

ITINERARIO

TRAPANI - MAZARA DEL VALLO

VARIANTE ALLA S.S.115 "SUD OCCIDENTALE SICULA"
 DALLO SVINCOLO "BIRGI" SULLA A29/DIR AL COLLEGAMENTO ALLA S.S. 115 AL KM 48+000
 1° STRALCIO FUNZIONALE MARSALA SUD - MAZARA DEL VALLO

PROGETTO DEFINITIVO

COD. PA757

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
 DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine ing. di Frosinone n. 1063

GEOLOGO:

Dott. Flavio Capozucca
Ordine geologi del Lazio n. 1599

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Arch. Roberto Roggi

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Luigi Mupo

GEOTECNICA

Relazione sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

D **P** **P** **A** **0** **7** **5** **7** **D** **2** **2**

NOME FILE

P00GE00GETRE02_A

CODICE
ELAB.

P **0** **0** **G** **E** **0** **0** **G** **E** **T** **R** **E** **0** **2**

REVISIONE

A

SCALA:

-

D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Gennaio 2022			Scalamandrè
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DOCUMENTAZIONE E NORMATIVE	3
3	MACROSISMICITÀ DELL'AREA	4
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
5	INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO	10
5.1	FALDA	11
6	CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA	12
6.1	PERICOLOSITÀ SISMICA	12
6.2	AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NORMATIVA	15
6.3	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	16
6.4	ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO	22
7	ANALISI PSEUDOSTATICA	23
7.1	STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI	23
8	VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	24

1 PREMESSA

La Relazione Sismica in oggetto è parte integrante del Progetto Definitivo riguardante il tratto conclusivo del progetto della variante alla SS.115 "Sud Occidentale Sicula" nel tratto Trapani - Mazara del Vallo, compreso tra lo svincolo "Birgi" sulla A29/dir e il collegamento alla SS.115 al Km 48+000 (1° stralcio funzionale Marsala Sud - Mazara del Vallo), ovvero quello che si sviluppa dal futuro Svincolo di Marsala Sud (con annesso raccordo con lo Scorrimento Veloce - VL01), fino a Mazara del Vallo.

Nella presente sono state individuate le caratteristiche sismiche del territorio e definite tutte le informazioni utili per la Progettazione sismica delle opere.

2 DOCUMENTAZIONE E NORMATIVE

2.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- [1] Relazione Geologica;
- [2] Relazione Geotecnica;
- [3] Monografie sondaggi e prove SPT in foro (2003);
- [4] Certificati di laboratorio, indagini sismiche e georadar (2003);
- [5] Documentazione indagini geognostiche e prove di laboratorio (2012);
- [6] Planimetria ubicazione indagini geognostiche;
- [7] Carta geologica;
- [8] Profilo geologico;
- [9] Profilo geotecnico;
- [10] Planimetria sismica.

2.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- [11] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018
- [12] Decreto Ministero Infrastrutture 14/01/2008 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni".
- [13] Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti 02/02/2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008".

3 MACROSISMICITÀ DELL'AREA

L'assetto strutturale della Sicilia occidentale, così come quello dell'intera isola (Figura 3-1), è il risultato di una complessa evoluzione geodinamica legata alla convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica.

La catena di sovrascorrimenti che caratterizza la Sicilia (fold-and-thrust belt), Sud-vergente, si è sviluppata a partire dall'inizio del Miocene all'interno della struttura convergente (circa N-S) della placca Africa-Europa. Il fronte più esterno e più recente del sovrascorrimento Maghrebide forma un ampio arco convesso verso sud, percorrendo per gran parte della sua lunghezza la costa meridionale della Sicilia off-shore. Sull'isola affiora solamente nella porzione più orientale tra Gela e Catania. Nel settore continentale la recente attività del fronte del sovrascorrimento è testimoniata dalla deformazione dei depositi di Plio-quaternari di avanfossa, e a sud dell'Etna, dei depositi marini e fluviali dal tardo Pleistocene all'Olocene.

Alla presenza di questi sovrascorrimenti, Sud-vergenti, è associata gran parte della storia sismica che ha interessato la Sicilia, e quindi il settore in esame, come rappresentato nelle Figura 3-2 ed Figura 3-3, che mostrano la distribuzione dei terremoti connessi ai piani di sovrascorrimento immergenti verso Nord.

L'area del Belice, così come la Piana compresa tra Marsala e Mazara del Vallo, è localizzata nel settore della catena a thrust siciliana nota come Catena Sicana (Figura 3-4). In quest'area l'attività tettonica compressiva ha interagito con quella trascorrente legata al proseguimento in terra della linea di trascorrenza N-S. Due lineamenti tettonici, la faglia del Belice e quella di Sciacca, che sono connesse con le strutture distensive del Canale di Sicilia, sono stati attivi nel tardo Pleistocene con cinematica traspressiva (Rigano et al., 2004).

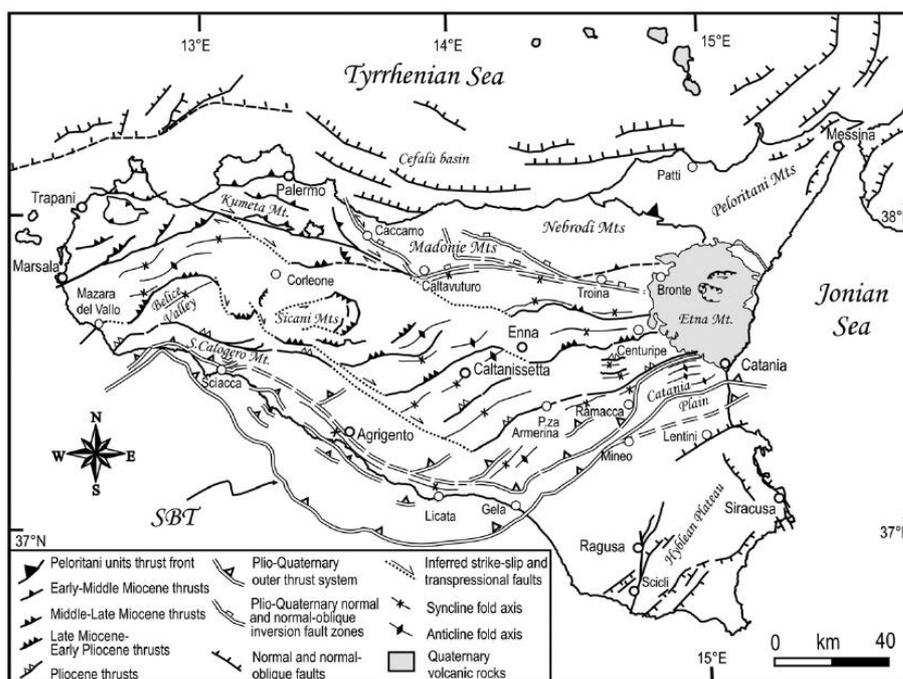


Figura 3-1 - Mappa strutturale della Sicilia. I diversi elementi tettonici sono stati per lo più ripresi dal Modello Strutturale dell'Italia, in scala 1:500.000 (Bigi et al., 1991), integrati ed implementati dalle informazioni derivanti da mappe locali più dettagliate (da Lavecchia et al., 2007).

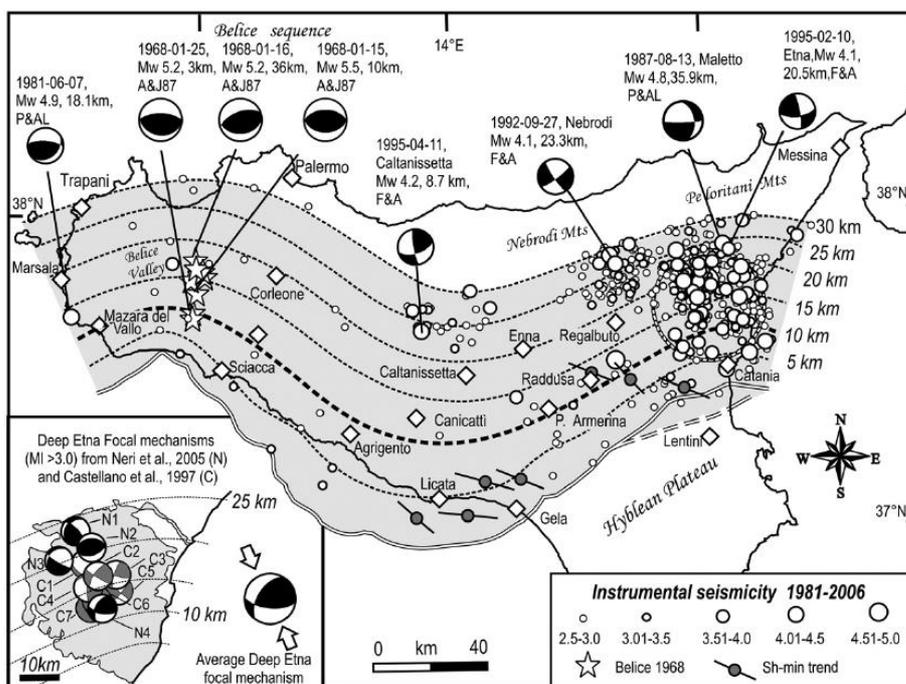


Figura 3-2 - Terremoti strumentali con $M_I > 2.5$, avvenuti tra il 1981 ed il 2006 nell'area in grigio al di sopra delle isolinee rappresentanti profondità comprese tra gli 0 ed i 30 km (da Lavecchia et al., 2007).

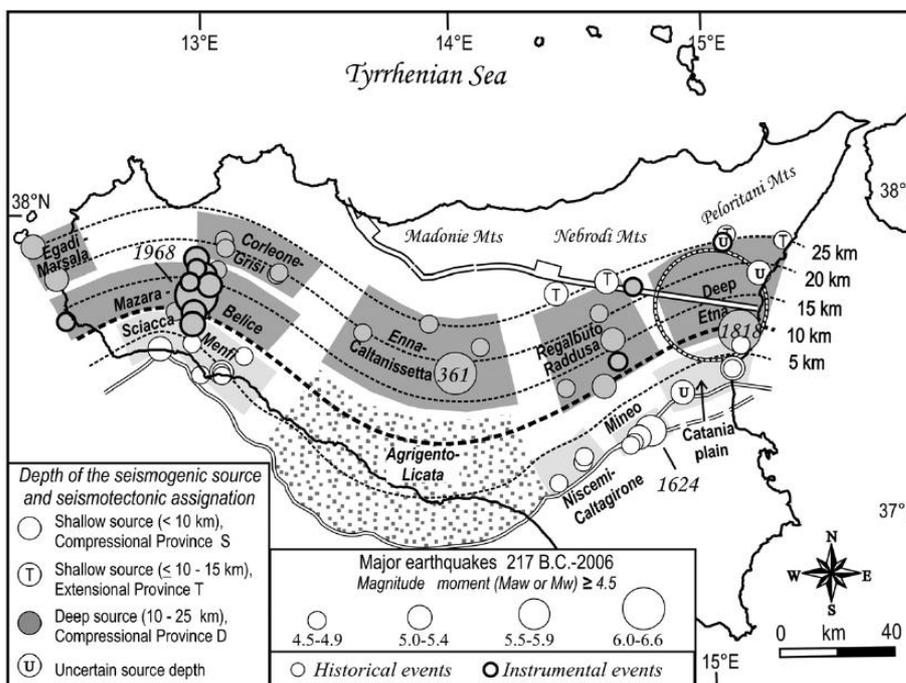


Figura 3-3 – Distribuzione epicentrale degli eventi sismici, suddivisi in funzione della profondità della sorgente (superficiale o profonda) e del meccanismo focale (compressivo o estensionale). Le aree in grigio scuro e in grigio chiaro, lungo le isobate, distinguono le zone sismiche situate sopra la crosta superficiale e la crosta inferiore. L'area puntinata corrisponde alla zona sismica Agrigento - Licata (da Lavecchia et al., 2007).

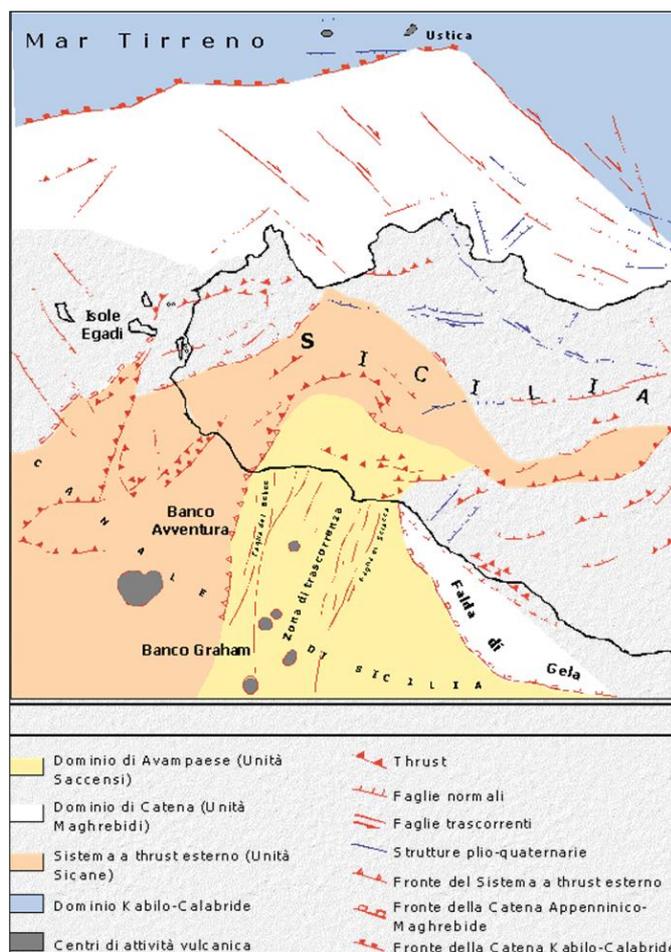


Figura 3-4 – Schema strutturale della Sicilia occidentale (da Rigano et al., 2004).

Queste considerazioni di carattere geodinamico generale, hanno consentito di definire il quadro delle sorgenti sismogenetiche che caratterizzano l'intera isola. Come avviene per l'intero territorio nazionale, esse sono contenute nel database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources - Vers. 3.1.1) redatto dall'INGV e consultabile sul suo sito istituzionale (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>). In questo database, vengono distinte le sorgenti sismogenetiche "individuali" da quelle "composite" (Individual and Composite sismogenic sources). In particolare, una sorgente sismogenetica "composita" è una struttura, desunta sulla base di considerazioni di carattere regionale e dati geologici di sottosuolo, che abbraccia un numero imprecisato di sorgenti individuali. Queste sorgenti non vengono considerate come capaci di un terremoto di

specifica magnitudo, mentre le caratteristiche strutturali sono in genere documentate da attività dal Pleistocene superiore all'Attuale.

La *Figura 3-5* *Figura 3-5 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche (in arancione) dell'area di studio (fonte: DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Vers. 3.1.1)*, rappresenta uno stralcio della Mappa di queste Zone Sismogenetiche, relativa alla zona di indagine (viene riportato il tracciato in progetto). In essa, infatti, sono rappresentate le principali sorgenti sismogenetiche capaci di generare terremoti nell'area tra Marsala e Mazara, e rappresentate dalle linee e dalle aree in arancione. Nella figura si distinguono tre diverse sorgenti di tipo "composito", elencate dalla più settentrionale alla più meridionale:

- ITCS014 del Tirreno Meridionale, con direzione E-W dal Canale di Sicilia alle Isole Eolie, circa 50 km a nord delle coste siciliane, responsabile, negli ultimi 30 anni, di molti eventi con $M > 5$, tra cui il Terremoto di Palermo del 2002 (M_w 5.9). Massima Magnitudo attesa 6.2;
- ITCS021 Marsala-Belice, che, nel suo settore più occidentale, attraversa il territorio della Piana di Marsala-Mazara, responsabile anche del terremoto di Mazara del 1981. Massima magnitudo attesa 5.6;
- ITCS006 Castelvetro-Gela, che rappresenta l'affioramento del sistema di sovrascorrimenti della catena Appennino-Maghrebide lungo la costa meridionale della Sicilia. Massima Magnitudo attesa 5.5.

Trattandosi di una sorgente sismogenetica ricadente sul territorio in esame, si ritiene in questa sede opportuno soffermarsi sulle caratteristiche della ITCS021 Marsala-Belice. Tale sorgente "composita" appartiene al sistema di sovrascorrimento Appennino-Maghrebide più occidentale della Sicilia. Si ritiene che la sorgente ITCS021 si estenda come un sovrascorrimento in direzione E-W, localizzato nell'entroterra del fronte esterno del sovrascorrimento Maghrebide.

I cataloghi storici e strumentali mostrano fenomeni sismici dispersi e a bassa magnitudo nella Sicilia occidentale. L'unico terremoto distruttivo è occorso nel settore più orientale di questa sorgente "composita", nella Valle del Belice, durante la sequenza sismica del 1968, con il mainshock del 15 gennaio 1968 ($M_w = 5.6$). E' quindi presumibile che questo settore del sistema di sovrascorrimenti Appennino-Maghrebide sia caratterizzato da infrequenti terremoti di moderata intensità, generati da segmenti sepolti del sistema stesso.

La direzione di questa sorgente "composita" è stato dedotto dall'orientazione complessiva delle strutture tettoniche mappate ($N 250^\circ - 290^\circ$). L'immersione è stata dedotta da considerazioni di geologia regionale, concernenti il piano di sovrascorrimento ($40^\circ - 60^\circ$). Basandosi su considerazioni geodinamiche generali, si può parlare di un sovrascorrimento avente una componente di movimento laterale destra. Il tasso di scorrimento è stato dedotto da dati geodinamici regionali, ed è stato stimato variabile tra 0,1 e 0,5 mm/anno. La massima magnitudo attesa e associata a tale sorgente è pari a 5.6.

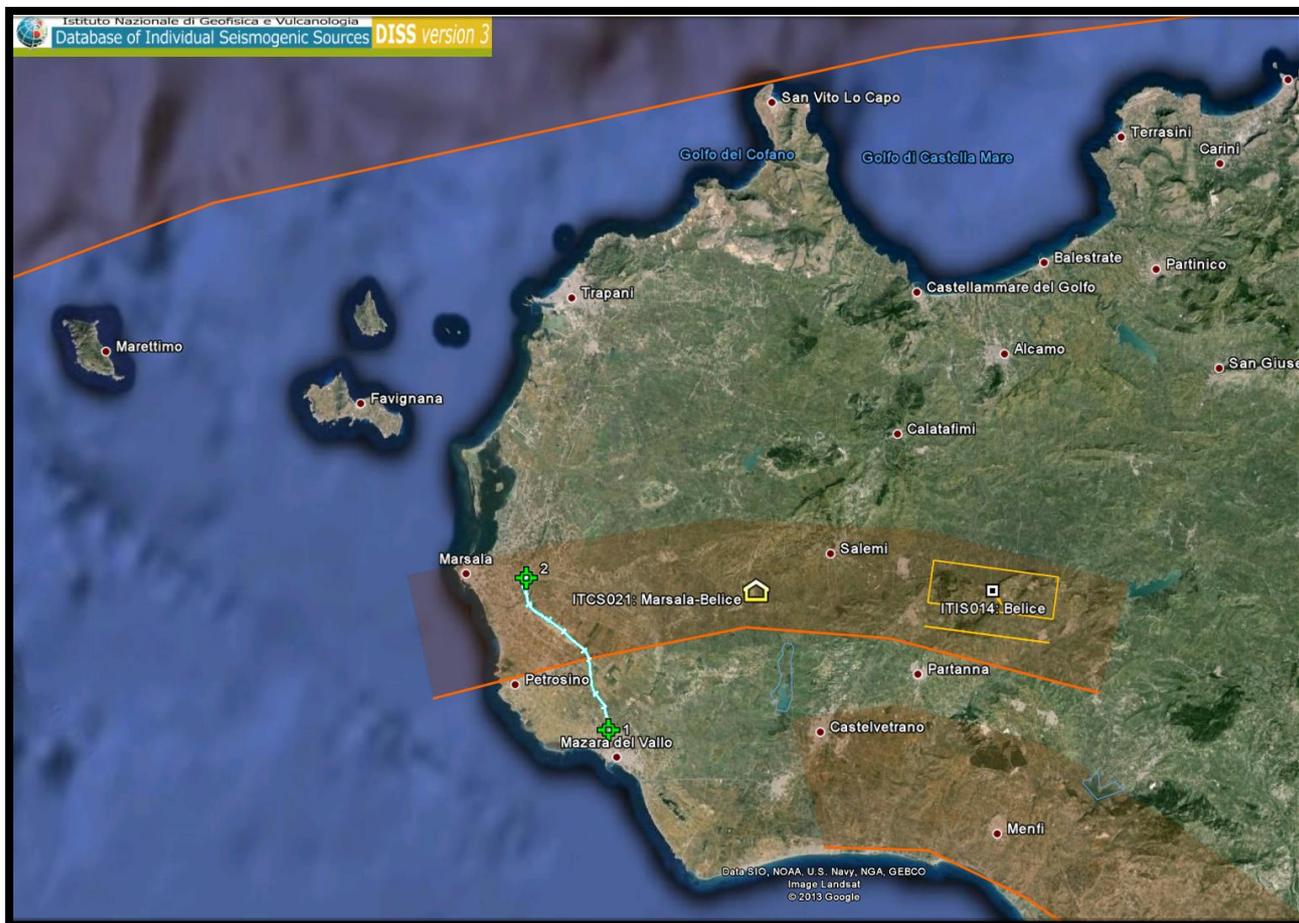


Figura 3-5 – Mappa delle sorgenti sismogenetiche (in arancione) dell'area di studio (fonte: DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Vers. 3.1.1).

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per il dettaglio sulle indagini geognostiche eseguite nelle campagne 2003 e 2012 si rimanda alla Relazione Geotecnica associata al progetto, di seguito un breve riepilogo:

CAMPAGNA INDAGINI 2003

- n. 11 sondaggi geognostici verticali eseguiti a carotaggio continuo, con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- n. 7 sondaggi eseguiti a distruzione di nucleo finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica delle litologie intercettate;
- n. 42 prove penetrometriche SPT;
- n. 20 prelievi di campioni (tra indisturbati e rimaneggiati), sia su terre che litoidi da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- n. 2 piezometri tipo Casagrande (nei sondaggi S20 e S22);
- n. 78 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n. 78 rilievi georadar in 13 diverse aree lungo il tracciato.

CAMPAGNA INDAGINI 2012

- n° 11 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n° 5 sondaggi a distruzione di nucleo;
- 2 prove penetrometrie dinamiche SPT;
- n° 11 prelievi di campioni sia di terre che lapidei;
- n. 5 videoispezioni in foro, nei sondaggi contrassegnati dalla lettera T;
- n. 2 prove dilatometriche in foro (S5 - 12);
- n.1 indagine sismica down-hole (S1 - 12);
- n.2 prove di permeabilità di tipo Lugeon (S4 - 12);
- n.1 prova di permeabilità di tipo Lefranc (S6 - 12).

5 INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO

Di seguito si riporta una breve descrizione dei litotipi presenti nell'area, per una rappresentazione più dettagliata si rimanda alla Relazione Geotecnica del progetto. La successione che segue rispetta quella stratigrafica, dalle formazioni più recenti a quelli più antiche:

- Depositi Alluvionali recenti ed attuali AR - Olocene:
Tale litotipo, rappresenta la formazione che si è depositata più recentemente; si rinviene nel fondo valle dell'area di progetto interessata dal Viadotto "Sossio" con spessori che raggiungono circa i 15 m. Tali terreni si attestano al di sopra delle argille di età Pliocenica. Le alluvioni recenti presentano per la maggior parte una certa omogeneità e, da un punto di vista granulometrico, possono essere classificate come limi sabbioso-argillosi. Nei primi metri di profondità è stato rinvenuto anche il detrito di falda costituito da ciottoli e blocchi calcarenitici in matrice limoso - sabbiosa, ma tenendo conto degli spessori piuttosto modesti si è ritenuto di trascurarlo, comprendendolo all'interno dei depositi alluvionali.
- Sabbie SA - Pleistocene:
La parte iniziale del tracciato è caratterizzata dalla presenza di sabbie da poco a mediamente addensate con elementi biocalcarenitici e livelli debolmente cementati di spessori centimetrici. Il litotipo costituito dalle sabbie, è intercettato nei sondaggi S19, S20 e S21 (realizzati nel 2003) con uno spessore compreso tra i 10m - 12m.
- Calcarenitici compatte CA1 - Pleistocene:
Viene denominata calcarenite compatta (CA1) la parte più compatta, cementata e scarsamente fossilifera della Formazione definita "Calcareniti di Marsala". Si tratta di calcarenite organogena avana a granulometria prevalentemente grossolana, ben cementata e con aspetto litoide. Si riscontra lungo quasi tutto il tracciato sia in affioramento che a profondità maggiori di 10m, quasi sempre intervallata dalla parte meno cementata della stessa Formazione, denominata CA2.
- Calcarenitici debolmente cementate con intercalazioni argilloso - sabbioso CA2 - Pleistocene:
Le calcareniti debolmente cementate, indicate CA2, rappresentano la parte della "Formazione di Marsala" meno compatta che comprende anche intercalazioni argilloso-sabbiose di spessore decimetrico. E' presente lungo quasi tutto il tracciato in successione alla componente della Formazione più compatte. Localmente, verso la fine del tracciato risulta anche affiorante.
- Argille sabbiose AP - Pliocene:
Le argille sabbiose e limose grigio azzurre di età Pliocenica costituiscono il substrato alla formazione delle 'Calcarenitici di Marsala' e si riscontrano generalmente a profondità superiori ai 30m. Sono state intercettate dai sondaggi all'inizio del tracciato (S19, S20 e S21) e nella valle del fiume Sossio (S1_12 e S1_12bis).

5.1 FALDA

Durante la campagna d' indagini geognostiche del 2003, nel periodo autunnale, è stata rilevata la falda nei sondaggi S20 e S22 rispettivamente alle profondità di 6,15 m e 14,5 m da piano campagna. Nel tratto iniziale, infatti, sono presenti le sabbie per uno spessore compreso tra gli 8m e i 10m. Non si dispone di un periodo di monitoraggio significativo per valutare l'eventuale escursione della falda.

Si tratta, comunque, di una falda di base piuttosto estesa che si trova nel complesso calcarenitico e quindi presumibilmente soggetta a modeste oscillazioni stagionali. E' inoltre da considerare che nel tempo, per motivi sia antropici sia climatici, la falda si possa essere attestata a quote leggermente inferiori a quelle misurate nel 2003. Pertanto, allo stato attuale le letture disponibili si possono ritenere sufficientemente attendibili. Anche la misura dell'acqua nei pozzi limitrofi alla zona iniziale (8 ottobre 2019) sembra confermare tali letture.

Naturalmente un discorso a parte riguarda la valle del fiume Sossio; nel sondaggio S1_12 il livello di falda è stato misurato a 3,2m di profondità rispetto al piano campagna. In quel tratto sono presenti alluvioni di spessore di circa 20m.

6 CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

Si intende con tale definizione lo scuotimento sismico atteso in un dato sito, con una certa probabilità di superamento ed in un determinato periodo di tempo, nell'ipotesi di affioramento di una formazione geologica rigida e pianeggiante. L'analisi del livello di pericolosità, pertanto, va distinta in due fasi:

- definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo tipo A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche;
- analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico di base prodotta dalle condizioni topografiche, stratigrafiche e geotecniche del sito.

La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia (Figura 6-1) e, più in dettaglio per la Sicilia, (Figura 6-2), che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018).

Questa mappa riporta la pericolosità sismica di base in termini del valore massimo (o picco) di accelerazione del suolo, considerato rigido e orizzontale (categoria A, Tabella 3.2.III delle NTC18), attesa in seguito a un evento sismico con tempo di ritorno di 475 anni (cioè con probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento). Tale parametro si indica in genere con a_g o PGA (Peak Ground Acceleration) ed è usualmente espresso come frazione dell'accelerazione di gravità.

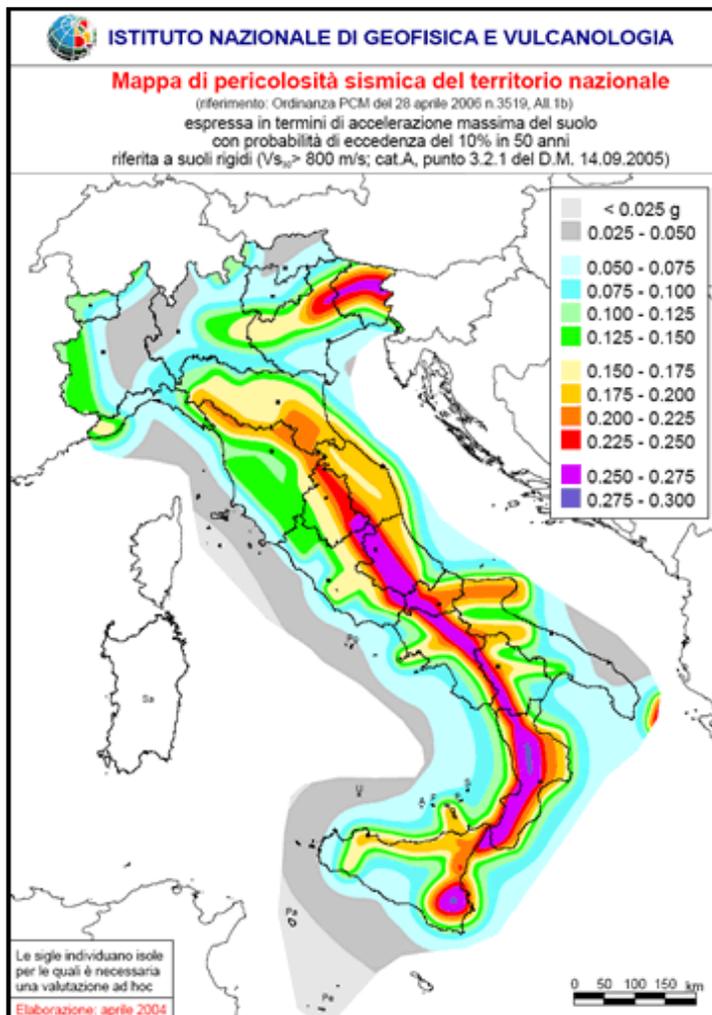


Figura 6-1 - Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale.

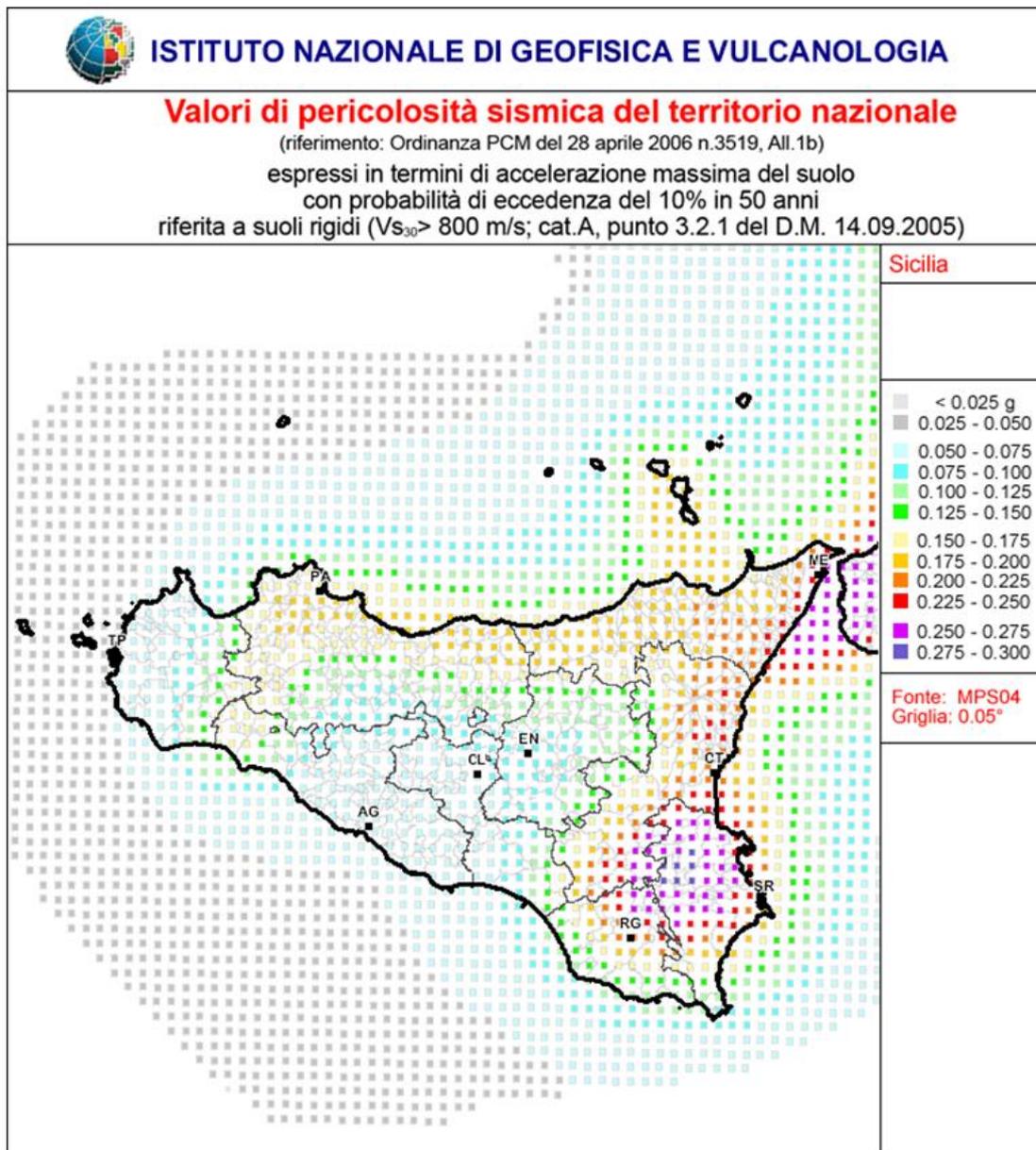


Figura 6-2 - Mappa pericolosità sismica Regione Sicilia

Il D.M. 17 gennaio 2018, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, definisce i valori assunti dal parametro a_g in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi, sufficientemente vicini tra loro (distanza $D < 10$ km), sono riferiti in coordinate geografiche.

6.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NORMATIVA

Le opere in esame, inquadrare ai sensi della normativa italiana vigente nel reticolo di coordinate geografiche di riferimento per il calcolo della pericolosità sismica, ricadono in provincia di Trapani, all'interno dei Comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Petrosino.

Per le principali opere d'arte presenti sul tracciato si assume:

- Vita Nominale pari a $V_N = 50$ anni
- Classe d'Uso IV, coefficiente d'uso $C_u = 2$
- Vita utile di riferimento: $V_R = V_N \cdot C_u = 100$ anni

Gli stati limite da considerare e i tempi di ritorno da associare sono:

- Stato Limite Ultimo: SLC - Stato Limite di Collasso (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 5\%$ nel periodo V_R), $T_R = 1950$ anni;
- Stato Limite Ultimo: SLV - Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ nel periodo V_R), $T_R = 949$ anni;
- Stato Limite Esercizio: SLD - Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 63\%$ nel periodo V_R), $T_R = 101$ anni
- Stato Limite Esercizio: SLO - Stato Limite di Operatività (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 81\%$ nel periodo V_R), $T_R = 60$ anni.

I valori dei parametri sismici di riferimento su suolo rigido orizzontale sono:

- a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo rigido;
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il foglio elettronico "Spettri di risposta - V. 1.0.3" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici consente il calcolo automatico dei parametri sopra descritti. Considerati gli stati limite di riferimento assunti per l'opera in progetto, per i corrispondenti tempi di ritorno indicati al paragrafo precedente, si ottengono i seguenti valori dei parametri spettrali (Tabella 6-1, Tabella 6-2, Tabella 6-3).

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.022	2.488	0.175
SLD	101	0.029	2.440	0.211
SLV	949	0.065	2.556	0.340
SLC	1950	0.080	2.628	0.363

Tabella 6-1: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per suolo rigido per i differenti stati limite ultimo - Comune di Marsala

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.025	2.448	0.194
SLD	101	0.033	2.456	0.218
SLV	949	0.077	2.610	0.334
SLC	1950	0.098	2.639	0.353

Tabella 6-2: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per suolo rigido per i differenti stati limite ultimo - Comune di Mazara del Vallo

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.022	2.485	0.176
SLD	101	0.029	2.446	0.211
SLV	949	0.066	2.580	0.338
SLC	1950	0.083	2.641	0.361

Tabella 6-3: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per suolo rigido per i differenti stati limite ultimo - Comune di Petrosino

6.3 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

L'identificazione della categoria di sottosuolo, in accordo alla normativa di riferimento, è stata effettuata sulla base della determinazione dei valori della velocità equivalente ($V_{S,eq}$) definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Con

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano

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

Il calcolo delle $V_{s,eq}$ è stato condotto utilizzando le indagini sismiche disponibili del 2003 e del 2012.

In corrispondenza del Viadotto Sossio, il valore di $V_{s,eq}$ pari a 304.7 m/s (Tabella 6-4) è stato dedotto dalla prova Down-hole 2012 (Figura 6-3).

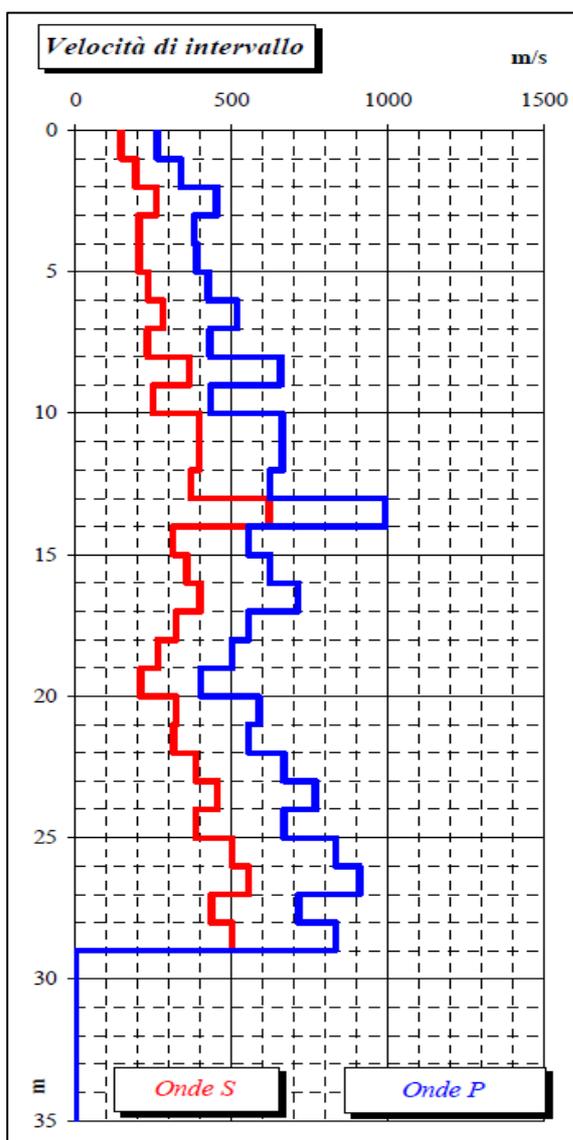


Figura 6-3 - Prova Down-hole in S1_2012.

Sondaggio	$V_{s,eq}$ (m/s)
S1-12-DH	304.7

Tabella 6-4: Velocità onde di taglio Down-Hole 2012

Tale intervallo di velocità permette di collocare i terreni di interesse nell'ambito della categoria di sottosuolo di tipo 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".

Per il resto del tracciato sono state elaborate le prospezioni sismiche disponibili, tali dati sono da intendersi come stima preliminare da approfondire con altre specifiche indagini nella prossima fase progettuale. Le prospezioni sismiche infatti, hanno lunghezza limitata e forniscono informazioni per profondità dal piano campagna di circa 10÷12 m, tuttavia, data la conformazione geologica del sito si è ritenuto verosimile estendere il dato medio in profondità.

Nella tabella e nel grafico seguenti (Tabella 6-5, *Figura 6-4*) si riportano i risultati del calcolo della $V_{s,eq}$ ricavati dalle prospezioni sismiche del 2003 (n°78). I risultati sono ordinati rispetto alla progressiva di tracciato. Nel grafico vengono anche rappresentati i limiti di normativa e le fasce corrispondenti di categoria di sottosuolo.

Come si evince dalla figura, la maggior parte dei risultati colloca il terreno in categoria di sottosuolo "B" ed "A" che rispondono alle seguenti definizioni:

Categoria di Sottosuolo B - "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s";

Categoria di Sottosuolo 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..

Si evidenzia che ai fini del calcolo sismico, a favore di sicurezza, si è deciso di verificare le opere che ricadono nelle aree identificate con categoria di sottosuolo tipo "A", come fossero in categoria "B".

Progressiva [km]	$V_{s,eq}$ [m/s]
950	973
1050	994
1250	986
1377	916
1500	856
1650	727
1800	650

Progressiva [km]	V_{s, eq} [m/s]
2000	697
2200	575
2350	658
2550	492
2750	640
2850	624
2950	580
3000	705
3600	726
4850	920
5150	385
6250	558
6450	688
6700	1024
6850	1065
7000	647
7050	603
7250	523
7800	702
8050	639
8400	662
8550	707
8850	809
9335	699
9535	832
9650	1412
9850	492
10000	571
10200	659
10350	1597
10550	877
10700	861
10800	729

Progressiva [km]	V_{s, eq} [m/s]
10950	877
11050	444
11250	530
11391	633
11560	676
11750	705
11900	709
12100	675
12350	521
12450	479
12550	423
12726	460
12850	968
12900	698
13000	954
13050	585
13100	561
13250	559
13350	893
13450	863
13500	737
13700	498
13925	377
14150	705
14350	689
14450	720
14600	716
14810	740
15050	814
15200	492
15350	410
15450	668
15650	723

Progressiva	V_{s, eq}
[km]	[m/s]
15900	748
16100	752
16250	806
16450	743
16550	712

Tabella 6-5: Velocità equivalente onde di taglio Prospezioni geofisiche 2003

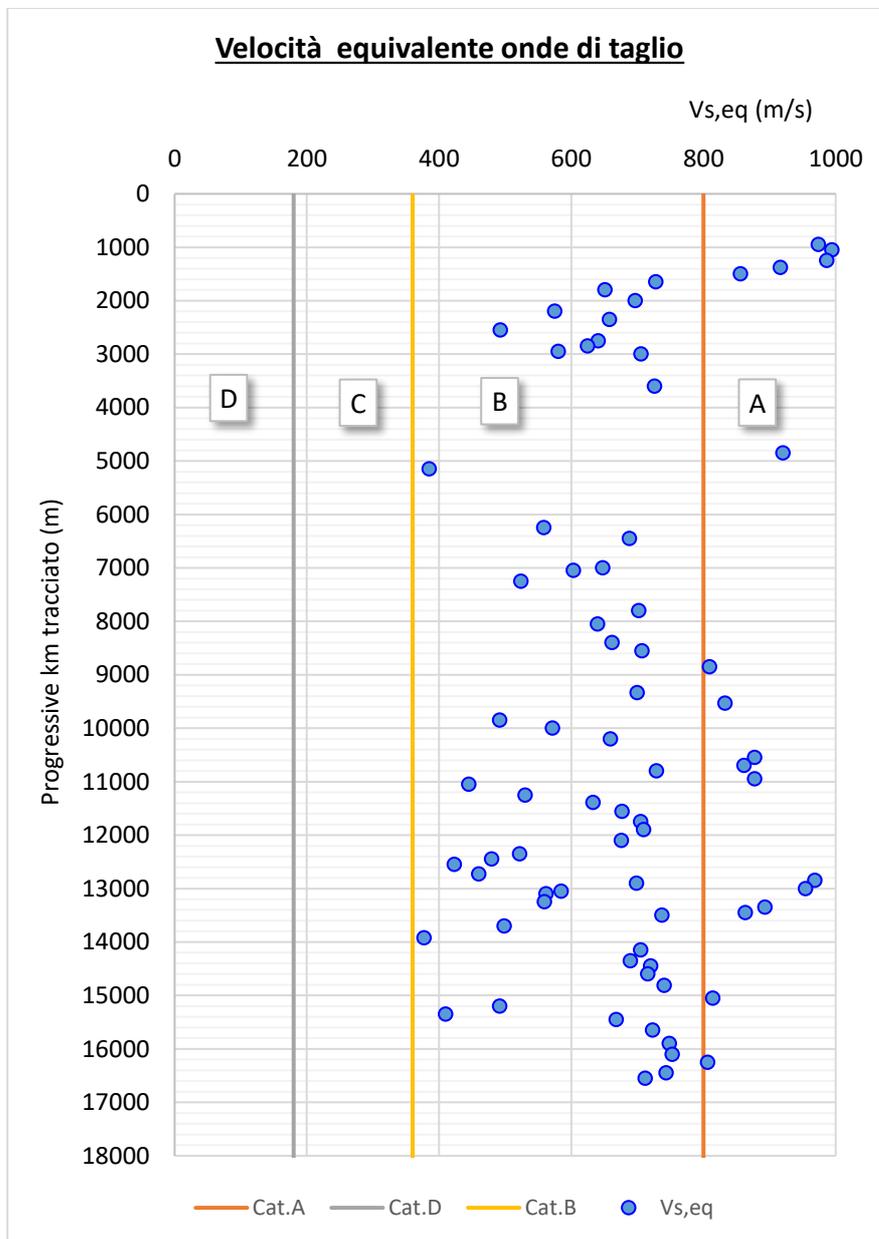


Figura 6-4 – Velocità equivalente onde di taglio Prospezioni geofisiche 2003.

6.4 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} è definita attraverso la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui

- a_g = accelerazione massima su sito rigido (v.Tabella 6-1);
- S_S = coefficiente d'amplificazione stratigrafica (da NTC 2018);
- S_T = coefficiente d'amplificazione topografica. Il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) è assunto pari a 1.0, valore assegnato per siti con categoria topografica T1, caratterizzati da superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ (Tabb. 3.2.III e 3.2.V- NTC 2018).

Per le opere di linea del tracciato si assume, cautelativamente, il valore dell'accelerazione massima a_g del comune di Mazara del Vallo ($a_g = 0.077$), mentre per le opere principali si fa riferimento alle coordinate geografiche.

Per gli Stati Limite di riferimento selezionati si ottiene quanto segue:

Stato Limite	T_R [anni]	S_S [-]	S_T [-]	a_{max} [g]
SLO	60	1.500	1.0	0.038
SLD	101	1.500	1.0	0.049
SLV	949	1.500	1.0	0.115
SLC	1950	1.500	1.0	0.147

Tabella 6-6: Accelerazione massima attesa al sito categoria di sottosuolo C

Stato Limite	T_R [anni]	S_S [-]	S_T [-]	a_{max} [g]
SLO	60	1.200	1.0	0.031
SLD	101	1.200	1.0	0.039
SLV	949	1.200	1.0	0.092
SLC	1950	1.200	1.0	0.117

Tabella 6-7: Accelerazione massima attesa al sito categoria di sottosuolo B

7 ANALISI PSEUDOSTATICA

7.1 STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif [11] **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, l'analisi delle condizioni di stabilità dei rilevati può essere eseguita mediante metodi pseudostatici.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale delle forze pseudostatiche possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W \text{ ed } F_v = k_v \times W,$$

I coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ($\beta_s = 0.38$ SLV; 0.47 SLD).

La verifica di stabilità globale costituisce una verifica di Salvaguardia della Vita (SLV), pertanto i coefficienti sismici riportati nella tabella seguente sono relativi ad un evento con tempo di ritorno pari a 949 anni.

Stato Limite	a_g [g]	T_R [anni]	Cat.Sottosuolo	k_h [g]	k_v [g]
SLV	0.077	949	B	0.035	± 0.018

Tabella 7.1 – Valori dell'accelerazione equivalente di progetto k_h e k_v per le verifiche di stabilità globale

8 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018, richiedono la valutazione della stabilità del sito nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine l'insieme dei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, allorché sollecitati da azioni cicliche e dinamiche in condizioni non drenate.

In relazione alla natura dei terreni ed alle condizioni della falda, per il sito in oggetto, sono da escludersi fenomeni di liquefazione.