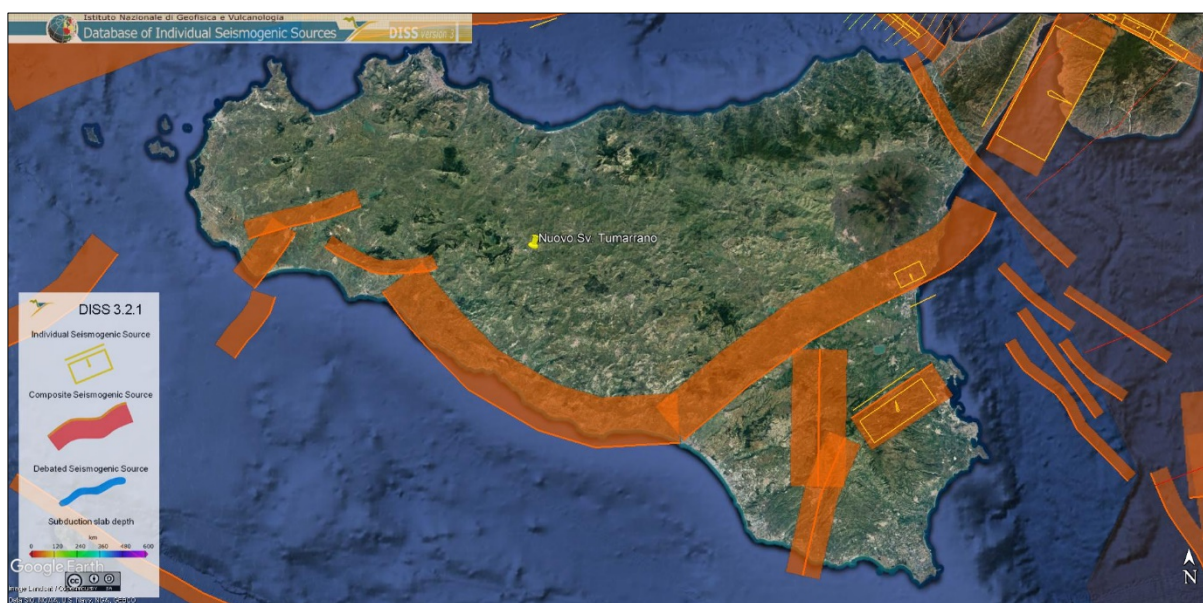


Fig. 52 – Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1” per l’area in oggetto. (DISS Working Group-2018)

Inoltre è stato consultato il catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano; la conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci), assume un ruolo chiave per la



mitigazione del rischio. L'analisi delle mappe del catalogo ITHACA non ha evidenziato la presenza di faglie attive e capaci che intersecano l'area di progetto o ricadono nelle vicinanze di essa.



Fig. 53 – Catalogo delle faglie Capaci ITHACA - A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019.

### 5.5. Azione sismica locale e spettro di risposta elastico

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata effettuata utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2018. In tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_s > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato dalle NTC/2018. Più precisamente la pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in tale sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Il suddetto lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento"  $V_R$ , mentre la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"  $PV_R$ . Il periodo di riferimento  $V_R$  è dato per ciascun tipo di costruzione dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

$V_N$  = vita nominale della costruzione

$C_U$  = coefficiente d'uso dipendente dalla classe d'uso dell'opera

In particolare la vita nominale di una costruzione  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, mantenga specifici livelli prestazionali. Il coefficiente d'uso  $C_U$  esprime la Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

TIPI DI COSTRUZIONI		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

Tab. 6 – Tabella: Parametri per il calcolo della vita nominale da NTC2018

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	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.
Classe III:	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.
Classe IV:	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.

**Tab. 7 – Tabella: Classe d'uso da NTC2018**

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

**Tab. 8 – Tabella: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  da NTC2018**

Sulla base di quanto indicato nella normativa, si assume  $V_N \geq 50$  anni (Costruzioni con livelli di prestazione ordinari) e una classe d'uso IV a cui corrisponde un valore di  $C_U$  pari a 2 e quindi si ottiene il seguente periodo di riferimento:

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

In particolare nella classe d'uso IV sono comprese "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."

Per quanto riguarda le probabilità  $PV_R$  di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  esse variano al variare dello stato limite considerato. In particolare i valori cui riferirsi per individuare l'azione sismica sono riportati nella tabella sottostante.

STATO LIMITE		PV <sub>R</sub> - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati Limite di Esercizio	<b>SLO</b>	81%
	<b>SLD</b>	63%
Stati Limite Ultimi	<b>SLV</b>	10%
	<b>SLC</b>	5%

Dove:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

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

Gli stati limite ultimi sono:

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

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Fissato il periodo di riferimento  $V_R$  e la probabilità di superamento  $PV_R$  il periodo di ritorno  $T_R$  si ricava mediante l'espressione

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - PV_R)}$$

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $PV_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri  $a_g$ ,  $F_0$ , e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascun SL, che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione  $S_e(T)$  dai quali viene poi ricavato lo spettro di progetto  $S_d(T)$  sono stati ricavati con il programma "Spettri-NTC.ver.1.03" realizzato dal Ministero delle Infrastrutture - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. I suddetti parametri e i grafici degli spettri di

risposta elastici di riferimento relativi ai diversi stati limite sono stati calcolati per i siti oggetto dell'intervento e visualizzati nelle schede di seguito riportate.

### 5.5.1. Settore Rotatoria n°1 e Rampe 1-3 e 5

Classificazione OPCM 3519/2006 = **Zona 2**; Categoria di sottosuolo= **C**; Categoria topografica= **T1**. (NTC 2018)

SITO DI PROGETTO:	LATITUDINE	LONGITUDINE
Settore rotatoria n° 1 e Rampe n° 1 – 3 e 5	37, 622023°	13, 685863°

Tenendo conto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  ricavato dalla seguente espressione per terreni di categoria C:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \times F_0 \times a_g / g \leq 1,50 \text{ (Tab.3.2 IV D.M. 17/01/2018)}$$

e delle condizioni topografiche presenti nel sito  $S_T = 1$ , per categoria T1 (vedi Tab.3.2 V D.M. 17/01/2018)

si ha:

STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc [s]	Ss	Cc	ST
SLO	60	0,037	2,478	0,267	1,500	1,624	1,000
SLD	101	0,046	2,451	0,297	1,500	1,568	1,000
SLV	949	0,09	2,635	0,415	1,500	1,403	1,000
SLC	1950	0,107	2,739	0,435	1,500	1,382	1,000

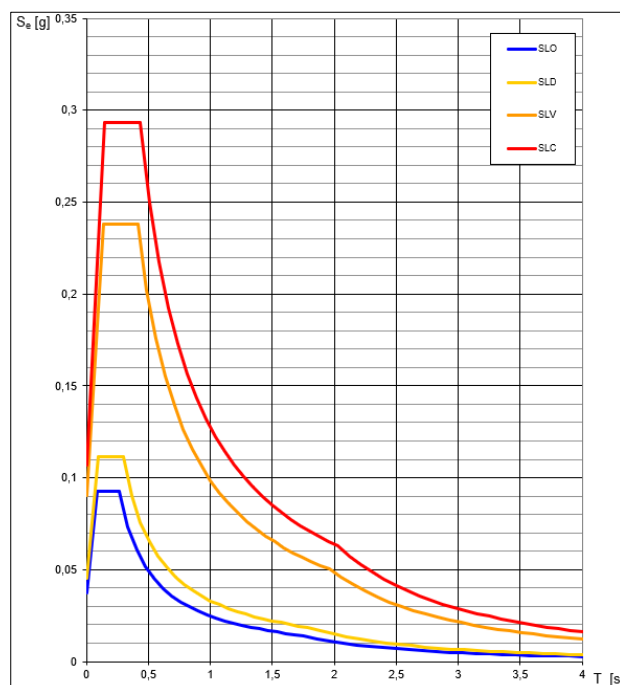


Fig. 54 – Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite

**Criteria di progettazione**

Il progetto è condotto in ottemperanza alla normativa nazionale di più recente emanazione (D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"). In particolare i parametri relativi alle azioni sismiche di progetto sono i seguenti:

Vita nominale della costruzione  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso  $C_u = IV$

Periodo di riferimento  $V_R = 100$  anni

Categoria sottosuolo **tipo C**

Categoria topografica **T1**

**RTI di  
progettazione:**

**Mandataria**



**tce** S.R.L.  
technical consultant engineers

SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA - PROGETTAZIONI  
Computer Aided Design - Drafting  
Sviluppo soluzioni software - hardware - dedicato

**Mandanti**



ING.ANDREA  
MILANO



5.5.2. Settore Rampa n°4 "viadotto sulla S.S. 189"

Area in destra idraulica F. Platani (Spalla n° 1 e Pila n°1)

Classificazione OPCM 3519/2006 = **Zona 2**; Categoria di sottosuolo= **C**; Categoria topografica= **T1**.  
(NTC 2018)

SITO DI PROGETTO:	LATITUDINE	LONGITUDINE
Rampa n°4 "viadotto sulla S.S. 189"	37, 621876°	13, 686330°

Tenendo conto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  ricavato dalla seguente espressione per terreni di categoria C:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \times F_0 \times a_g / g \leq 1,50 \text{ (Tab.3.2 IV D.M. 17/01/2018)}$$

e delle condizioni topografiche presenti nel sito  $S_T = 1$ , per categoria T1 (vedi Tab.3.2 V D.M. 17/01/2018) si ha:

STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> [s]	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>	S <sub>T</sub>
SLO	60	0,037	2,478	0,267	1,500	1,624	1,000
SLD	101	0,046	2,451	0,297	1,500	1,568	1,000
SLV	949	0,09	2,635	0,415	1,500	1,403	1,000
SLC	1950	0,107	2,740	0,435	1,500	1,382	1,000

Area in sinistra idraulica F. Platani (pila n° 2,3 e Spalla n° 2)

Classificazione OPCM 3519/2006 = **Zona 2**; Categoria di sottosuolo= **B**; Categoria topografica= **T1**.  
(NTC 2018)

SITO DI PROGETTO:	LATITUDINE	LONGITUDINE
Rampa n°4 "viadotto sulla S.S. 189"	37, 621590°	13, 689110°

Tenendo conto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  ricavato dalla seguente espressione per terreni di categoria B:

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \times F_0 \times a_g / g \leq 1,20 \text{ (Tab.3.2 IV D.M. 17/01/2018)}$$

e delle condizioni topografiche presenti nel sito  $S_T = 1$ , per categoria T1 (vedi Tab.3.2 V D.M. 17/01/2018) si ha:

STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> [s]	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>	S <sub>T</sub>
SLO	60	0,037	2,478	0,267	1,200	1,433	1,000
SLD	101	0,045	2,451	0,297	1,200	1,402	1,000
SLV	949	0,09	2,636	0,416	1,200	1,311	1,000
SLC	1950	0,107	2,740	0,435	1,200	1,299	1,000

**Criteri di progettazione**

Il progetto è condotto in ottemperanza alla normativa nazionale di più recente emanazione (D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"). In particolare i parametri relativi alle azioni sismiche di progetto sono i seguenti:

Vita nominale della costruzione  **$V_N = 50$  anni**

Classe d'uso  **$C_u = IV$**

Periodo di riferimento  **$V_R = 100$  anni**

Categoria sottosuolo **tipo C** (area in Dx idraulica F. Platani - Spalla n° 1 e Pila n°1)

Categoria sottosuolo **tipo B** (area in Sx idraulica F. Platani - pila n° 2,3 e Spalla n° 2)

Categoria topografica **T1**

**RTI di  
progettazione:**

**Mandataria**



**Mandanti**



ING.ANDREA  
MILANO

5.5.3. Settore Rotatoria n° 2 - Rampa 6 - Rotatoria n° 3

Classificazione OPCM 3519/2006 = **Zona 2**; Categoria di sottosuolo= **C**; Categoria topografica= **T1**.  
(NTC 2018)

SITO DI PROGETTO:	LATITUDINE	LONGITUDINE
Settore Rotatoria n° 2 - Rampa 6 - Rotatoria n° 3	37, 623556°	13, 690999°

Tenendo conto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  ricavato dalla seguente espressione per terreni di categoria C:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \times F_0 \times a_g/g \leq 1,50 \text{ (Tab.3.2 IV D.M. 17/01/2018)}$$

e delle condizioni topografiche presenti nel sito  $S_T = 1$ , per categoria T1 (vedi Tab.3.2 V D.M. 17/01/2018) si ha:

STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc [s]	Ss	Cc	ST
SLO	60	0,037	2,478	0,267	1,500	1,624	1,000
SLD	101	0,046	2,451	0,297	1,500	1,568	1,000
SLV	949	0,09	2,635	0,415	1,500	1,403	1,000
SLC	1950	0,107	2,739	0,435	1,500	1,382	1,000

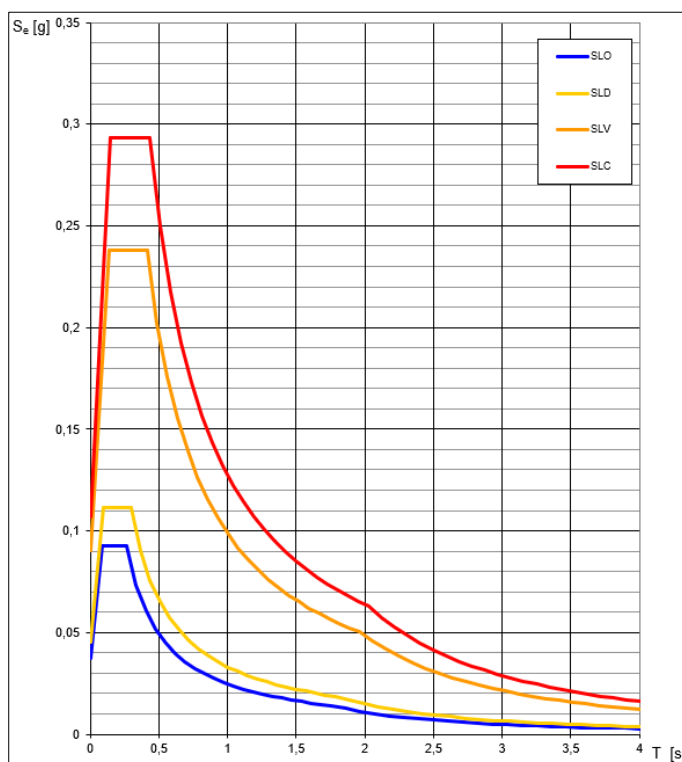


Fig. 55 – Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite

**Criteria di progettazione**

Il progetto è condotto in ottemperanza alla normativa nazionale di più recente emanazione (D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"). In particolare i parametri relativi alle azioni sismiche di progetto sono i seguenti:

Vita nominale della costruzione  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso  $C_u = IV$

Periodo di riferimento  $V_R = 100$  anni

Categoria sottosuolo **tipo C**

Categoria topografica **T1**

**RTI di  
progettazione:**

**Mandatara**



**Mandanti**



ING.ANDREA  
MILANO

## 5.6. Risposta sismica e stabilità del sito nei confronti della liquefazione

### 5.6.1. Aspetti generali

I siti di progetto devono essere stabili nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti.

Durante un sisma vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche dall'ipocentro verso la superficie.

Nei depositi naturali la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce.

Per tutta la durata del treno d'onde sismico, ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso e ampiezza. Se le sollecitazioni sono sufficientemente intense e prolungate, possono produrre un numero di cicli tale da far sì che, in un terreno saturo in falda, si generi un incremento di pressione interstiziale tale da uguagliare la pressione litostatica; in tali condizioni si può generare il fenomeno della liquefazione, cioè della perdita pressoché totale di resistenza al taglio da parte del terreno.

Maggiore è la durata di un terremoto, e quindi del numero di cicli applicati al terreno, più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per raggiungere tale condizione.

I depositi con più alto potenziale di liquefazione sono generalmente costituiti da terreni granulari fini, sciolti o poco addensati, in condizioni sature, di solito appartenenti a depositi sedimentari molto recenti di ambiente fluviale, deltaico, o marino; nei depositi più antichi si sviluppano infatti nel corso del tempo legami intergranulari e cementazioni che rendono la struttura del terreno più stabile.

Altri caratteri diagnostici importanti per la liquefacibilità di un terreno sono il coefficiente di uniformità e la percentuale di argilla e ghiaia; è generalmente accettato che depositi naturali con percentuali di ghiaia maggiori del 50 % e percentuali di argilla maggiori del 20% non siano suscettibili di liquefazione.

L'annullamento pressoché totale della resistenza al taglio, significa che il terreno assume un comportamento meccanico simile ad un fluido viscoso; se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb, si ha:

$$t = c + (Pt - U) \operatorname{tg}\phi$$

$c$  = coesione del terreno

$Pt$  = pressione litostatica totale

$U$  = pressione interstiziale

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

È evidente che la grandezza  $t$  si può annullare solo nel caso in cui si verificano le due condizioni:

$$a) c = 0$$

$$b) (Pt - U) = 0.$$

Queste due condizioni si possono verificare simultaneamente solo nei terreni granulari, mentre in quelli coesivi il parametro  $c$  rimane sempre superiore a zero, il che spiega perché nei terreni con una significativa frazione argillosa o limosa plastica la liquefazione non possa aver luogo.

### 5.6.1. Verifica ai sensi NTC 2018

La verifica alla liquefazione può essere omessa ai sensi delle Circolari NTC 2018 al punto 7.11.3.4.2, quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
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  $(N1)_{60} > 30$  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 alle zone indicate nella Fig. 46 a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 46 b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

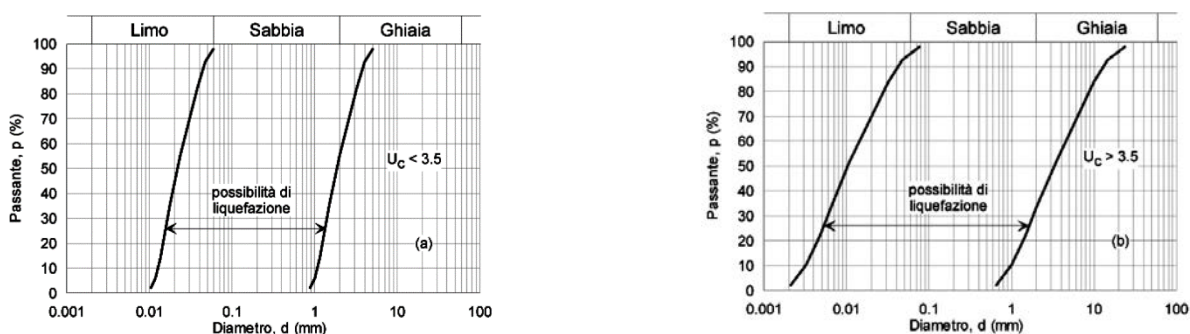


Fig. 56 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione, (a) con  $U_c < 3,5$  e (b)  $U_c > 3,5$



Nel caso in esame la verifica alla liquefazione può omettersi, poiché si presenta la condizione prescritta al punto 4 della circolare NTC 2018, ossia la distribuzione granulometrica dei campioni prelevati è esterna ai fusi indicati nella Fig. 55°, come si evince dalla figura sottostante.

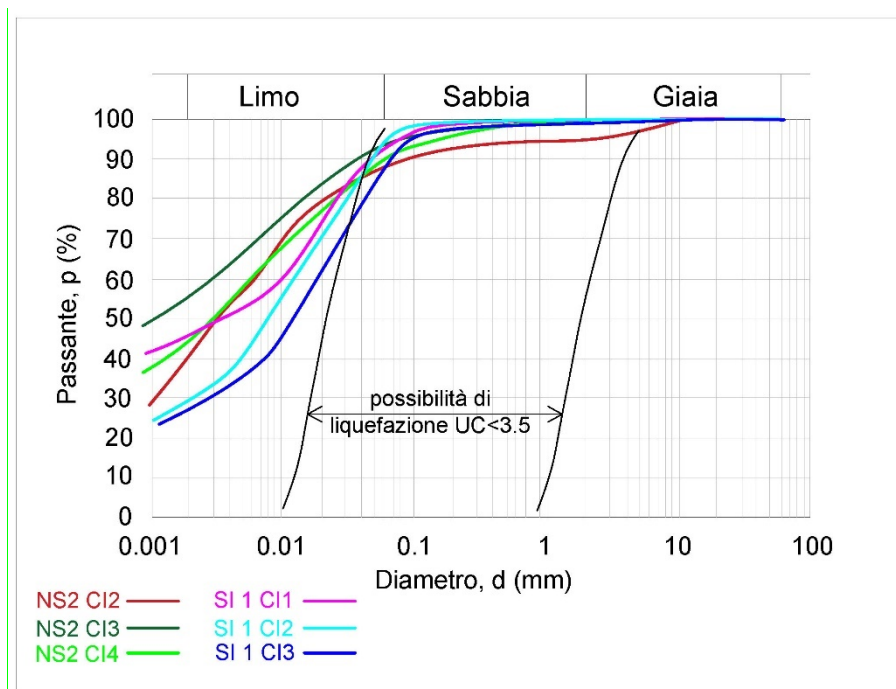


Fig. 57 – Analisi granulometriche e fusi limite per verifica a liquefazione

Per la costruzione delle curve sono stati utilizzati i dati provenienti da sei campioni a differente quota prelevati nei sondaggi NS2 e SI1 poiché sono i livelli più liquefacibili a comportamento granulare seppur con presenza di coesione. Inoltre ricadono nella vallata alluvionale ove la falda è pressoché affiorante (altro elemento distintivo) e prossimi alle opere più significative (Viadotto su Fiume Platani).

Da quanto sopra esposto, si può affermare che nell'areale non vi sono **terreni aventi caratteristiche tali da innescare fenomeni di liquefazione** in presenza di evento sismico.

## 6. Bibliografia

Reg. Siciliana - ass. Territorio e Ambiente (2006) -*Bacino idrografico del fiume Platani(063)*. D.P.R. 25/01/2006, G.U. Regione Siciliana n. 14 del 17.03.2006 e successivi aggiornamenti.

Amato A., Selvaggi G., *Catalogo della sismicità italiana 1981-2002 CSI 1.1 – Progetto GNDT “terremoti probabili in Italia tra l’anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico”*. <http://csi.rm.ingv.it/>;

Azzaro R., Barbano M.S., Rigano R. & Antichi B., 2000. *Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia*. In: *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99)*. F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez (Eds.). CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa Terremoti, Roma, 31-38.  
Baldacci I., 1886. *Descrizione geologica dell’Isola di Sicilia*. Mem. Descr. della Carta Geol. d’It., 1 vol. 408 pp.

Boschi E., Pantosti D., Valensise G., 1995. *L’integrazione di dati storici e geologici per la previsione a lungo termine dei terremoti: un nuovo contributo alla valutazione della pericolosità sismica in Italia*. Cinquanta anni di attività didattica e scientifica del Prof. Felice Ippolito, Liguori Editore, 49-61.

CPTI Working Group, 2004. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*, INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>.

CPTI Working Group, 2011. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11)*, INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11>.

CPTI Working Group, 2015. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15)*, INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., P., Antonucci A. 2021. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>

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., Antonucci A. (2021). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>

DISS Working Group (2018). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas.* <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2018 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.Var

ITHACA Working Group (2019). *ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019.* ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>

Gruppo di Lavoro MPS, 2004. *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione civile, INGV, Milano-Roma, Aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici;*

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., 2007. CFTI04MED, *Catalogo dei forti terremoti in Italia e nell'area mediterranea.* INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>  
Monaco, C., Tortorici, L., 2000. Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *Journal of Geodynamics* 29, 407–424.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. 2011. *CPTI11, versione 2011 del Catalogo parametrico dei terremoti italiani;*

Abate B. & Incandela A. (1998) - *Significato sedimentologico e paleoambientale dal "Mischio" nella Sicilia occidentale.* Atti del 79° Congresso Nazionale della Soc. Geol. It. Palermo 21-23 settembre 1998. Palermo.

Agate M., D'Argenio A., Di Maio D., Lo Iacono C., Lucido M., Mancuso M. & Scannavino M. (1998) - *La dinamica sedimentaria dell'offshore della Sicilia nord-occidentale durante il tardo quaternario.* In: Catalano R. & Lo Cicero G. (eds.), *La Sicilia occidentale. Guida alle escursioni del 79° congresso nazionale della società geologica italiana*, 1: 157-167.

Agate M. & Lucido M. (1995) - *Caratteri morfologici e sismostratigrafici della piattaforma continentale della Sicilia nord-occidentale.* *Naturalista sicil.*, 19 (1-2): 3-25.

Agnesi V., Macaluso T., Monteleone S. & Pipitone G. (1984) - *Fenomeni di deformazione gravitativa profonda nella Sicilia occidentale.* *Boll. Soc. Geol. It.*, 103: 671-679.

Basilone L. (2000) – *Stratigrafia fisica e facies dei depositi carbonatici mesozoici di piattaforma- Bacino della Sicilia nord-occidentale*. Tesi di dottorato, 227 pp., università di Napoli e Palermo.

Catalano R., Franchino A., Merlini S. & Sulli A. (1998 b) – *Geologia della Sicilia occidentale*. In Catalano R. & Lo Cicero G. (eds): guida alle escursioni del 79° congr. Soc. Geol. It., 1: 143- 155.

Cusimano G. & Liguori v. (1980) – *Sintesi idrogeologica della Sicilia occidentale (Italia)*. 26eme Congrès Geologique International, Paris, 7-17 juillet 1980, vol. Iii, resumès, section 15, hydro- geologie, p. 1127.

Giunta G. & Liguori V. (1972) - *Geologia della estremità nord-occidentale della Sicilia*. Riv. Min. Sic., 136-138: 165-226.

Giunta g. & Liguori V. (1973) – *Evoluzione paleotettonica della Sicilia nord-occidentale*. Boll. Soc. Geol. It., 92: 903-924.

Ruggieri G. & Sprovieri R. (1970) - *Marne di S. Cipirrello*. Studi illustr. Della carta geologica d'Italia. Formazioni geologiche, fasc. 4, p. 12.

Baldacci I., 1886. *Descrizione geologica dell'Isola di Sicilia*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It., 1 vol. 408 pp.