

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

S.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO - ECONOMICA

Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi

STUDIO GEOLOGICO

Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica

SCALA:

-

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

RS7J 00 R 69 RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F.Ravasi F.Vitaloni	Dicembre 2022	F.Falciani	Dicembre 2022	G. Riggio	Dicembre 2022	M. Comedini Dicembre 2022



File: RS7J00R69RGGE0001001A.doc

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
4.1	ASSETTO STRUTTURALE.....	9
4.2	EVOLUZIONE GEOLOGICA	11
4.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE.....	14
4.4	ASSETTO STRATIGRAFICO	17
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	19
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	21
6.1	IDROGRAFIA	21
6.2	IDROGEOLOGIA	23
7	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO.....	26
7.1	PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA.....	26
8	INDAGINI GEOGNOSTICHE	28
8.1	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2022	28
9	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	31
10	MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO	33
11	INQUADRAMENTO SISMICO.....	35
11.1	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE	36
11.2	FAGLIE CAPACI.....	38
11.3	INTENSITA' MACROSISMICHE.....	38
11.4	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	40
11.4.1	Generalità	40

11.4.2	<i>Vita utile e classe d'uso</i>	40
11.4.3	<i>Stati limite e probabilità di superamento</i>	41
11.4.4	<i>Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g</i>	42
11.4.5	<i>Risposta sismica locale</i>	44
11.5	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	46
11.6	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	48
12	CONCLUSIONI.....	49
13	BIBLIOGRAFIA	51

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

DOCUMENTI ALLEGATI

DESCRIZIONE ELABORATO	SCALA	CODICE ELABORATO
Indagini Geognostiche 2022	-	RS7J00R69SGGE0005001A
Prove di Laboratorio 2022	-	RS7J00R69PRGE0005001A
Indagini Geofisiche 2022	-	RS7J00R69IGGE0005001A

TAVOLE ALLEGATE

DESCRIZIONE ELABORATO	SCALA	CODICE ELABORATO
Carta geologica	1:5.000	RS7J00R69N4GE0001001A
Profilo Geologico Nuova Viabilità/Stazione	Varie	RS7J00R69LZGE0001001A
Carta Idrogeologica	1:5.000	RS7J00R69N4GE0002001A
Profilo Idrogeologico Nuova Viabilità/Stazione	Varie	RS7J00R69LZGE0002001A

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

1 PREMESSA

La presente relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica è stata redatta a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE) - "Collegamento all'Aeroporto di Trapani Birgi "Vincenzo Florio". Il progetto consiste nella realizzazione di una nuova Stazione che verrà costruita lungo la linea ferroviaria, a binario unico Trapani-Castelvetrano, nel suo tratto più prossimo alla stazione aeroportuale.

La nuova Stazione, completa delle aree sia di parcheggio che di interscambio Bus/Taxi, sarà collegata all'Aeroporto attraverso un Sottopasso Stradale/Pedonale, che sotto-atteverrà la Strada Provinciale SP21 Trapani-Marsala.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni derivanti dalla campagna di indagini geognostiche, eseguite in corrispondenza dell'area di progetto, e sono consistite in:

- n° 2 Sondaggi a carotaggio continuo, denominati S2-2022 e S3-2022;
- n° 1 Piezometro a Tubo Aperto (Tipo Norton);
- n° 2 Stese di Sismica a Rifrazione;
- n°3 M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n°3 H.V.R.S. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
- n°1 Down Hole.

Il sondaggio S1-2022, inizialmente previsto e programmato a Nord della Strada SP1, non è stato eseguito a causa del successivo diniego dei proprietari terrieri.

Nel corso dell'avanzamento delle perforazioni, sono stati prelevati dei Campioni di Terreno Indisturbati e/o Rimaneggiati che sono stati sottoposti a Prove di Laboratorio, per la definizione delle principali caratteristiche geomeccaniche. I campioni sono stati presi in corrispondenza dei principali cambi litologici, riconosciuti in sede d'indagine.

Contestualmente, al fine di definire il grado di consistenza e/o di addensamento dei terreni attraversati, sono state eseguite delle Prove SPT (Standard Penetration Test); mentre, per la determinazione del Grado di Permeabilità sono state eseguite delle Prove di Permeabilità in foro tipo Lefranc.

Infine, in corrispondenza della verticale di sondaggio S2-2022 è stato installato un Piezometro a Tubo Aperto (Tipo Norton) al fine di identificare il Livello della Falda mentre, il sondaggio S3-2022 è stato attrezzato per l'esecuzione della prova Down Hole.

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

1. Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici idrogeologici;
2. Analisi della Cartografia del rischio;

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 6 di 54

3. Descrizione delle indagini geognostiche realizzate;
4. Modello geologico di riferimento;
5. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

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

- Carta geologica e profilo geologico;
- Carta idrogeologica e profilo idrogeologico.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003, “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”.
- Delibera della Giunta Regionale della Sicilia 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.M. 14/01/2008, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- D.M. 17/01/2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio è ubicata sulla costa occidentale della Sicilia nel comune di Trapani, sulla piana litoranea tra i centri abitati di Trapani e di Marsala. In particolare, la nuova Stazione è situata lungo la linea ferroviaria Trapani-Castelvetro, a circa 500 m di distanza dall'Aeroporto di Trapani-Birgi "Vincenzo Florio".

Nella Figura 3-1 sono evidenziate su immagine aerea in rosso le costruende opere (Stazione/Sottopasso) mentre, la linea nera indica l'asse ferroviario Trapani-Castelvetro.

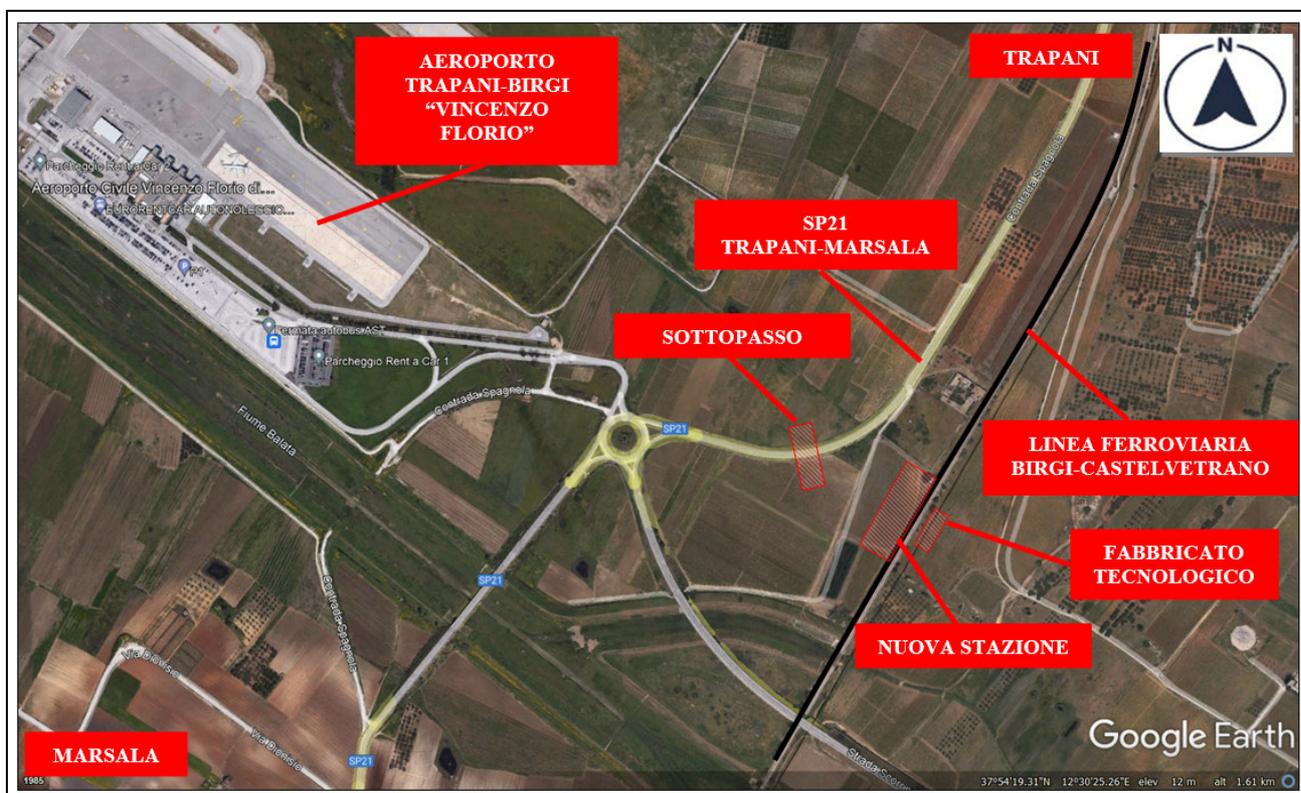


Figura 3-1 – In rosso sono evidenziate le aree d'imposta delle costruende opere Stazione/Sottopasso (da Google Earth).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

4.1 ASSETTO STRUTTURALE

La catena siciliana è un segmento del sistema Appennini-Tirreno la cui formazione è legata ad ambedue gli eventi legati alla convergenza post-collisionale tra Africa ed un complesso settore di Crosta "Europea" (Arco Calabro) ed alla coeva subduzione della litosfera Adriatico-Ionico-Africana (Doglioni, 1991; Doglioni et alii, 1999; Chiarabba et alii, 2008). Dal Miocene al Pleistocene la distensione, instauratasi nel Tirreno, si sviluppò contemporaneamente al processo di raccorciamento e di thrusting nel sistema arcuato di catena Appennino-Sicilia con vergenza orientale e meridionale. La collisione del blocco sardo-corso con il margine continentale africano (Bellon et alii, 1977; Channell et alii, 1979; Dercourt et alii, 1986) è considerata comunemente come la causa primaria per la gran parte della deformazione compressiva nella catena sudappenninica-siciliana (Catalano et alii, 1996) nel quadro del Mediterraneo Centrale. Quest'ultimo è considerato come un Orogene terziario-pleistocenico, modificato da processi di back-arc e dalla fase contrazionale attuale. Il Mediterraneo centrale (Figura 4-1) è formato da diversi elementi tettonici: a) la Sardegna e la catena Alkapeca sovrascorsi su b) Sistema di catena costituito dalle Unità del Tell-Sicilidi-Flysch Numidico (comuni alla Sicilia ed alla Tunisia); c) il FTB Siciliano strutturalmente (ma non stratigraficamente) omogeneo alla catena sommersa di Nilde e della Tunisia (transizione laterale del Sistema Atlasico); d) il Cuneo di accrezione Ionico e la adiacente crosta oceanica; e) la Monoclinale crostale, costituente l'Avampaese Ibleo-Pelagiano che, a sua volta, rappresenta l'estensione settentrionale del Promontorio Pelagiano chiaramente attaccato all'Africa.

Tre elementi principali costituiscono il complesso collisionale della Sicilia (Figura 4-2) e del suo prolungamento offshore:

- a) un'area di avampaese, affiorante nella Sicilia sud-orientale e presente nel Canale di Sicilia a sud di Sciacca;
- b) un'avanfossa recente, localizzata nell'offshore meridionale della Sicilia e nel Plateau Ibleo lungo il margine settentrionale dell'avampaese. Essa è in parte sepolta dal fronte della catena nella Sicilia meridionale e nel Bacino di Gela;
- c) una catena complessa, vergente verso E e SE, spesso a luoghi più di 15 km, costituita dalle Unità calabro-peloritane e dalle Unità Siciliane. Le unità più settentrionali sono generalmente collassate con l'apertura del Tirreno centro-meridionale. Recenti indagini (Catalano et al., 2000; Accaino et al., 2011; Catalano et al., 2013b) indicano che la catena siciliana (con esclusione dell'elemento calabro-peloritano) è caratterizzata da occidente ad oriente dalla presenza di corpi pellicolari derivanti dalla deformazione di originari domini meso-cenozoici (Sicilide, Imerese e Sicano), sovrapposti su un cuneo, spesso 8-9 km, di unità tettoniche derivanti dalla deformazione dell'originario dominio di piattaforma carbonatica. (conosciuto localmente come Ibleo, Trapanese, Saccense, Panormide). Il cuneo tettonico, così formato, poggia a sua volta sull'avampaese non deformato che affiora nel Plateau di Ragusa e si continua nella Piattaforma Pelagiana (avampaese ibleo pelagiano). La Sicilia occidentale è una regione che ha sempre suscitato l'interesse degli studiosi attratti dall'apparente diversità del suo assetto stratigrafico-strutturale, rispetto al settore

centro-orientale e dalle caratteristiche di zona di collegamento con le strutture geologiche in mare (Fig. 2, 3, Catalano,1987; Catalano et al., 1989).

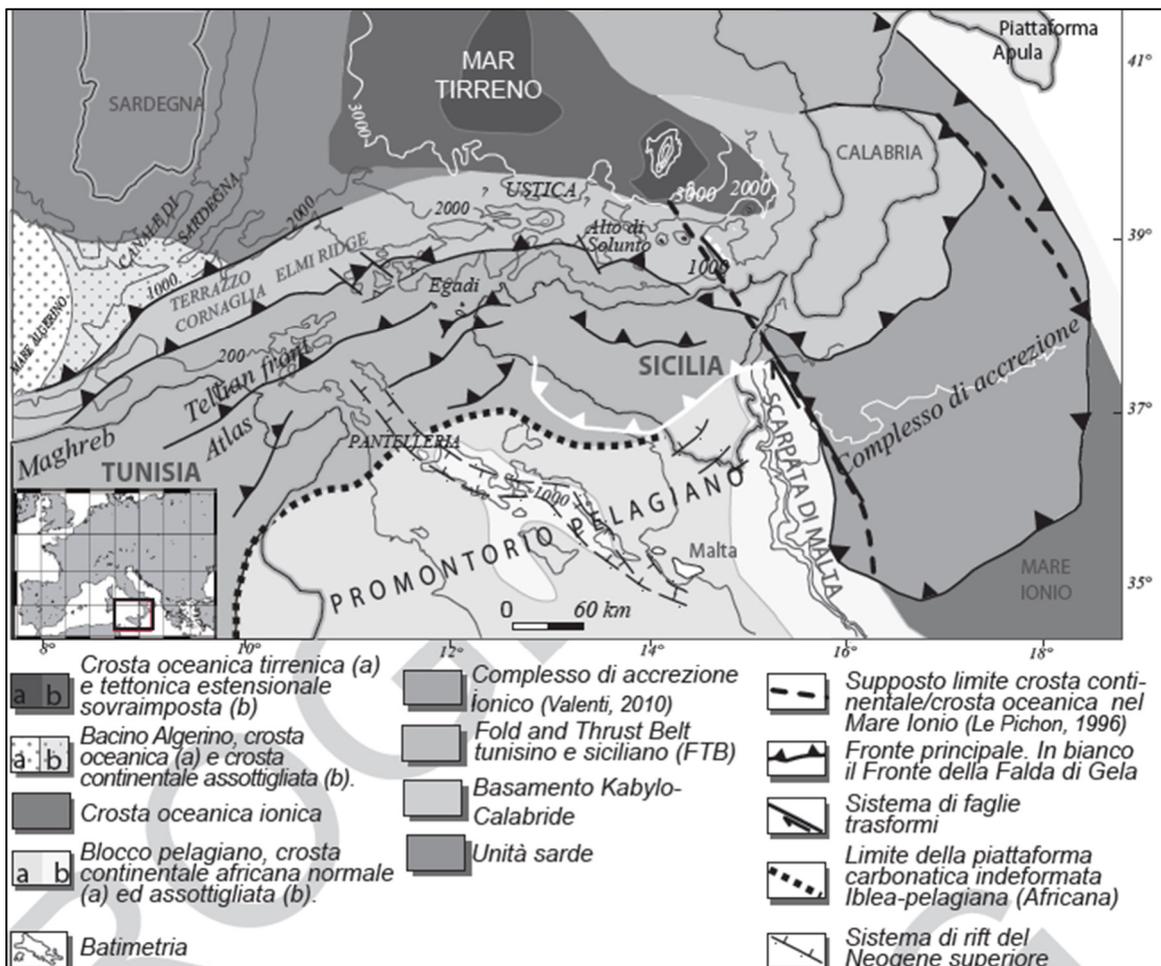


Figura 4-1- La carta illustra i differenti settori crostali della regione centrale del Mediterraneo (modif. da Catalano et alii, 2001, 2002; Catalano et alii, 2013b).

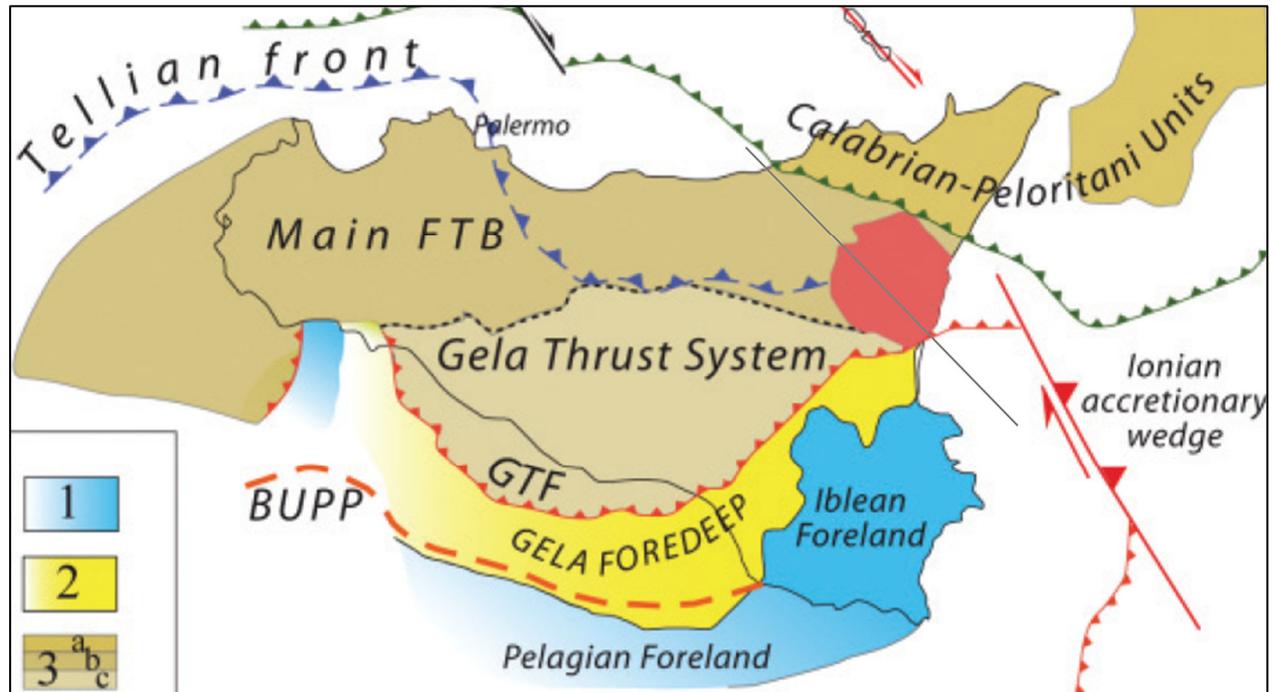


Figura 4-2 - La carta illustra gli Elementi principali caratterizzanti il complesso collisionale della Sicilia. 1) Avampaese Ibleo- Pelagiano non deformato, 2) Avanfossa attuale; 3) Cuneo orogenico: 3a: Unità Calabro-Peloritane, 3b: Catena principale sepolta dal Sistema a thrust di Gela nell'area meridionale, 3c: Sistema a thrust di Gela; Tellian Front: Fronte dei thrust del Flysch Numidico e delle Unità Sicilidi in Sicilia; GTF: Fronte del Sistema di Gela. BUPP: Limite della piattaforma carbonatica Ibleo-Pelagiana indeformata (Catalano et alii, 2013).

4.2 EVOLUZIONE GEOLOGICA

La tettonogenesi che ha interessato la Sicilia nel Miocene inferiore, ad esclusione del settore peloritano Nord-orientale, ha portato le principali unità tettoniche dell'area ad accavallarsi dalle zone Nord-occidentali verso quelle Sud-orientali, dando vita ad un sistema a thrust and fold vergente verso SE (Catalano et al. 1996; Monaco et al. 2000; Bello et al. 2000; Lavecchia et al. 2007).

Le falde della Catena Appenninico-Maghrebide si accavallano, quindi, sull'Avampaese Ibleo con modalità simili a quelle che determinano la messa in posto delle coltri appenniniche sul dominio apulo (Lentini et al. 1995; Bello et al. 2000).

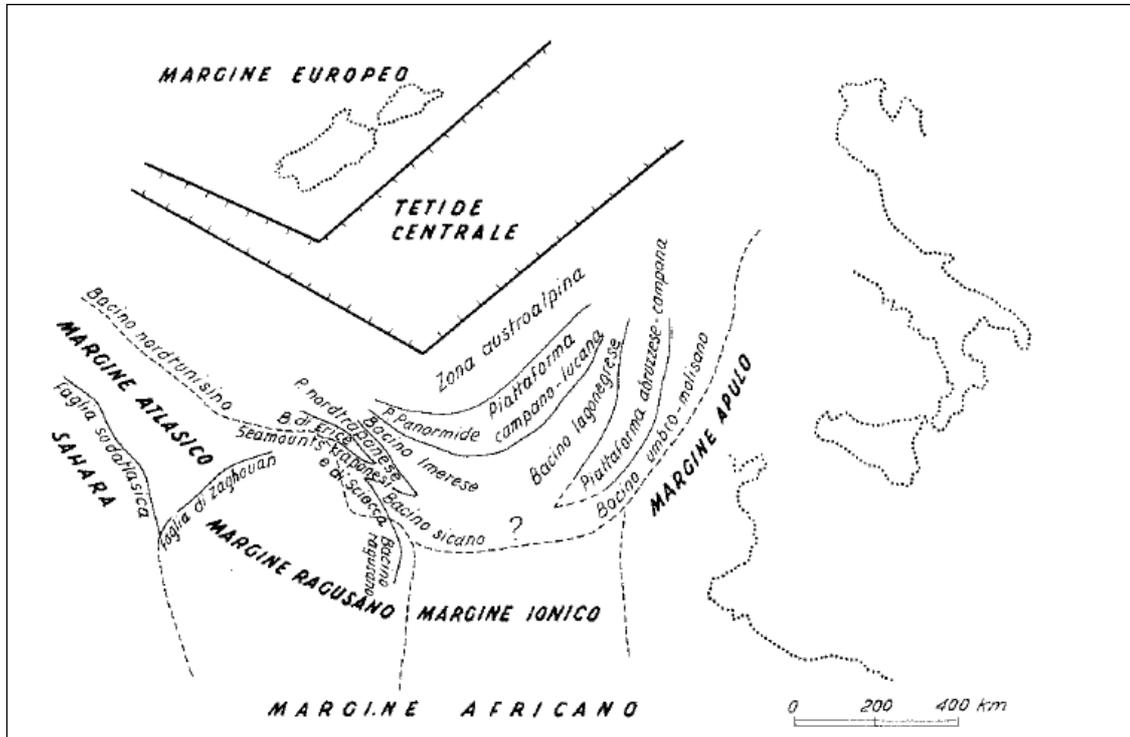


Figura 4-3: Ricostruzione palinspastica della Tetide centrale nel Giurassico (Scandone et al. 1974, modificato)

Durante il Giurassico, il processo di separazione continentale che porta all'apertura del settore meridionale della Tetide, genera un bacino intra-cratonico a sedimentazione prevalentemente terrigena, il Bacino di Lercara (Scandone et al. 1974; Catalano et al. 1996). Tale dominio evolve successivamente in due distinte unità paleogeografiche, rappresentate dal Bacino Imerese a Nord e dal Bacino Sicano a Sud (Scandone et al. 1974; Bonardi et al. 1976), separati dall'interposizione della Piattaforma Nord Trapanese, a sua volta sostituita verso Sud dal dominio paleogeografico dei *Seamounts* Trapanesi (Scandone et al. 1974; Bonardi et al. 1976).

Il processo di dissezione in blocchi della Piattaforma carbonatica Panormide, più interna, inizia nel Giurassico e prosegue fino all'Oligocene inferiore (Scandone et al. 1974). La deformazione dei domini paleogeografici più interni porta, quindi, alla formazione di un primordiale bacino di avanfossa a sedimentazione prevalentemente terrigena, successivamente riconosciuto come Bacino Numidico (Scandone et al. 1974; Bonardi et al. 1982; Bianchi et al. 1987).

Tra l'Aquitano ed il Langhiano la sedimentazione nel Bacino Numidico si contraddistingue per il carattere regressivo delle successioni che, nella loro porzione sommitale, sono caratterizzate da una sedimentazione di tipo prevalentemente pelitico (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991). Al contempo, nel Bacino Sicano si instaurano le condizioni per una sedimentazione di ambiente profondo (Catalano et al. 1996).

Nel Langhiano, quindi, le aree più settentrionali del dominio Imerese subiscono un'importante fase tettonica a seguito dell'accavallamento dei terreni più esterni della Piattaforma Panormide su quelli più interni del Bacino Imerese che, a loro volta, si accavallano sui termini più esterni dello stesso (Bianchi et al. 1987). Su queste unità deformate, infine, si vanno a deporre in discordanza i depositi pelagici ed emipelagici del Langhiano superiore mentre, contemporaneamente, le Unità Sicilidi si

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 13 di 54

sovrappongono tettonicamente alle successioni suddette (Bianchi et al. 1987; Catalano et al. 1996; Bello et al. 2000). Alla fine del Messiniano, quindi, la conformazione paleogeografica dei diversi domini individuati determina la formazione di un'area con ridotta circolazione delle masse d'acqua, che porta un progressivo abbassamento del livello del mare ed alla formazione di complessi sistemi di scogliera (Lentini et al. 1991). Questi ultimi, in seguito al verificarsi della crisi di salinità, vengono ricoperti dalla sedimentazione delle successioni gessoso-evaporitiche mioceniche (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991).

Successivamente, nel Pliocene inferiore, si instaurano nuovamente condizioni marine normali, come testimoniato dalla sedimentazione della successione dei Trubi, rocce biancastre marnoso-calcaree tipiche di un ambiente marino relativamente profondo (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991). Tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore si ha un sollevamento complessivo dell'area, mentre la porzione più settentrionale della catena subisce un generale sollevamento e un successivo smembramento in blocchi lungo linee tettoniche ad andamento NW-SE e NE-SW (Ghisetti et al. 1984), che determinano sollevamenti differenziati (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991).

Alla fine del Pleistocene si assiste quindi alla definitiva emersione della Catena Appenninico-Maghrebide, in concomitanza con i sollevamenti regionali che coinvolgono anche ampi settori di avanfossa ed avampaese (Bianchi et al. 1987; Monaco et al. 2002). I terrazzi quaternari, distribuiti a varie quote lungo la fascia costiera, testimoniano le oscillazioni eustatiche del livello medio marino e i movimenti tettonici a prevalente componente verticale verificatisi in questo ultimo periodo (Lentini et al. 1991; Monaco et al. 2002).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

L'area oggetto di studio ricade all'interno del Foglio 605 "Paceco" della carta d'Italia a scala 1:50.000 del progetto CARG (ISPRA), di cui si riporta uno stralcio in Figura 4-4.

La geologia dell'area in esame è rappresentata, nella sua porzione più superficiale, dalla presenza di sedimenti continentali e/o costieri di età quaternaria.

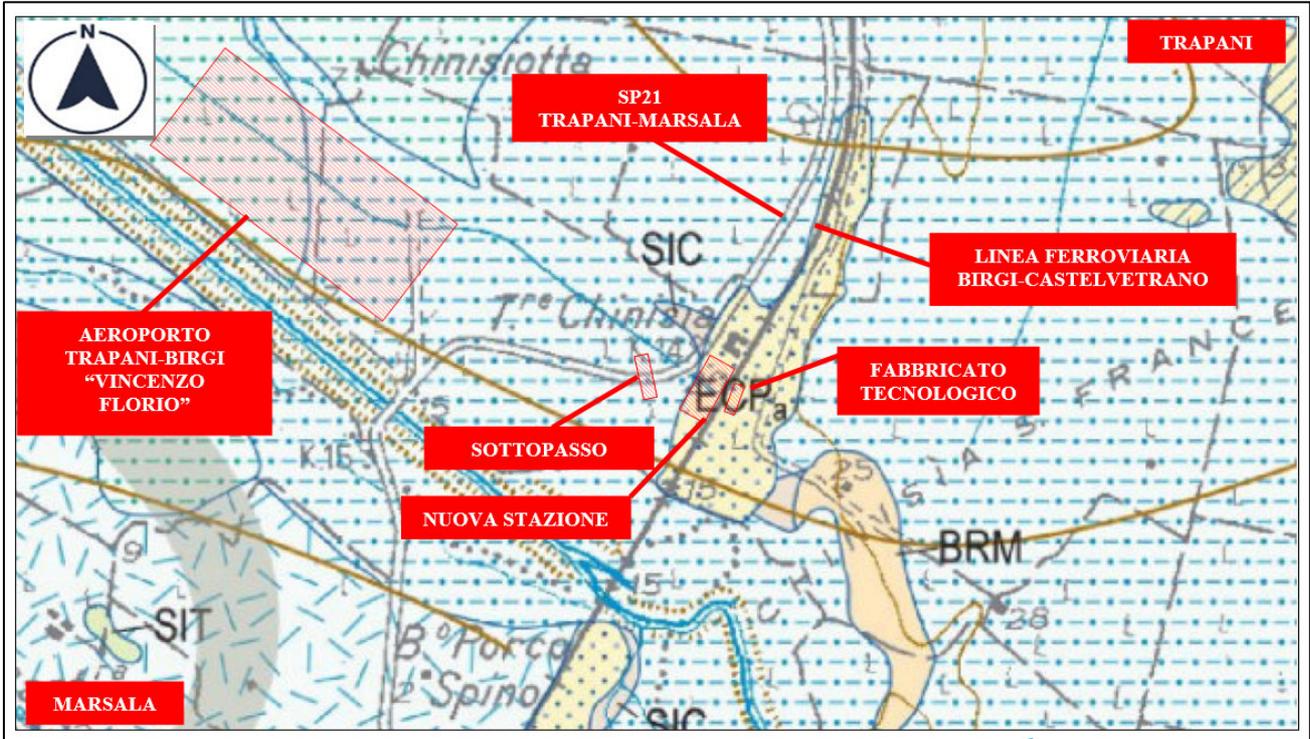
I depositi continentali, prevalentemente di origine fluvio-lacustre, sono costituiti da strati e/o lenti di argilla-limosa e limo-sabbioso, di spessore variabile da decimetrico a metrico, ai quali sono intercalati locali orizzonti eterometrici e/o lenti di sabbia-ghiaiosa, con ciottoli.

Mentre, i depositi costieri di barra sommersa-cordone litoraneo- duna eolica, passanti a laguna-stagno costiero, sono costituiti da banchi e/o strati di sabbia e arenaria; localmente, possono trovarsi degli orizzonti costituiti da paleosuoli a granulometria argilloso-limosa.

In particolare, nell'area compresa tra l'Aeroporto Trapani-Birgi e la linea ferroviaria Trapani-Castelvetrano" affiorano, diffusamente, i depositi fluviali limoso-sabbiosi del Sintema di Capo Plaia (AFLb) che poggiano al disopra dei depositi sabbioso-arenacei Pleistocenici di barra marina-duna e di retrospiaggia, appartenenti alla *litofacies di Ballottella*, contenuta all'interno del Sintema di Paceco (ECPa).

Questa ultima è bene visibile in corrispondenza delle scarpate dei tratti in trincea, lungo i quali passa la linea ferroviaria Trapani-Castelvetrano, presenti in adiacenza all'area di progetto.

Di seguito è riportato lo stralcio della Carta Geologica d'Italia "Foglio 605 PACECO" (scala 1:50.000) con evidenziata l'area di studio.



SINTEMA DI CAPO PLAIA



Detrito di falda costituito da ciottoli a spigoli vivi eterometrici e poligenici (AFL_{a3}); limi sabbiosi fluviali grigiastri con faune miste di gasteropodi polmonati e lamellibranchi (AFL_b, livelli sabbioso-ghiaiosi e di "caliche" di Mozia), ghiaie, sabbie e limi eluviali e colluviali variamente frammisti, spesso pedogenizzati (AFL_{b2}); depositi di spiaggia e di cordone litorale (AFL_{c2}); depositi lacustri (AFL_{c2}, depositi fluvio-palustri di Chinisia-Birgi) e palustri (AFL_{c3}, terre nere di Xitta-Salina Grande); sabbie eoliche recenti distribuite lungo la costa tra Trapani e Marsala; ghiaie e sabbie costiere. A luoghi ripetuti paleosuoli. Limite inferiore, superfici di inconformità al tetto del sintema di Borromia, di Paceco, e su depositi più antichi. Limite superiore è l'attuale superficie topografica. Ambiente continentale e costiero. Età compresa fra la parte terminale del Pleistocene superiore e l'Olocene (15 ka BP).

PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE

SINTEMA DI BORROMIA



Depositi alluvionali di ciottoli poligenici arrotondati in matrice sabbioso ghiaiosa rossastra, argille sabbiose con ciottoli, lenti di sabbie con fossili rimaneggiati, distribuiti lungo i versanti vallivi o in posizione sommitale, fra circa 30 e 150 s.l.m. Due cicli di corpi sedimentari, ognuno dei quali presenta geometrie tabulari e spessore fra 1 e 20 m (aree dei Fiumi Lenzi, di Bordino e Fittasi). Limite inferiore dell'unità è una superficie di erosione fluviale sui depositi del sintema di Paceco e più antichi. Limite superiore è una superficie di non deposizione, coincidente con l'attuale superficie topografica. Ambiente fluvio-lacustre. Valutazioni sulle variazioni dei livelli di base suggeriscono una probabile età.

PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE

SINTEMA DI PACECO

Areniti, sabbie eoliche, paleosuoli, conglomerati e paraconglomerati (c) a volte fossiliferi alternati a peliti sabbiose carbonatiche (raggruppati in due associazioni di facies, ECP_a, ECP_b). Corpi allungati nord-sud, parallelamente alla costa (sistemi), distribuiti su tre livelli a quote comprese fra circa 120 e 1 m s.l.m. Spessore fino a 35 m. Il limite inferiore, talvolta marcato da paleosuoli, corrisponde a i) una superficie di abrasione marina di rocce del Pleistocene inferiore (sintema di Marsala) o ancora più antiche; ii) una superficie, di non-deposizione o di erosione subaerea o marina. Ambienti deposizionali di barra sommersa, cordone litoraneo e duna eolica passanti a laguna/stagno costiero. L'Unità viene tentativamente assegnata al Pleistocene Medio.



litofacies di Panniere (ECP_b): sabbie cementate e conglomerati con una matrice carbonatica giallo-biancastra con scarsa fauna marina (lamellibranchi e gasteropodi). Eluvio-colluvi rossastri, ricchi in ossidi ferrosi, con concrezioni calcaree; calcareniti giallastre e microconglomerati con fauna a polmonati. Spessore di circa 6-7 m, fino ad un massimo di 20 m in alcune depressioni deposizionali. Poggiano, a luoghi, sui depositi di Ballottella (ECP_a).

litofacies di Ballottella (ECP_a): sabbie sciolte e arenarie variamente cementate, rari bioclasti e tracce di bioturbazioni. In strati dm/m poco inclinati, con lamine da fini a grossolane e stratificazione da sub-parallelata a incrociata, con troncatura (paleodune). A luoghi paleosuoli. Spessori di 15-20 m. Ambiente deposizionale di barra marina che evolve a duna di retrospiaggia.

PLEISTOCENE MEDIO

FORMAZIONE CASTELLANA SICULA

Peliti sabbiose e marne argillose grigio-verdastre, con glauconite e piriti, con lenti di arenarie marnose e calcareniti. Contengono foraminiferi planctonici (biozona a *Orbulina suturalis-Paragloborotalia peripheroronda*) nei livelli inferiori, indicativi del Langhiano-Serravalliano. Nella parte alta della successione ricorrono microfaune della Zona a *P. siakensis* e microfaune con rari esemplari di *Neogloboquadrina acostaensis* (BLow), (parte basale della biozona a *Neogloboquadrina acostaensis*) indicative della parte inferiore del Tortoniano. Affiora con spessori esigui (40/50 m) nelle colline a sud di Paceco, lungo il torrente Quasarano e ad ovest di Guarrato e Fontanasalsa. Limite inferiore è una superficie erosiva (o da contatto meccanico) sui depositi oligo-miocenici (HIO, LUO, BCO). Il limite superiore, poco visibile, è una superficie di erosione con il sintema di Paceco (Torre Chinisia, Porco Spino e Granatello). Ambiente deposizionale di bacino sintettonico.



LANGHIANO-TORTONIANO INFERIORE

Figura 4-4 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia "Foglio 605 PACECO" (scala 1:50.000).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.4 ASSETTO STRATIGRAFICO

Successivamente, sono descritte le unità litologiche affioranti in corrispondenza e in adiacenza all'area di progetto.

La descrizione, in ordine cronostratigrafico a partire dalla più recente alla più antica, è stata ripresa dalle Note Illustrative del Foglio n. 605 "Paceco" (Agate et al.):

- *Sintema di Capo Plaia* (AFL). Detrito di falda costituito da ciottoli a spigoli vivi eterometrici e poligenici (AFL_{a3}): limi sabbiosi fluviali grigiastre con faune miste di gasteropodi polmonati e lamellibranchi (AFL_b, livelli sabbioso-ghiaiosi e di "caliche di Mozia"), ghiaie, sabbie e limi eluviali e colluviali variamente frammisti spesso pedogenizzati (AFL_{b2}); depositi di spiaggia e di cordone litorale (AFL_{g2}); depositi lacustri (AFL_{e2}, depositi fluvio-palustri di Chinisia-Birgi) e palustri (AFL_{e3}, terre nere di Xitta-Salina Grande); sabbie eoliche recenti distribuite lungo la costa tra Trapani e Marsala; ghiaie e sabbie costiere. A luoghi ripetuti paleosuoli. Limite inferiore, superfici di inconformità al tetto del sintema di Borromia, di Paceco, e su depositi più antichi. Limite superiore è l'attuale superficie topografica. Ambiente continentale e costiero. Età compresa fra la parte terminale del Pleistocene superiore e l'Olocene (15 ka BP). (Pleistocene superiore-Olocene).
- *Sintema di Paceco* (ECP). Areniti, sabbie eoliche, paleosuoli, conglomerati e paraconglomerati (c) a volte fossiliferi alternati a peliti sabbiose carbonatiche (raggruppati in due associazioni di facies ECP_a, ECP_b). Corpi allungati nord-sud, parallelamente alla costa (sistemi), distribuiti su tre livelli a quote comprese fra circa 120 e 1 m s.l.m. Spessore fino a 35 m. Il limite inferiore, talvolta, marcato da paleosuoli, corrisponde a i) una superficie di abrasione di rocce del Pleistocene inferiore (sintema di Marsala) o ancora più antiche; ii) una superficie, di non-deposizione o di erosione subaerea o marina. Ambienti deposizionali di barra sommersa, cordone litoraneo e duna eolica passanti a laguna/stagno costiero. L'Unità viene tentativamente assegnata al Pleistocene Medio.

Litofacies di Panniere (ECP_b): sabbie cementate e conglomerati con una matrice carbonatica giallo-biancastra con scarsa fauna marina (lamellibranchi e gasteropodi). Eluvio-colluvi rossastri, ricchi in ossidi ferrosi, con concrezioni calcaree; calcareniti giallastre e microconglomerati con fauna a polmonati. Spessore di circa 6-7 m, fino ad un massimo di 20 m in alcune depressioni deposizionali. Poggiano, a luoghi, sui depositi di Ballottella (ECP_a).

Litofacies di Ballottella (ECP_a): sabbie sciolte e arenarie variamente cementate, rari bioclasti e tracce di bioturbazioni. Instrati dm/m poco inclinati, con lamine da fini a grossolane e stratificazione da sub-parallela a incrociata, con troncatura (paleodune). A luoghi paleosuoli. Spessori di 15-20 m. Ambiente deposizionale di barra marina che evolve a duna di retrospiaggia. (Pleistocene Medio).

- *Sintema di Borromia* (BRM): depositi alluvionali distribuiti su due ordini di terrazzi fluviali situati lungo i versanti vallivi o in posizione sommitale; la giacitura di questi depositi mima l'assetto di due corpi sedimentari ognuno dei quali presenta geometrie tabulari e spessore compreso fra circa 1 e 20 m. Il limite inferiore è una superficie di erosione fluviale (Fig. 70-

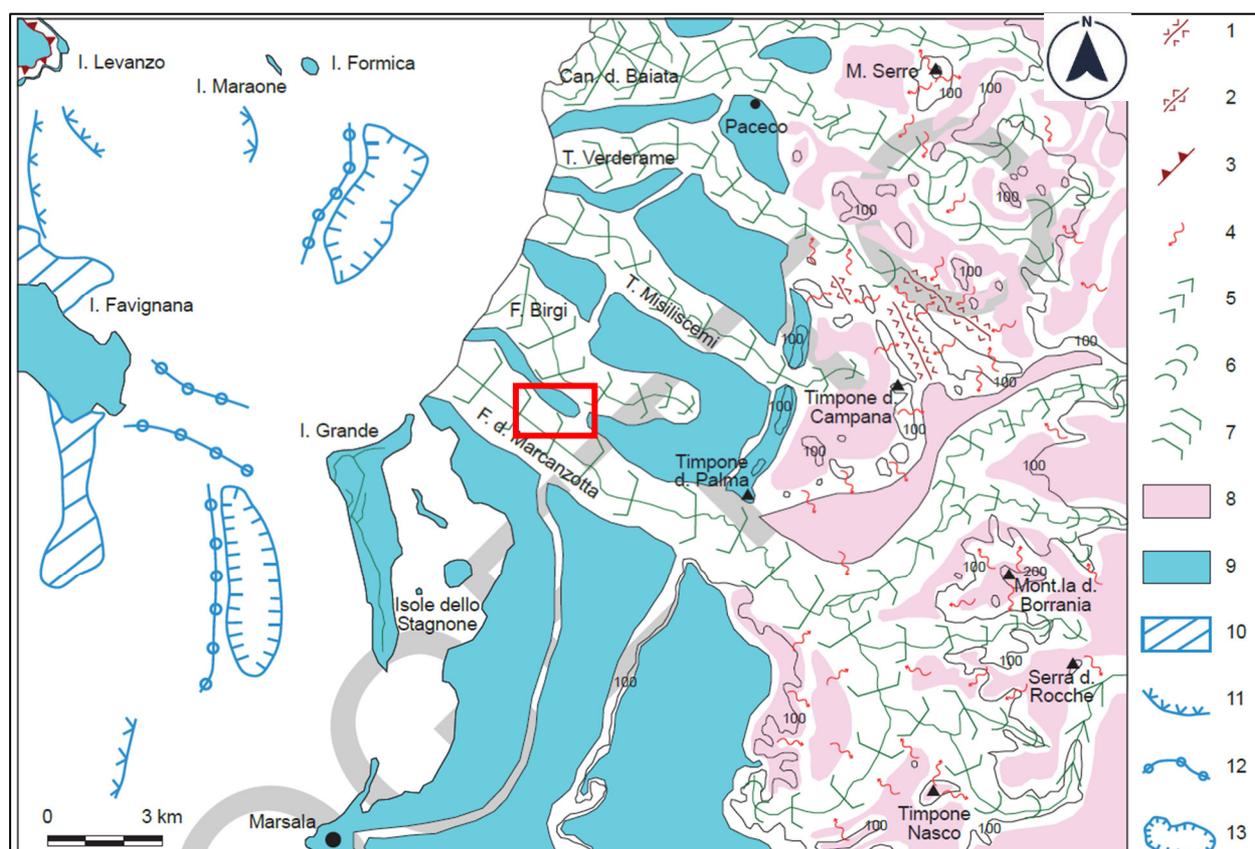
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

71) su sedimenti del Pleistocene Medio e/o più antichi. Il limite superiore è una superficie di non deposizione, a luoghi degradata, spesso coincidente con l'attuale superficie topografica. Questi depositi, poco cementati, sono essenzialmente costituiti da ciottoli poligenici arrotondati, in cui prevalgono elementi quarzarenitici, immersi in una matrice sabbioso-ghiaiosa. È difficile risalire all'età di questi depositi mancando elementi di stratigrafia continentale. Tuttavia, essendo le superfici dei terrazzi fluviali di questi depositi riconducibili a livelli di base relativamente più alti di quelli attuali e potendo correlare tali livelli con gli stazionamenti alti del mare che hanno prodotto i terrazzi marini su cui si ritrovano i depositi dei sintemi di Paceco e Barcarello è plausibile datare i depositi del sintema di Borromia al Pleistocene medio-superiore.

- *Formazione Castellana Sicula (SIC)*. Argille e peliti sabbiose ricche in glauconite e pirite con concrezioni calcareo-gessose intercalate a lenti di arenarie marnose, sabbie e calcareniti. Sono stati campionati nelle colline a sud di Paceco, in particolare nella fascia a decorso NO-SE compresa tra i fiumi Quasarano e Marcanzotta, e lungo le loro valli (Timpone della Palma, Ponte Scialacche, Baglio Sarbucia, Baglio Monnino, lungo la valle del torrente Quasarano. Nella fascia tra Rassallemi e Perino l'unità affiora come marne argillose grigio-verdastre con frequenti cristalli di gesso fibroso e microcristallino. Nel settore di Torre Chinisia, Porco Spino e Granatello costituiscono la base deposizionale su cui poggiano in discordanza erosiva i conglomerati poligenici del sintema di Paceco. Il limite inferiore dell'unità quando visibile è una superficie erosiva (o da contatto meccanico) sui depositi oligo-miocenici (LUO, BCO). Il limite superiore, poco visibile, è una superficie di paraconcordanza con i depositi basali della formazione Terravecchia o erosivo con il sintema di Paceco. I rapporti stratigrafici con i terreni più antichi testimoniano chiaramente una deposizione sintettonica dell'unità Castellana Sicula al limite Serravalliano/Tortoniano.

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il paesaggio è caratterizzato da un'ampia fascia costiera pianeggiante, delimitata dall'attuale linea di costa e l'area collinare interna; quest'ultima è costituita dalla presenza di piccoli rilievi isolati, dai contorni arrotondati e poco acclivi (Figura 5-1).



Legenda: 1. depressione di sinforme; 2. dorsale di antiforme; 3. falesia a controllo strutturale; 4. versante interessato da forme prodotte da processi gravitativi o di dilavamento; 5. vallecola a V; 6. vallecola a conca; 7. vallecola a fondo piatto; 8. superficie di terrazzo fluviale o glacis di erosione in roccia tenera; 9. superficie di depositi marini e di terrazzo; 10. superfici di abrasione marina; 11. rottura di pendio concava; 12. paleocordone litorale; 13. depressione chiusa.

Figura 5-1 - Schema geomorfologico dell'area del Foglio "Paceco", in rosso l'area di studio (da Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - Foglio 605 PACECO, scala 1: 50.000).

Per quanto riguarda la rete idrografica, i principali corsi d'acqua sono: T. Verderame, T. Misiliscemi, F. Birgi e il F. Marcanzotta; quest'ultimo scorre in corrispondenza dell'area di progetto ed è indicato anche con il nome di F. Balata.

In generale, i reticoli idrografici nella parte alta-mediana presentano un andamento di Tipo Dendritico, caratterizzati da profonde e strette valli; mentre, nella parte bassa assumono un andamento circa rettilineo, con fondovalle ampi e piatti, orientati in direzione NW-SE.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

La configurazione geomorfologica dell'area studiata è caratterizzata dalla presenza di vecchi Terrazzi Marini che conferiscono al paesaggio un assetto sub-pianeggiante; questi sono attraversati da un reticolo fluviale, costituito da valli fluviali poco profonde, che ne causa la segmentazione, dando origine alla formazione di modesti ed isolati rilievi collinari, dalla forma allungata (Figura 5-1).

Lungo le aree costiere sono riconoscibili almeno tre ordini di Terrazzi; la superficie del terrazzo di quota inferiore e, verosimilmente, più recente si sviluppa dall'attuale linea di riva fino a circa 15-20 m s.l.m.

A quote immediatamente superiori è presente la superficie di un terrazzo più antico che si estende da circa 20 m fino a 65-75 m s.l.m., separata dalla precedente da una paleoripa di erosione costiera alta 1-2 m. Superiormente ad una paleofalesia alta alcuni metri si rinviene, compresa fra le quote di circa 65 m e 135 m s.l.m., la superficie del terrazzo marino più antico. Le superfici di questi terrazzi marini corrispondono a piattaforme di abrasione marina intagliate sui depositi del sistema di Marsala o su rocce prequaternarie.

Il lento ma graduale sollevamento della regione studiata viene ipotizzato come principale causa d'innescio dei processi di erosione di fondo lungo i corsi d'acqua, nonché dell'attuale esposizione dei terrazzi marini emersi.

Le valli fluviali nell'area di interesse sono caratterizzate da un cosiddetto "fondo piatto" (Figura 5-1) generato da processi di sovralluvionamento oppure (o in parte) legato a fenomeni di erosione laterale. Questi ultimi sarebbero responsabili della formazione di piani di erosione fluviale successivamente ricoperti, durante eventi di piena, da accumuli alluvionali.

Un altro elemento caratterizzante l'area costiera è rappresentato dalla presenza diffusa delle Saline che oggi costituiscono l'area protetta della Riserva Naturale Orientata "SALINE DI TRAPANI E PACECO". L'attività di coltivazione ed estrazione del Salgemma inizia nell'antichità, a partire dal XI secolo d.C.; tuttavia, è probabile che già i Fenici, nel primo millennio a.C., avessero già iniziato tale lavoro.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1 IDROGRAFIA

Il drenaggio superficiale dell'area avviene attraverso i seguenti corsi d'acqua principali: F. Marcanzotta (oppure F. Chinisia e/o F. Balata), il F. Birgi, il T. Misiliscemi, il T. Verderame e il Canale della Baiata.

Le direzioni delle linee di deflusso sono strettamente collegate all'evoluzione tettonica dell'area, che ne condiziona le geometrie. In particolare, i bacini idrografici sono caratterizzati, nella loro porzione alta-mediana, da uno sviluppo di tipo dendritico mentre, la parte terminale assume un andamento rettilineo.

Il bacino idrografico di riferimento è quello del Fiume Birgi che, con la sua caratteristica forma subrettangolare allungata in direzione NE-SO, occupa una superficie complessiva di circa 336 km² e presenta una appendice nord-occidentale costituita dalla foce del fiume Chinisia-Birgi. Rispetto alla direzione di allungamento, l'area raggiunge la sua massima larghezza, pari a circa 27 km, nella porzione centrale; nella parte settentrionale, invece, la larghezza si riduce sensibilmente, fino a circa 9 km, nella porzione Nord-orientale (da P.A.I. Sicilia Bacino Idrografico del F. Birgi – 051).

L'idrografia dell'area di studio è frutto, inoltre, dell'antropizzazione di queste aree a partire degli anni '50. Per la costruzione dell'aeroporto di Trapani-Birgi, realizzata nel 1961, si dovette spostare l'alveo del fiume Birgi due km più a sud, e fu costruito il canale artificiale in cui oggi scorre il tratto finale del fiume denominato F. Marcanzotta. Il Fiume Birgi indicato in Figura 5-1 indica la foce "storica" dello stesso.

Per ciò che riguarda l'aspetto idrogeologico, data la sua costituzione geologica, il complesso normalmente è sede di acquiferi, estesi soprattutto in corrispondenza delle porzioni a carattere maggiormente arenitico, presentando una permeabilità per porosità generalmente nelle porzioni sciolte o alterate, e per fessurazione, nelle porzioni più compatte e/o lapidee, di medio grado.

La porosità primaria si mantiene generalmente medio - alta cui corrisponde una porosità secondaria bassa in seno alle panchine calcarenitiche.

In relazione a tali caratteristiche il bacino presenta un pattern di drenaggio tipicamente convergente a monte, in accordo con le litologie impermeabili insistenti, mentre verso valle tende a diventare leggermente meandriforme inserendo il suo corso d'acqua su linee di debolezza meccanica o tettonica in accordo con il litotipo in cui scorre.

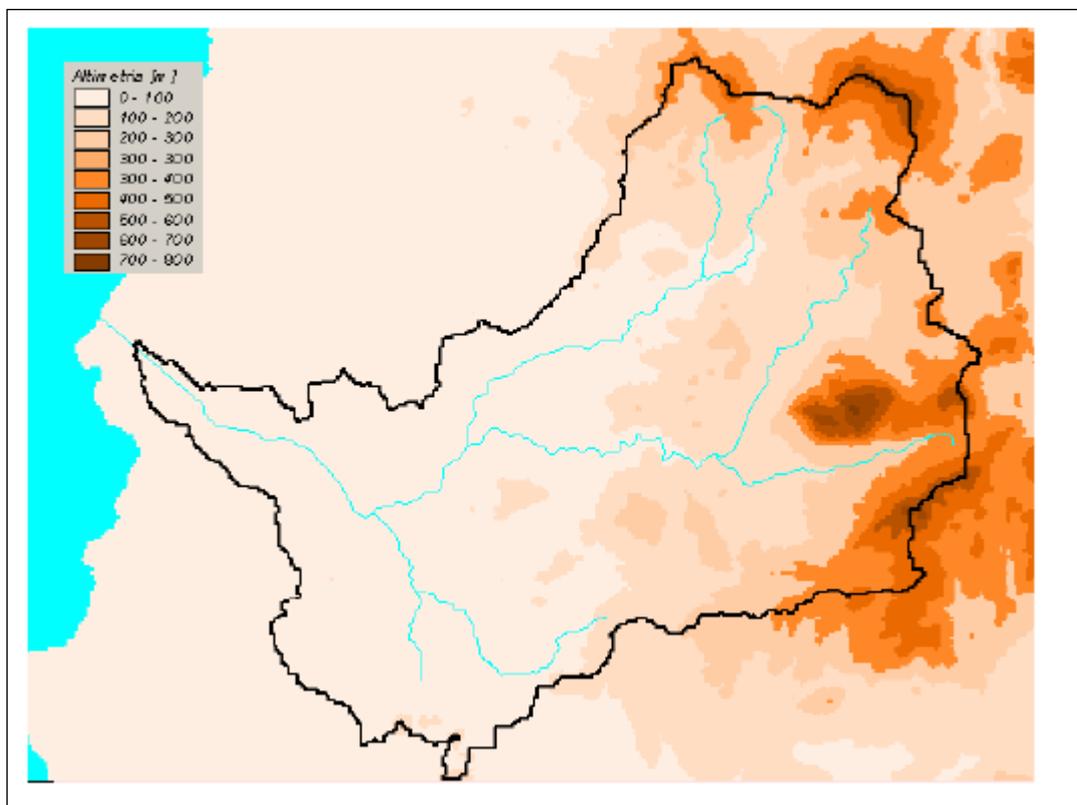


Figura 6-1 – Bacino Idrografico del F. Birgi – DEM Digital Elevation Model (P.A.I. “Bacino Idrografico del F. Birgi (051) ed Area Territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Birgi ed il Bacino Idrografico del F. Lenzi (050), 2006).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

6.2 IDROGEOLOGIA

L'inquadramento idrogeologico dell'area di studio è stato eseguito utilizzando gli studi del Piano di Gestione delle acque del Distretto Idrografico della Sicilia, approvato con Delibera della Giunta Regionale n° 228 del 29/06/2016.

Secondo quanto riportato nelle carte redatte per tale progetto, l'area oggetto di studio è ubicata in prossimità del Bacino idrogeologico di Piana di Marsala classificato come Complesso delle sabbie (Figura 6-2) e descritto nel seguito.

Bacino idrogeologico di Piana di Marsala – Mazara del Vallo ITR19MMCS01

Da un punto di vista idrogeologico, l'area analizzata fa parte del corpo idrico sotterraneo Piana di Marsala – Mazara del Vallo. È ubicato nella parte sud-occidentale della Sicilia e comprende il tratto costiero compreso fra i centri abitati di Mazara del Vallo (a Sud) e Marsala (a Nord). La porzione più significativa del corpo idrico Piana di Marsala- Mazara del Vallo è quella sita fra la Fiumara di Marsala a Nord e la Fiumara di Mazarò a Est. Dall'interpretazione geologico-strutturale dei litotipi rinvenuti nell'area, dall'interpretazione di alcuni dati geofisici e dalla correlazione di dati stratigrafici di alcuni pozzi, si evince che l'acquifero in esame poggia su un substrato argilloso-marnoso (Formazione Marnoso Arenacea della Valle del Belice). Inoltre, dall'interpolazione dei dati sopradetti, è stato possibile ricostruire l'andamento del substrato argilloso dell'acquifero.

La formazione geologica costituente l'acquifero e a cui è legata la potenzialità della falda idrica è nota con il nome di Calcareniti di Marsala. Tale formazione è disposta secondo una monoclinale, la cui inclinazione è generalmente legata ai meccanismi deposizionali, raggiungendo alle volte i 10°. La formazione è la più estesa che si rileva in tale area. Si osserva, in affioramento, lungo tutta la fascia costiera che da Marsala arriva a Mazara del Vallo ed oltre, fino a riaffiorare estesamente nelle zone limitrofe all'abitato di Campobello di Mazara. Gli spessori delle Calcareniti di Marsala risultano modesti a nordest, in corrispondenza dell'allineamento Madonna della Cava – Busolotta – Borgata Costiera, mentre va aumentando fino a raggiungere alcune decine di metri man mano che si prosegue verso sud-ovest. In corrispondenza dell'area Triglia Scaletta, la Calcarenite presenta uno spessore di circa 50 metri.

I depositi calcarenitici, antichi e recenti, poggiano in discordanza su sequenze prevalentemente terrigene che, con spessori notevoli (superiori spesso ai 500 metri e fino a 1500 metri), hanno colmato una depressione tettonica di vaste dimensioni, che interessa la struttura geologica profonda caratteristica di tutta l'area Trapanese.

L'acquifero calcarenitico presenta spessori variabili in relazione all'andamento del substrato, in genere costituito da depositi poco permeabili o impermeabili. Campagne di prospezioni geofisiche eseguite nell'area hanno, infatti, evidenziato la presenza di depressioni alternate ad "alti strutturali" del substrato dell'acquifero, che condizionano fortemente la circolazione idrica sotterranea. La definizione dell'andamento del substrato non è, al momento, sufficientemente supportata da dati stratigrafici certi ed omogenei. Lo spessore dell'acquifero calcarenitico, sulla base degli studi geofisici effettuati in passato, nonché dalla conoscenza di colonne stratigrafiche note, può essere valutato tra un minimo di pochi metri fino ad un massimo di 60-70 m.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

La circolazione idrica sotterranea nel corpo idrico si realizza, essenzialmente, grazie alla porosità primaria che tali litotipi mostrano, a cui si aggiunge la circolazione preferenziale lungo i giunti di stratificazione e la rete di fratturazione e fessure. Dai dati litostratigrafici dei litotipi affioranti e dalla ricostruzione e correlazione di alcune stratigrafie di pozzi si evince che, tanto le Calcareniti di Marsala quanto i depositi terrazzati tirreniani, presentano intercalati orizzonti calcarenitici a differenti permeabilità e livelli argilloso-siltosi poco o scarsamente permeabili, che sono responsabili della presenza di diversi livelli idrici.

Tali considerazioni portano a definire l'acquifero in esame come un multifalda, costituito da diverse falde idriche tra loro comunicanti e caratterizzate da scambi idrici verticali in funzione del livello piezometrico di ognuna di esse.

In particolare, secondo Calvi et al. (2001) è possibile distinguere almeno due falde idriche:

- una profonda, impostata sulle Calcareniti di Marsala, parzialmente semiconfinata da livelli discontinui poco permeabili;
- una superficiale di tipo libera, ospitata nei depositi terrazzati tirreniani, alimentata dalle precipitazioni efficaci e in condizioni idrodinamiche di interscambio idrico con la falda profonda in funzione delle rispettive altezze piezometriche.

Nell'area di interesse sopra alle Calcareniti di Marsala sono presenti i depositi Quaternari e Plestocenici fluviali e costieri. Nei depositi alluvionali dei corsi d'acqua attuali (Birgi e bacini minori tra Birgi e Capo Lilibeo) sono presenti acquiferi multifalda (Agate et al.); la permeabilità di tali depositi nell'area di progetto è stata indagata mediante prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio eseguiti nella presente fase progettuale; le tre prove realizzate nei depositi argilloso-limosi, hanno restituito valori di permeabilità compresi tra $8,05E-08$ e $2,66E-07$. All'interno dei depositi fini (argille e limi) nell'area di progetto è stato individuato un livello metrico di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa; pur non essendo state realizzate prove di permeabilità in sito in tale livello è possibile sulla base della granulometria ipotizzare un valore di permeabilità per porosità medio alto, compreso tra $10E-05$ e $10E-02$. Nell'area di progetto sotto ai depositi alluvionali si trovano le arenarie e le sabbie Pleistoceniche, per le quali si può ipotizzare una permeabilità variabile tra $10E-05$ e $10E-02$ a seconda del grado di fessurazione e di cementazione.

La falda presente nell'area di progetto all'interno dei depositi alluvionali è stata misurata durante la perforazione del sondaggio S3 e all'interno del piezometro installato nel foro S2 ed è stata individuata a circa 2 m di profondità da p.c.

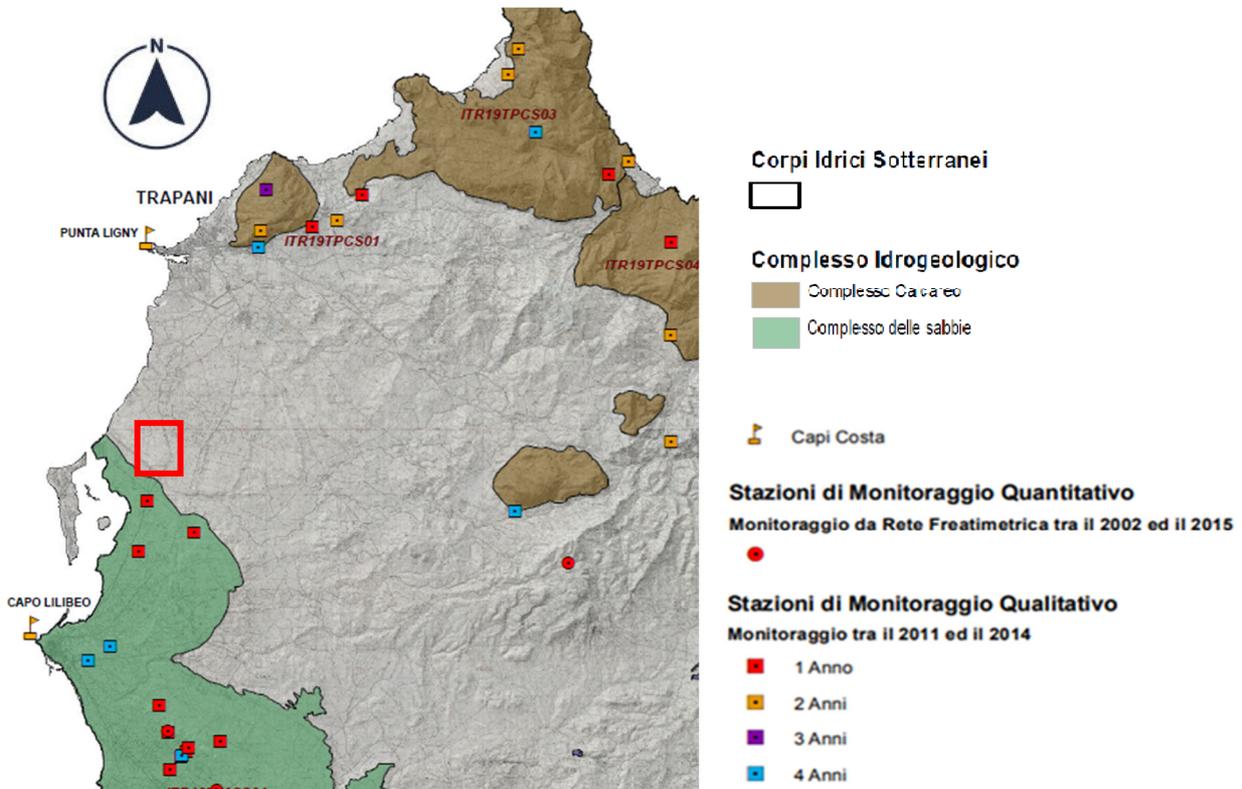


Figura 6-2 - Carta dei Corpi Idrici Sotterranei e delle stazioni di monitoraggio della Regione Sicilia (Regione Siciliana Assessorato dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità; 2016), in rosso l'area di studio.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

7 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO

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

Relativamente alla pericolosità geomorfologica e idraulica, sono state consultate le cartografie tematiche dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), disponibile sul geoportale Idrogeo (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>) e del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Distretto Idrografico della Sicilia (<https://www.regione.sicilia.it/istituzioni/regione/strutture-regionali/presidenza-regione/autorita-bacino-distretto-idrografico-sicilia>) disponibile sul Sistema Informativo Territoriale Regionale – Regione Sicilia (<https://www.sitr.regione.sicilia.it/download/tematismi/pai-download-dati/>).

7.1 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Le Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) aggiornate al dicembre 2020 con D.P. N. 9/ADB del 06/05/2021 identificano quattro categorie di pericolosità (P) e rischio (R) geomorfologico: grado molto elevato (P4, R4), elevato (P3, R3), medio (P2, R2), moderato (P1, R1) e basso (P0), alla scala 1: 10.000.

Facendo riferimento sia alla cartografia dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) (Figura 7-1), che al PAI Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico di riferimento, disponibile sul Sistema Informativo Territoriale Regionale, è possibile vedere come in corrispondenza del sito di progetto, non sono evidenziati fenomeni franosi (Figura 7-2).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A



Figura 7-1: Stralci della cartografia dell'IFFI, in rosso l'area di progetto.



Figura 7-2: Stralci della Pericolosità di frana dalla cartografia PAI (AdB del Distretto Idrografico della Sicilia), in rosso l'area di studio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per il presente progetto sono stati utilizzati dati relativi a indagini geognostiche e sismiche eseguite da Italferr per la presente fase progettuale.

8.1 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2022

A supporto del presente progetto è stata condotta una campagna di indagini geognostiche (Rif. RS7J00R69SGGE0005001A) e geofisiche (RS7J00R69IGGE0005001A) tra ottobre e novembre 2022. Le indagini geognostiche e geofisiche hanno compreso l'esecuzione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità massima di 30 m da p.c., con installazione di n.1 piezometro e l'esecuzione di n.1 prova geofisica Down-Hole; inoltre, sono state condotte n.3 prove geofisiche MASW e HVSR e n.2 tomografie sismiche.

Durante l'esecuzione dei due sondaggi sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT, prove di permeabilità Lefranc e sono stati prelevati campioni indisturbati, rimaneggiati e litoidi sui quali eseguire prove di laboratorio. In Tabella 8-1 si riporta la sigla identificativa, la profondità, la data di esecuzione, il luogo di esecuzione, la quota e le coordinate in WGS84 dei sondaggi geognostici eseguiti. In Tabella 8-2 e Tabella 8-4 si riportano rispettivamente i valori di permeabilità calcolati con le prove Lefranc e SPT eseguite nel foro di sondaggio. In Tabella 8-3 sono segnalati i campioni prelevati in sito riportandone la profondità e la tipologia.

In Tabella 8-5 si riporta l'ubicazione e il valore di Vs equivalente calcolati con le prove sismiche MASW e con la prova Down Hole. Infine, in Tabella 8-6 vengono segnalate le coordinate degli estremi delle tomografie sismiche.

Tabella 8-1 - Sondaggi (campagna Italferr 2022).

ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84		ATTREZZATURA
				E	N	
S2	25.0	05-10/10/2022	8.0	12°30'21.9862"	37°53'53.4446"	Piezometro T.A. 3" fenestrato da 5 a 25 m da p.c.
S3	30.0	05-08/10/2022	12.0	12°30'28.0883"	37°53'50.0749"	Tubo in PVC da 3" per sismica in foro

Tabella 8-2 - Valori di K (cm/s) calcolati tramite prove di permeabilità a carico variabile eseguite in foro di sondaggio (campagna Italferr 2022).

ID sondaggio	Profondità della prova (m)	Valore K (m/s)
S2	4,5	8,05E-08
S2	8,8	2,66E-07
S3	3,8	6,44E-07

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-3: Campioni prelevati nei fori di sondaggio (campagna Italferr 2022) .

ID Campione	Tipologia campione	Profondità della prova (m)
S2-CI1	Indisturbato	4,0 - 4,5
S2-CI2	Indisturbato	9,5 – 10,0
S2-CR1	Rimaneggiato	16,0 – 16,4
S2-CI3	Indisturbato	17,5 – 17,9
S2-CL1	Rimaneggiato	24,35 – 24,65
S3-CI1	Indisturbato	4,0 - 4,5
S3-CR1	Rimaneggiato	10,0 – 10,5
S3-CI2	Indisturbato	13,0 – 13,4
S3-CL1	Rimaneggiato	16,2 – 16,45
S3-CL2	Rimaneggiato	28,0 – 28,45

Tabella 8-4 – Valori di Nspt sondaggi registrati nei sondaggi Italferr 2022 (campagna Italferr 2022).

SONDAGGIO	Profondità della prova (m)									
	1.50	1.55	4.50	7.60	10.00	10.50	13.40	13.50	16.40	18.60
S2 (Nspt)	-	7	16	14	24	-	-	8	R	R
S3 (Nspt)	7	-	10	18	-	R	31	-	-	-

Tabella 8-5 - Prove geofisiche MASW e DOWN HOLE (campagna Italferr 2022).

ID	Coordinate UTM WGS84		Vs, eq [m/sec]	Classe di suolo
	E	N		
MASW 1	12°30'17.18"	37°53'54.27"	245	E
MASW 2	12°30'23.42"	37°53'52.62"	231	E
MASW 3	12°30'28.28"	37°53'50.39"	232	E
DH S3	12°30'28.0883"	37°53'50.0749"	257	E

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-6 – Tomografie sismiche (campagna Italferr 2022).

ID	Coordinate UTM WGS84	
	E	N
L1 ESTREMO A	12°30'25.67"	37°53'46.90"
L1 ESTREMO B	12°30'29.27"	37°53'51.97"
L2 ESTREMO A	12°30'22.06"	37°53'53.40"
L2 ESTREMO B	12°30'28.06"	37°53'50.03"

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

9 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Nel presente paragrafo si descrive la stratigrafia delle aree di studio sulla base delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili.

In corrispondenza del Sottopasso Stradale/Pedonale, è stato eseguito il sondaggio S2-2022 (L 25,00 m); la verticale del sondaggio ha attraversato i seguenti terreni, a partire dal piano campagna:

- da 0,00 m a 20,90 m deposito costituito da argilla-sabbiosa e/o limo-sabbioso di colore marrone chiaro, da mediamente consistente a consistente; spessore circa 21,00 m, umido. È da evidenziare la presenza, all'interno di questo deposito, di uno strato e/o lente di ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa di colore giallo, addensata, compresa tra 13,50 m e 16,50 m dal p.c.; spessore 3,00 m. Questi terreni, date le loro caratteristiche granulometriche e deposizionali, appartengono alla Facies (AFLb) del Sintema di Capo Plaia.
- da 20,90 m a 22,90 m deposito costituito da argilla di colore grigio molto consistente, umida; tale deposito, date le caratteristiche granulometriche e deposizionali, appartiene alla Facies ECPa del Sintema Paceco (parte alta).
- da 20,90 a 25,00 m arenaria di colore grigio, di aspetto litoide, con abbondanti cristalli di sale (Halite), con sottili intercalazioni millimetriche di argilla di colore grigio-verde, da mediamente compatta a compatta; spessore indagato 2,10 m. Questo deposito appartiene alla Facies ECPa del Sintema Paceco.

Mentre, della Nuova Stazione è stato eseguito il sondaggio S3-2022 (L 30,00 m); la verticale del sondaggio ha attraversato i seguenti terreni, a partire dal piano campagna:

- da 0,00 m a 0,70 m terreno vegetale, a granulometria sabbioso-limosa di colore marrone, poco addensato; spessore circa 0,7 m, asciutto.
- da 0,70 m a 14,00 m deposito costituito da argilla-sabbiosa e/o limo-sabbioso di colore marrone chiaro, da mediamente consistente a consistente; spessore circa 13,30 m, umido. Anche in questo caso, è da evidenziare la presenza di uno strato e/o lente di ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa di colore giallo, addensata, compresa tra 10,00 m e 11,10 m dal p.c.; spessore 1,10 m. Questi terreni, date le loro caratteristiche granulometriche e deposizionali, appartengono alla Facies (AFLb) del Sintema di Capo Plaia.
- da 14,00 m a 15,60 m deposito costituito da argilla di colore grigio molto consistente, umida; tale deposito, date le caratteristiche granulometriche e deposizionali, appartiene alla Facies ECPa del Sintema Paceco (parte alta).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- da 15,60 m a 30,00 m arenaria di colore grigio, di aspetto litoide, con abbondanti cristalli di sale (Halite), con sottili intercalazioni millimetriche di argilla di colore grigio-verde, da mediamente compatta a compatta; spessore indagato 14,40 m. Tale deposito appartiene alla Facies ECPa del Sintema Paceco.

Sulla base di quanto sopra esposto, e dall'analisi delle indagini Geofisiche condotte in sito (cfr. RS7J00R69IGGE0005001A Indagini Geofisiche 2022), è stato possibile ricostruire il modello geologico di riferimento (cfr. RS7J00R69LZGE0001001A Profilo Geologico Nuova Viabilità/Stazione) che evidenzia come la Nuova Stazione è impostata all'interno dei depositi appartenenti alla Facies ECPa del Sintema Paceco mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale ricade all'interno dei depositi fluvio-palustri del Sintema Capo Plaia (AFLb).

Inoltre, sulla base delle indagini geofisiche (cfr. RS7J00R69IGGE0005001A Indagini Geofisiche 2022), calibrate con i dati dei sondaggi è stato sviluppato il modello geologico al disotto della Nuova Viabilità (NV02) che sottoattraverserà la Strada Provinciale Trapani-Marsala SP21.

Questo profilo evidenzia come la Nuova Viabilità e i Piazzali di interscambio poggiano al disopra dei depositi fluvio-palustri del Sintema Capo Plaia (AFLb) che tendono a chiudersi contro i depositi ECPa del Sintema Paceco, in corrispondenza della Nuova Stazione. Tale ricostruzione è confermata dall'interpolazione delle stese sismiche L1-L2 eseguite, rispettivamente, parallela alla linea ferroviaria Trapani-Castelvetrano e perpendicolare a questa, tra i sondaggi S2-2022 e S3-2022.

Con riferimento a quanto sopra detto, la ricostruzione del modello geologico, nel tratto compreso tra l'Aeroporto "Vincenzo Florio" e il costruendo Sottopasso Stradale/Pedonale, è stato dedotto sia sulla base dei dati geognostici e geofisici, disponibili in questa fase progettuale, che dall'assunzione di corpi deposizionali omogenei ed estesi sotto l'area di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10 MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Al fine della ricostruzione del Modello Idrogeologico di riferimento, sono stati individuati n°4 complessi idrogeologici; questi ultimi sono costituiti da un insieme di uno o più termini litologici che presentano caratteristiche idrogeologiche simili quali; composizione, granulometria, permeabilità, porosità, capacità di infiltrazione, vulnerabilità.

Di seguito sono descritti i complessi idrogeologici, individuati all'interno dell'area di progetto:

- **CCG - Complesso conglomeratico-ghiaioso a permeabilità medio-alta:** comprende i corpi sedimentari principalmente ghiaiosi con ciottoli, eterometrici ed eterogenei, di forma variabile da angolare a sub arrotondata, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante. La permeabilità, strettamente connessa con la porosità dei depositi, è compresa tra 1×10^{-2} m/s e 1×10^{-5} m/s. Fa parte di questo complesso l'orizzonte costituito da ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa, contenuta all'interno dei depositi AFLb.
- **CLF - Complesso fluvio-lacustre a permeabilità bassa:** comprende i corpi sedimentari a granulometria, prevalentemente, limoso-sabbiosa e argilloso-limosa di ambiente deposizionale alluvionale e/o fluvio-lacustre. La permeabilità, strettamente connessa con la porosità dei depositi, è compresa tra 1×10^{-5} m/s e 1×10^{-8} m/s. Fanno parte di questo complesso la seguente unità geologica AFLb - BRM.
- **CPM - Complesso pelitico-marnoso a permeabilità molto-bassa:** comprende le argille e le argille limose presenti in livelli importanti ove erano presenti ambienti di tipo lacustre o di bacino. La permeabilità (primaria) è molto bassa e come compresa tra 1×10^{-7} m/s e 1×10^{-9} m/s. Fanno parte di questo complesso la seguente unità geologica SIC.
- **CSA - Complesso sabbioso-arenaceo a permeabilità variabile:** comprende i depositi arenaceo-sabbiosi, con un grado di cementazione e fratturazione molto variabile; i valori di permeabilità primaria e secondaria sono, rispettivamente, connessi al grado di cementazione e fessurazione. La permeabilità è variabile da media a molto bassa, con valori compresi tra 1×10^{-7} m/s e 1×10^{-9} m/s. Fanno parte di questo complesso la seguente unità geologica ECPa.

Il livello della Falda è stato identificato attraverso l'installazione di un piezometro a Tubo Aperto (Norton) all'interno del sondaggio S2-2022, in corrispondenza del Sottopasso Stradale/Pedonale; le misure piezometriche hanno evidenziato che la superficiale libera della Falda è a -2,00 m dal p.c., conseguentemente, come evidenziato dal profilo idrogeologico (cfr. RS7J00R69LZGE0002001A) la costruenda opera interferisce con la Falda.

Mentre, nel corso della perforazione della verticale S3-2022 e prima dell'installazione del tubo in PVC per l'esecuzione della Prova Down Hole, una lettura piezometrica ha evidenziato che la superficiale libera della Falda è a circa -2,50 m dal p.c.; in questo settore, come evidenziato dal profilo idrogeologico (cfr. RS7J00R69LZGE0002001A) la Nuova Stazione non interferisce con la Falda.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tuttavia, bisogna evidenziare che allo stato attuale è disponibile una misura puntuale del livello piezometrico e che lo stesso è soggetto ad oscillazioni stagionali; queste ultime potrebbero determinare un sollevamento della piezometrica tale da interferire con l'Opera.

Al fine di definire la permeabilità dei terreni interessati dalle costruende opere, all'interno delle verticali di sondaggio sono state eseguite delle prove di permeabilità, a carico variabile, tipo Lefranc le quote di esecuzione sono state stabilite in funzione degli scavi che verranno realizzati per costruire, rispettivamente, il Sottopasso e la Stazione.

Le tre prove, eseguite all'interno dei depositi argilloso-limosi, hanno restituito valori di permeabilità compresi tra $2,66 \times 10^{-7}$ m/s e $8,05 \times 10^{-8}$ m/s.

Le verticali dei sondaggi S2-2022 e S3-2022 intercettano, all'interno dei depositi fini (argille e limi), un orizzonte metrico costituito da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa; in corrispondenza del sondaggio S2-2022 (Sottopasso Stradale/Pedonale), questo livello è stato indagato tra -13.5 m e 16.5 m di profondità da p.c. mentre, nel sondaggio S3-2022 (Nuova Stazione), è compreso tra -10.5 m e -11.1 m di profondità dal p.c.

In mancanza di una Prova di permeabilità, è possibile attribuire per questo terreno, sulla base delle caratteristiche granulometriche e dell'esperienza maturata nel corso dell'esercizio della professione, un valore di permeabilità medio-alto compreso tra 1×10^{-2} m/s e 1×10^{-5} m/s.

Sulla base di quanto sopra esposto, è stato ricostruito il modello idrogeologico di riferimento (cfr. RS7J00R69LZGE0002001A) che evidenzia come la Nuova Stazione è impostata all'interno del Complesso Sabbioso-Arenaceo (CSA) mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale ricade all'interno del Complesso Fluvio-Lacustre (CFL).

I dati piezometrici puntuali, attualmente a disposizione, mostrano che la Stazione non interferisce con la Falda mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale interagisce con la stessa. Tuttavia, in riferimento al Corpo Stazione è verosimile sostenere che le oscillazioni stagionali del livello di Falda possono determinare un sollevamento della piezometrica tale da interagire con la costruenda struttura.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

11 INQUADRAMENTO SISMICO

Di seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e dei risentimenti macrosismici osservati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, sulla scorta delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC 2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere e la loro classe d'uso nei diversi Stati Limite considerati. Seguendo sempre le indicazioni normative, l'accelerazione di progetto si definirà in base all'effettiva localizzazione delle opere.

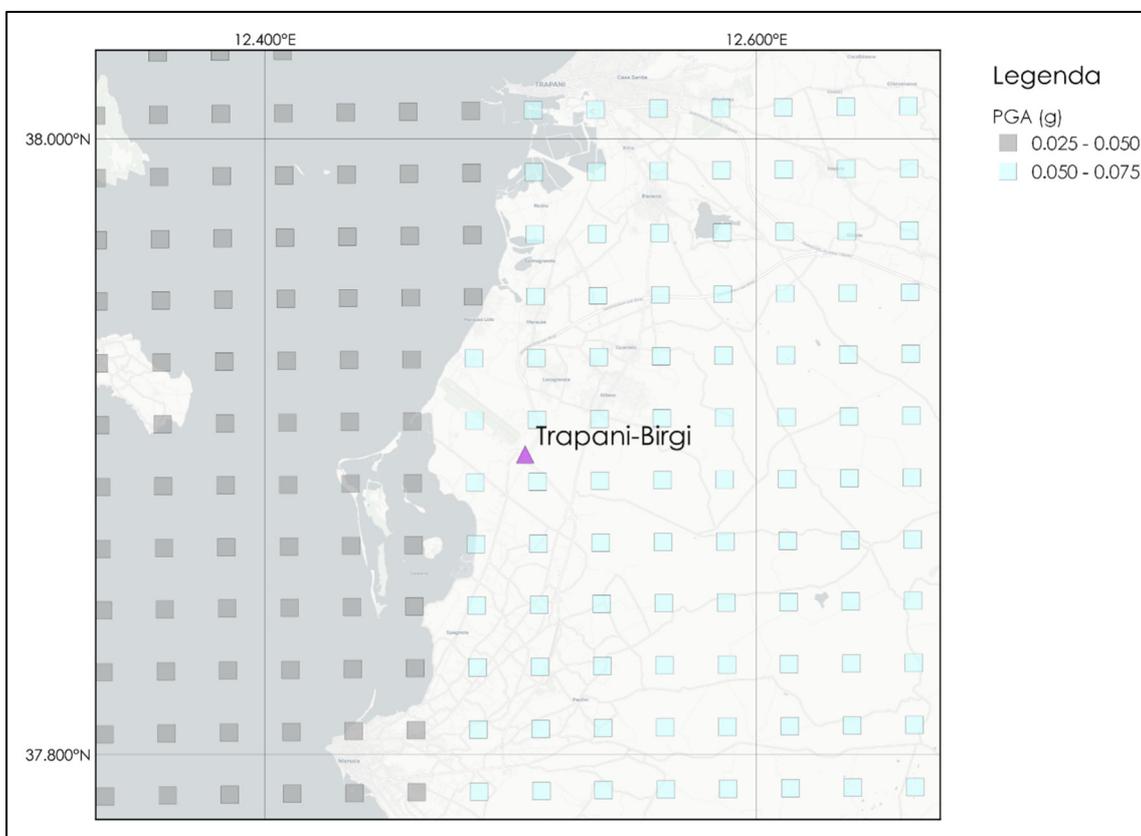


Figura 11-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno del sito di progetto (triangolo viola) per un periodo di ritorno di 475 anni, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Le NTC2018 dispongono che l'azione sismica sia innanzitutto determinata in campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); allo scopo, le tabelle allegate alla edizione 2008 delle NTC (non aggiornate nella nuova edizione delle Norme)

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, nei punti di una griglia di passo 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area di progetto in Figura 3–1). I siti ricadono in una zona a bassa sismicità, Figura 11–1, con valori di accelerazione al suolo compresi tra 0.050 e 0.075.

11.1 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

Le zone sismogenetiche della Sicilia vanno dalla 932 alla 936. Il sito in esame è localizzato a ovest della ZS 934, a circa 40 km di distanza (Figura 11–2).

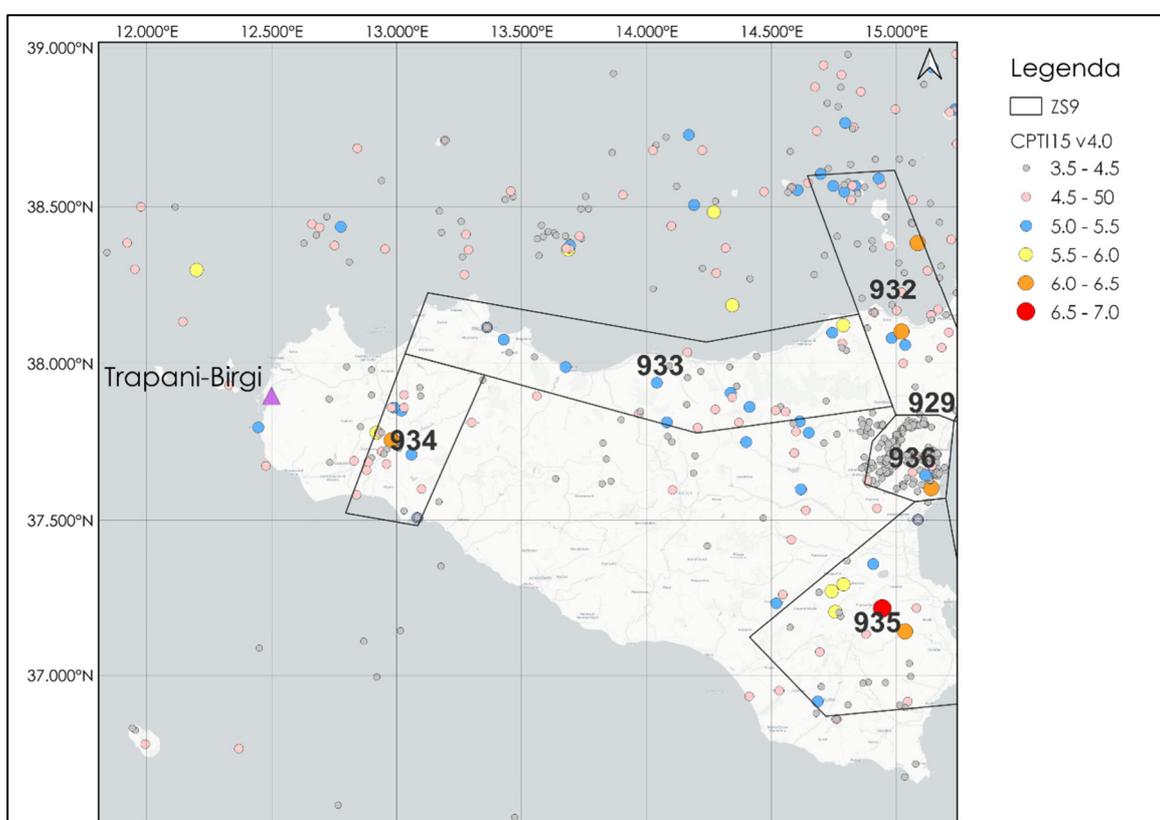


Figura 11–2 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni neri rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali (DISS 3.3.0) mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite. Il triangolo viola indica il sito in esame.

La zona 936 coincide con l'area etnea e presenta sismicità, caratteristiche della fagliazione di superficie e dell'attenuazione del moto del suolo del tutto peculiari (Azzaro, 1999 e Azzaro et al., 2000). Alla zona 932 sono attribuite faglie legate allo "svincolo" che consente l'arretramento dell'arco calabro e le strutture "sintetiche" che segmentano il Golfo di Patti, analogamente a quanto avviene nel bacino di Cefalù.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

La zona 933 comprende la zona di “svincolo” (Monte Kumeta – Alcantara, Ghisetti e Vezzani, 1984) e caratterizza l’area compresa tra l’Etna e i Monti di Palermo. Sulle caratteristiche sismogenetiche dell’area del Belice (ZS 934) non c’è omogeneità di risultati tra gli studi finora effettuati. La ZS 934 è caratterizzata da un’unica sequenza sismica (gennaio 1968) e le analisi geologiche non forniscono dati conclusivi in merito alla geometria della sua sorgente (Michetti et al., 1995, Monaco et al., 1996): le interpretazioni che vedono nel Belice una zona dell’avampaese interessata da movimenti trascorrenti, che originano una struttura “a fiore”, si contrappongono a quelle che ipotizzano un thrust cieco con direzione E-W e vergenza meridionale. Infine, nella ZS 935, ricadono eventi di elevata magnitudo, ad esempio quello del 1963.

Per quanto riguarda il sistema di sorgenti composite e individuali, in Figura 11–3 vengono riportate le informazioni delle sorgenti sismogenetiche individuali DISS 3.3.0 nell’introno del sito in esame.

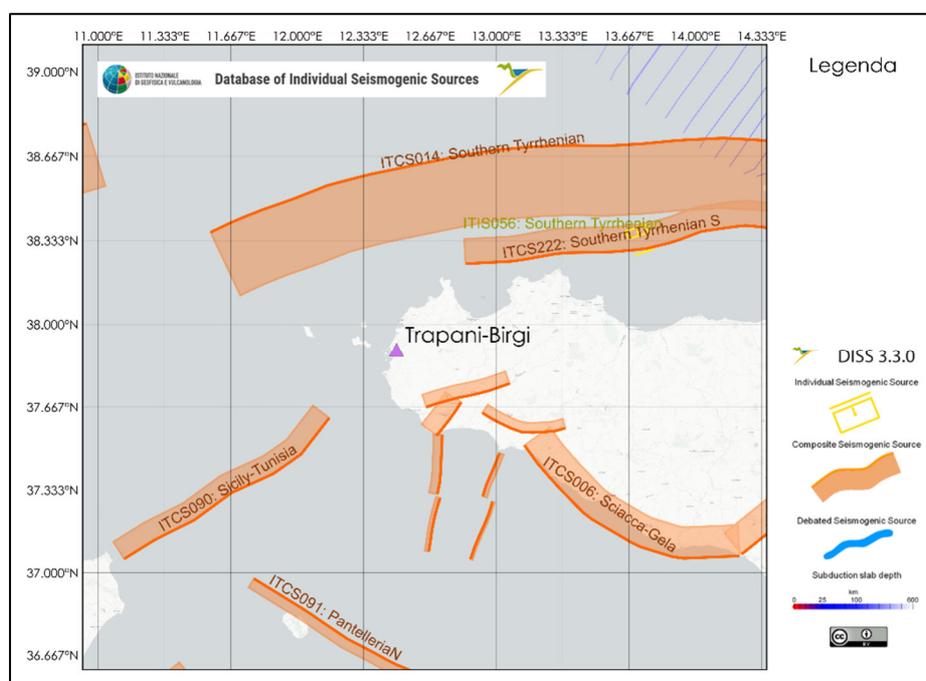


Figura 11–3 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.3.0) rilevanti per l’area in oggetto (trinagolo viola).

A nord si trovano i sistemi di faglie composite ITCS014:Southern Tyrrhenian e ITCS222: Southern Tyrrhenian S, caratterizzate da una magnitudo massima rispettivamente di 8.2 e 7. Il sistema di faglie individuali ITIS056 Southern Thyrrhenian è caratterizzato da una magnitudo massima di 5.9.

Procedendo verso sud, in prossimità del sito, a est, di trovano, da nord verso sud, i sistemi di faglie composite ITCS021 (Mw massima 6.1), ITCS118 (Mw massima 6.6), ITCS119 (Mw massima 6.3), ITCS138 (Mw massima 6.5). Ancora più a est, si trovano i sistemi ITCS120 (Mw massima 5.7), ITCS137 (Mw massima 6.4), ITCS139 (Mw massima 6.6), ITCS006 (Mw massima 7.2).

A sud-ovest si trova il sistema ITCS090: Sicily Tunisia, caratterizzato da una magnitudo massima di 6.9.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

11.2 FAGLIE CAPACI

A completamento del quadro delineato, vanno considerati anche i dati relativi a possibili sorgenti sismogenetiche derivanti dagli studi condotti dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) confluiti nel "Progetto ITHACA – Catalogo delle faglie capaci". Sulla base delle indicazioni del catalogo, non sono state individuate lineazioni potenzialmente interagenti con il tracciato di progetto (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).

11.3 INTENSITÀ MACROSISMICHE

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche (IMCS) risentite a seguito dei terremoti accaduti fino al 2020.

In particolare, la Figura 11–4 mostra la storia sismica in termini di intensità macrosismica associata al Comune di Marsala, e in Figura 11–5 del Comune di Trapani. Si nota come la frequenza degli eventi sismici, in grado di produrre risentimenti al sito, non è elevata e che le intensità sismiche massime, avvertite nel comune di Marsala, sono di intensità IMCS=7.

Da quanto sopra si evince come sia associabile all'area interessata dal tracciato di progetto una sismicità complessivamente tra il basso ed il moderato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

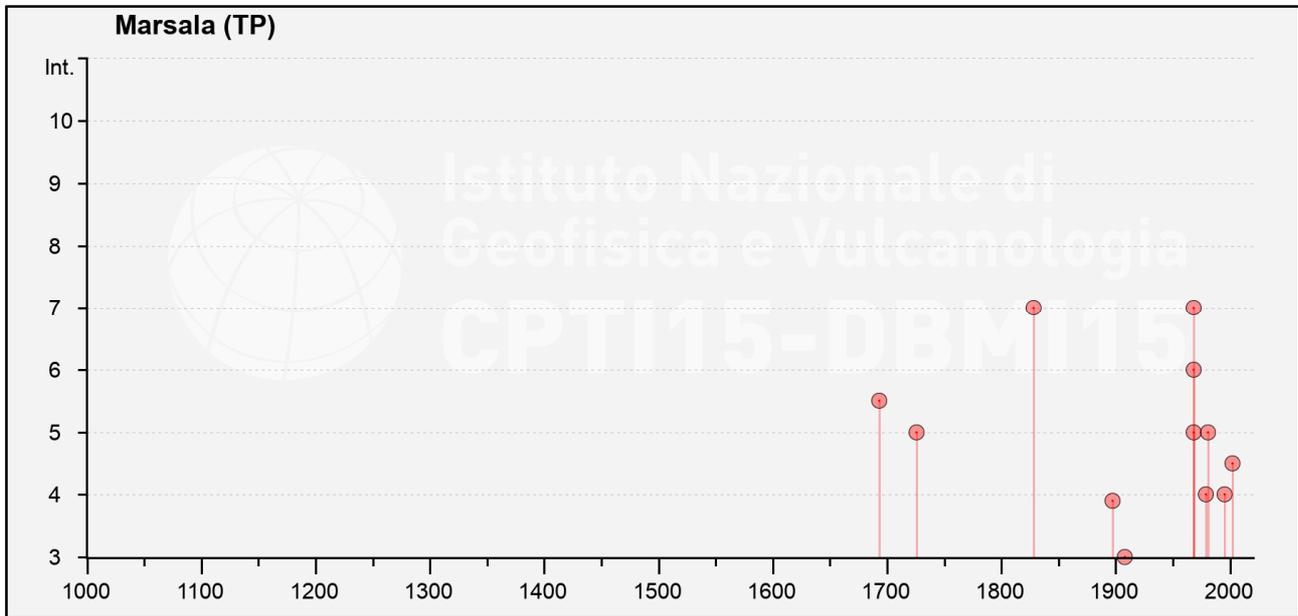


Figura 11-4 – Storia sismica in termini di intensità macrosismica (IMCS) associata al Comune di Marsala (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

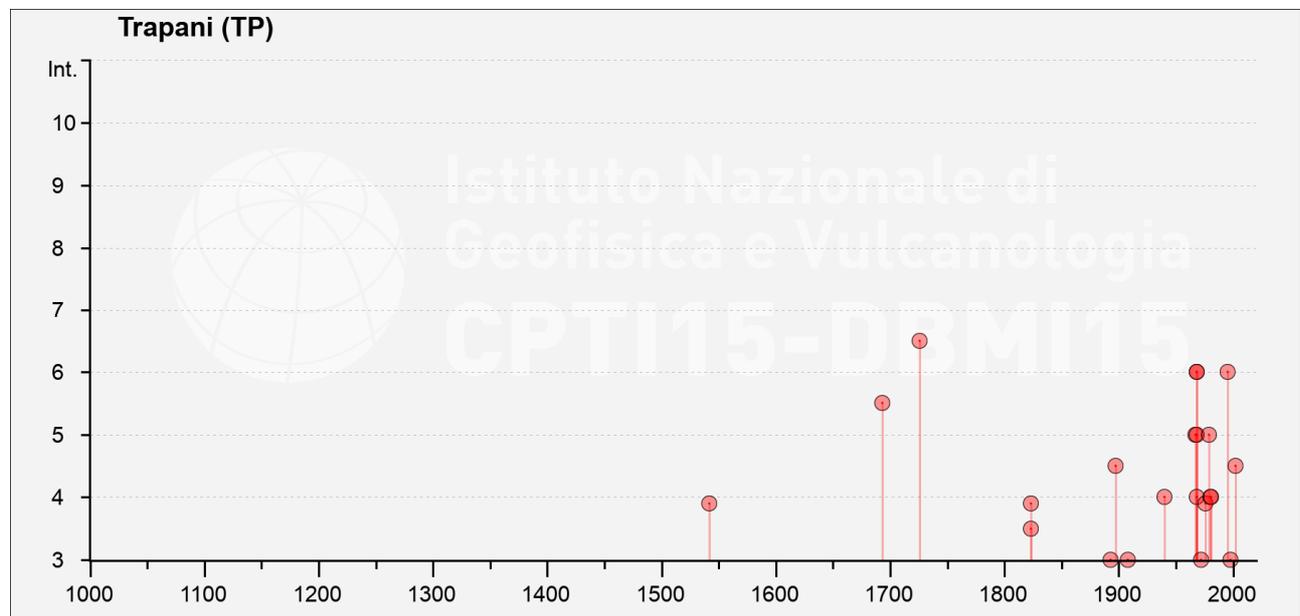


Figura 11-5– Storia sismica in termini di intensità macrosismica (IMCS) associata al Comune di Trapani (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

11.4 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

11.4.1 Generalità

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

In accordo all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003 e successivamente modificata con la D.G.R. n. 81 del 24 febbraio 2022, territorio di Marsala ricade in Zona sismica 2: *Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.*

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

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

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 11.4.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 11.4.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti. La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 0 arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

11.4.2 Vita utile e classe d'uso

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

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

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

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

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

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

“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e 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”

Il fabbricato tecnologico invece appartiene alla Classe d'Uso IV, ossia:

“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.”

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

$$C_U = 1.0 \text{ per la Classe d'Uso II}$$

$$C_U = 2.0 \text{ per la Classe d'Uso IV}$$

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

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni per la Classe d'Uso II}$$

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni per la Classe d'Uso IV}$$

11.4.3 Stati limite e probabilità di superamento

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

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

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

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

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

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 11-1.

Tabella 11-1 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto per i diversi stati limite.

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR}	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R	
			$V_R = 50$ anni	$V_R = 100$ anni
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	30	60
	Stato limite di danno (SLD)	63%	50	101
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	475	949
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	975	1950

11.4.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 11-2, si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009) per i due siti di progetto.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

I risultati dell'interpolazione per i parametri a_g , F_0 e T_{c^*} per i diversi Stati Limite per i siti di progetto sono indicati in Tabella 11-3.

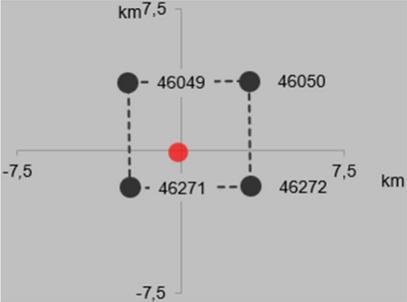
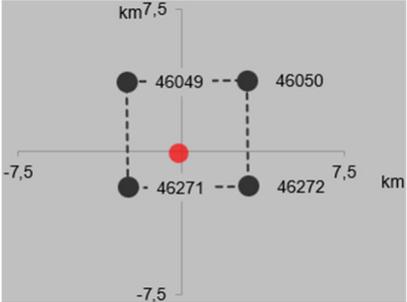
ID Sito	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
Opere	12,506921	37,89766	
Fabbricato tecnologico	12,508154	37,897223	

Tabella 11-2 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno del sito di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

ID Sito	SL	T _R (anni)	a _g (g)	F _o (-)	T _c * (s)
Opere	SLO	30	0,015	2,505	0,145
	SLD	50	0,020	2,510	0,166
	SLV	475	0,052	2,478	0,316
	SLC	975	0,065	2,552	0,342
Fabbricato tecnologico	SLO	60	0,022	2,483	0,181
	SLD	101	0,029	2,439	0,213
	SLV	949	0,065	2,549	0,341
	SLC	1950	0,080	2,627	0,364

Tabella 11-3 – Valori dei parametri a_g, F_o, T_c* per gli stati limite di riferimento per il sito di progetto (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per V_R = 100 anni.

11.4.5 Risposta sismica locale

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

$$S = S_S \cdot S_T$$

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

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

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

Sulla base dei risultati della campagna di prospezioni geofisiche, che ha compreso l'esecuzione di n. 3 prove geofisiche di tipo MASW (Masw 1, Masw 2 e Masw 3 al paragrafo 8.1) e una prova geofisica di tipo Down Hole presso il sito di progetto, che restituiscono valori equivalenti di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_{S,eq}, comprese tra a 231 m/s e 257 m/s con bedrock sismico (Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio maggiore o uguale a 800

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

m/s) a meno di 30 m di profondità da p.c., il sito di progetto delle opere si colloca all'interno della zona definita con categoria di suolo E in accordo alla Tabella 11-4. Per quanto concerne il fabbricato tecnologico non avendo indagini geofisiche per la presente fase nell'area di progetto si sono utilizzati i risultati dell'indagine più prossima (Masw 3), che restituisce un valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ pari a 232 m/s con bedrock sismico a meno di 30 m di profondità da p.c.; il sito di progetto del fabbricato si colloca dunque all'interno della zona definita con categoria di suolo E in accordo alla Tabella 10 4

I coefficienti S_s per la categoria di sottosuolo E si ottengono dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$SS = 1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot Fo \cdot ag/g \leq 1.60 \text{ (Suolo tipo C)}$$

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

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 11-4 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

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

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

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Suolo	Descrizione geotecnica
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.

Tabella 11-4 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

ID Sito	SL	T _R (anni)	a _g (g)	S (-)	a _{max} (g)
Opere	SLO	30	0,015	1,600	0,024
	SLD	50	0,020	1,600	0,032
	SLV	475	0,052	1,600	0,083
	SLC	975	0,065	1,600	0,105
Fabbricato tecnologico	SLO	60	0,022	1,600	0,036
	SLD	101	0,029	1,600	0,046
	SLV	949	0,065	1,600	0,104
	SLC	1950	0,080	1,600	0,128

Tabella 11-5 – Valori di a_g e dei coefficienti di sito S (S₁=1) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per V_R = 100 anni per il sito di progetto.

11.5 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Per la definizione del valore di magnitudo di riferimento, può essere considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1 (Figura 11-6). La magnitudo media calcolata a partire dalla disaggregazione della pericolosità sismica in termini di PGA con probabilità di eccedenza del 5% e 10% in 50 anni (SLV in questo caso) risulta rispettivamente pari a **5.35** e **5.25**. Si veda a tal proposito la Figura 11-6.

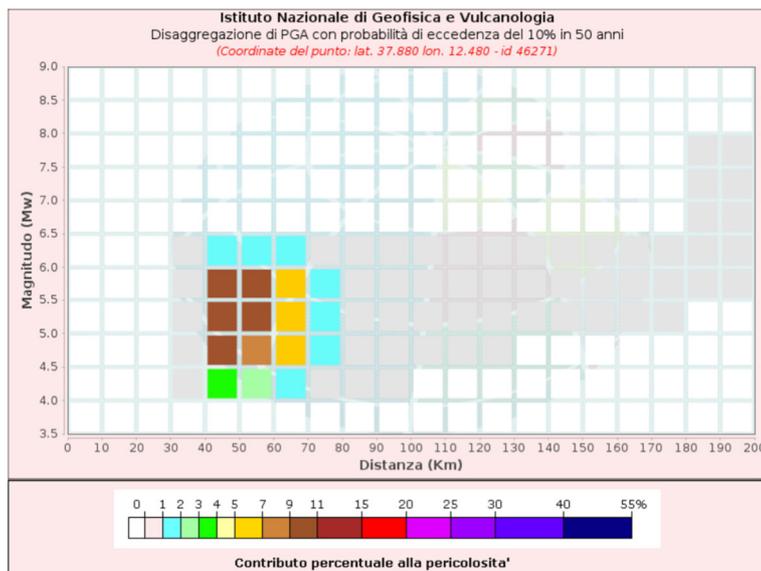
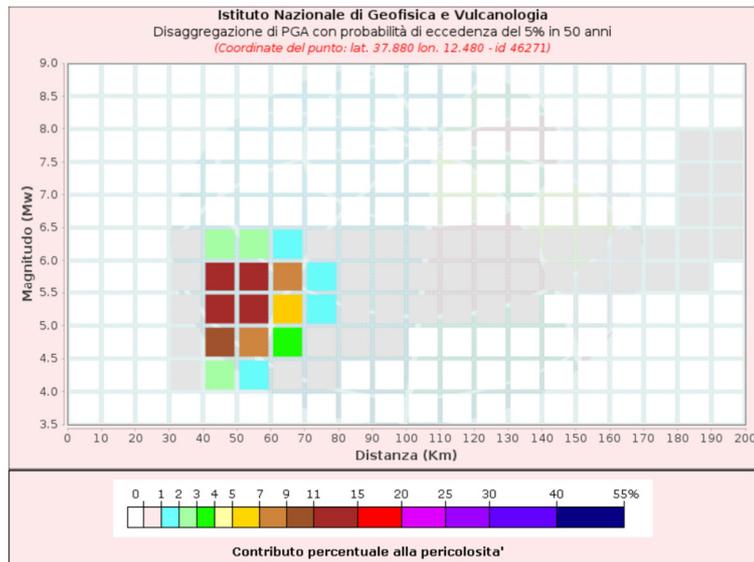


Figura 11-6 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

11.6 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC 2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC2018.

Per le opere relative alla Nuova Stazione e al Sottopasso Stradale/Pedonale di progetto, l'accelerazione massima al suolo riferita allo stato limite SLV, pari a 0.083 g, risulta inferiore alla soglia limite 0.1 g; pertanto, la verifica alla liquefazione può essere omessa.

Per quanto concerne invece il Fabbricato Tecnologico, la verifica a liquefazione non può essere omessa poiché l'accelerazione massima al suolo per lo stato limite SLV (Stato Limite salvaguardia della Vita) risulta essere pari a 0.104 g, ovvero superiore alla soglia limite 0.1 g. Questo non permette di escludere, a priori, il verificarsi del fenomeno di liquefazione.

Purtroppo, è da evidenziare che in questa fase progettuale non sono state eseguite indagini geognostiche in corrispondenza dell'area d'imposta del fabbricato, per cui l'ulteriore approfondimento è rimandato nella successiva fase progettuale.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

12 CONCLUSIONI

In conclusione, è possibile affermare che:

- L'area oggetto di studio è ubicata sulla costa occidentale della Sicilia, al confine tra i territori comunali di Marsala e Trapani, lungo la linea ferroviaria a binario unico Trapani-Castelvetrano, nei pressi dell'Aeroporto Trapani-Birgi "Vincenzo Florio".
- Dal punto di vista geomorfologico, l'area in esame è caratterizzata da un'ampia fascia costiera sub-pianeggiante e da una zona collinare interna, debolmente ondulata. L'area collinare mostra un paesaggio debolmente ondulato costituito dall'alternanza di piccoli rilievi isolati, con cime arrotondate e versanti blandamente inclinati, e di dolci depressioni fluviali, appena accennate. La fascia costiera emersa si sviluppa ininterrottamente da nord a sud, da Paceco a Marsala ed è caratterizzata dalla presenza di vecchi Terrazzi Marini.
- In merito alla pericolosità geomorfologica, dalla consultazione della Carta Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) e della Cartografia PAI, non si evidenziano fenomeni di dissesto gravitativo in corrispondenza dell'area di progetto.
- Per ciò che riguarda l'idrogeologia, l'area di studio ricade all'interno del Complesso Idrogeologico della Piana di Marsala costituito da depositi arenacei e/o sabbioso-arenacei. Data la sua costituzione geologica, il complesso è sede di acquiferi estesi in corrispondenza delle porzioni a carattere maggiormente arenitico, presentando una permeabilità sia per porosità, nelle porzioni sciolte o alterate, che per fessurazione, nelle porzioni più compatte e/o lapidee.
In particolare, è possibile distinguere almeno due falde idriche: una profonda, impostata nelle Calcareni di Marsala, parzialmente semiconfinata da livelli discontinui poco permeabili, e una superficiale di tipo libera, ospitata nei depositi terrazzati tirreniani. Quest'ultima è alimentata dalle precipitazioni atmosferiche e, in particolari condizioni, dalla risalita della falda profonda.
- Dal punto di vista sismico, l'area di progetto è caratterizzata da una modesta sismicità; mentre l'analisi dei dati geofisici, raccolti in sito, indicano una categoria di suolo E. L'analisi di pericolosità, relativa al fenomeno di liquefazione, può essere omessa per le costruende opere Stazione/Sottopasso, in quanto l'accelerazione massima attesa al suolo per lo stato limite SLU è 0,083g; tale valore è inferiore alla soglia limite di riferimento di 0,1g. Questa assunzione non può essere applicata al Fabbricato Tecnologico, in corrispondenza del quale sono attese accelerazioni superiori. In mancanza di dati di campagna, l'analisi al fenomeno di liquefazione è demandata alla fase successiva della progettazione.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- Per quanto riguarda l'aspetto geologico e litostratigrafico, in corrispondenza dell'area di progetto affiorano i sedimenti continentali e/o costieri di età quaternaria. In particolare, i depositi continentali sono, prevalentemente, di origine fluvio-lacustre e formano strati e/o lenti di argilla-limosa e limo-sabbioso, di spessore variabile da decimetrico a metrico, ai quali sono intercalati locali orizzonti eterometrici e/o lenti di sabbia-ghiaiosa, con ciottoli; tali depositi sono riferibili al Sintema di Capo Plaia (AFLb).
Mentre, i depositi costieri di barra sommersa-cordone litoraneo- duna eolica, passanti a laguna-stagno costiero, sono costituiti da banchi e/o strati di sabbia e arenaria; localmente, possono trovarsi degli orizzonti costituiti da paleosuoli a granulometria argilloso-limosa. Questi ultimi possono essere riferiti al Sintema di Paceco e, in particolare, alla litofacies di Ballottella (ECPa).
- L'analisi dei dati geognostici (cfr. RS7J00R69SGGE0005001A Indagini Geognostiche 2022), integrati con l'analisi dei dati geofisici (cfr. RS7J00R69IGGE0005001A Indagini Geofisiche 2022) hanno permesso la ricostruzione del modello geologico per le costruende opere (RS7J00R69LZGE0001001A Profilo Geologico Nuova Viabilità/Stazione). In particolare, la Nuova Stazione è impostata all'interno dei depositi appartenenti alla Facies ECPa del Sintema Paceco mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale ricade all'interno dei depositi fluvio-palustri del Sintema Capo Plaia (AFLb).
- Il modello idrogeologico di riferimento (cfr. RS7J00R69LZGE0002001A) evidenzia che la Nuova Stazione è impostata all'interno del Complesso Sabbioso-Arenaceo (CSA; permeabilità variabile da media a molto bassa, valori compresi tra 1×10^{-7} m/s e 1×10^{-9} m/s) mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale ricade all'interno del Complesso Fluvio-Lacustre (CFL; permeabilità compresa tra 1×10^{-5} m/s e 1×10^{-8} m/s). Quest'ultimo contiene al suo interno il Complesso Conglomeratico-Ghiaioso (CCG; permeabilità, strettamente connessa con la porosità dei depositi, è compresa tra 1×10^{-2} m/s e 1×10^{-5} m/s).
I dati piezometrici puntuali, attualmente a disposizione, mostrano che la Stazione non interferisce con la Falda mentre, il Sottopasso Stradale/Pedonale interagisce con la stessa. Tuttavia, in riferimento al Corpo Stazione è verosimile sostenere che le oscillazioni stagionali del livello di Falda possono determinare un sollevamento della piezometrica tale da interagire con la costruenda struttura.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

13 BIBLIOGRAFIA

- Accaino F., Catalano R., Di Marzo L., Giustiniani M., Tinivella U., Nicolich R., Sulli A., Valenti V. & Manetti P. (2011) - A crustal seismic profile across Sicily,
- Agate M., Catalano R., Di Maggio C., Lena G., Moscariello A., Valenti V. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 del Foglio 605 "Paceco".
- Baldacci L. (1886) – Descrizione geologica dell'Isola di Sicilia. Mem. Descr., Carta Geol. D'It.: 3-403, Roma.
- Bello M., Franchino A. & Merlini S. (2000) – Structural model of eastern Sicily. Memorie della Società Geologica Italiana, 55, 61-70.
- Bellon H., Coulon C. & Edel J. (1977) - Le déplacement de la Sardaigne: Synthèse de données géocronologiques, magnétiques et paléomagnétiques
- Bianchi F., Carbone S., Grasso M., Invernizzi G., Lentini F., Longaretti G., Merlini S. & Monstardini F. (1987) – Sicilia orientale: profilo geologico Bebrodi-Iblei. Memorie della Società Geologica Italiana, 38, 429-458
- Bonamini M., Di Maggio et alii, (2003). Sprofondamenti di origine antropica nell'area di Marsala (Sicilia occidentale) analizzati mediante rilievi in sito e analisi numerica dei processi di instabilità nelle cave sotterranee.
- Bonardi G., Giunta G., Liguori V., Perrone V., Russo M. & Zuppetta A. (1976) – Schema geologico dei Monti Peloritani. Bollettino della Società Geologica Italiana, 95, 49-74.
- Bonardi G., Cello G., Perrone V., Tortorici L., Turco E. & Zuppetta A. (1982) – The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani arc in a semiquantitative palynospastic restoration. Bollettino della Società Geologica Italiana, 101, 259-284.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 605 "Paceco", Progetto CARG.
- Catalano R. (1987) - Northeastern Sicily Straits. Stratigraphy and structures from seismic reflection profiles.
- Catalano R., Di Stefano P., Sulli A. & Vitale F.P. (1996) – Paleogeography and structure of the central Mediterranean: Sicily and its offshore area. Tectonophysics, 260, 291-323.
- Catalano R. (1997) - An introduction to stratigraphy and structures of the Sicily chain.
- Catalano R. (2013) - Sicily's fold/thrust belt. An introduction to the field Trip in Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- Channel J.E.T., D'Argenio B. & Horvath F. (1979) - Adria, the African promontory, in Mesozoic Mediterranean paleogeography
- Chiarabba C., De Gori P., Speranza F. (2008) - The southern Tyrrhenian subduction zone: deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution. *Earth Planet.*
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- 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/>, *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*; doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Doglioni C. (1991) - A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions. Possible applications to the Tyrrhenian Apennines system.
- Doglioni C., Harabaglia P., Merlini S., Mongelli F., Peccerillo A. & Piromallo C. (1999) - Orogens and slabs vs. their direction of subduction. *Earth-Science Reviews*.
- Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.E., Kazmin V.G., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjacquet C., Sbertshikov I.M., Geyssant J., Lepvrier C., Pechersky D.H., Boulin J., Sibuet J.C., Savostin L.A., Sorokhtin O., Westphal M., Bazhenov M.L., Lauer J.P. & Biju-Duval B. (1986) - Geologic evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias.
- Galadini F., Galli P., Molin D., Ciurletti D. (2001), Searching for the seismogenic source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multi-disciplinary approach. In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), *The use of historical data in natural hazards assessment*. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 3–27.
- Ghisetti F. & Vezzani L. (1984) – Thin-skinned deformations of the western Sicily thrust belt and relationships with crustal shortening: Mesostructural data on the Mt. Kumeta-Alcantara Fault Zone and related structures. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 103, 129-157.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. et alii (2004) - *Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press.
- 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, Italy, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>, last access Settembre 2012.
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- Lavecchia G., Ferrarini F., De Nardis R., Visini F. & Barbano M.S. (2007) – Active thrusting as a possible seismogenic source in Sicily (Southern Italy): Some insights from integrated structural–kinematic and seismological data. *Tectonophysics*, 445, 145-167.
- Lentini F., Carbone S., Catalano S., Grasso M. & Monaco C. (1991) – Presentazione della carta geologica della Sicilia centro-orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 47, 145-156.
- Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Di Stefano, A., Gargano, C., Romeo, M., ... & Vinci, G. (1995). Sedimentary evolution of basins in mobile belts: examples from the Tertiary terrigenous sequences of the Peloritani Mountains (NE Sicily). *Terra Nova*, 7(2), 161-170.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., 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>.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI: 10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Meletti C. and Valensise G. (2004). *Zonazione sismogenetica dell'Italia e aree adiacenti ZS9*. INGV internal document, available on World Wide Web at <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Monaco C. & Tortorici L. (2000) – Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *Journal of Geodynamics*, 29, 407-424.
- Monaco C., Bianca M., Catalano S., De Guidi G. & Tortorici L. (2002) – Sudden change in the Late Quaternary tectonic regime in eastern Sicily: evidences from geological and geomorphological features. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, vol. spec. 1, 901-913.
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del "Bacino Idrografico del F. Birgi (051) ed Area Territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Birgi ed il Bacino Idrografico del F. Lenzi (050) (2006)
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds) (2021). *Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15)*, version 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>.
- Ruggieri G. & Unti M. (1988) - Una malacofauna del Tirreniano (Pleistocene superiore) di Birgi Novo (Trapani).
- Scandone P., Giunta G. & Liguori V. (1974) – The connection between the Apulia and Sahara continental margins in the Southern Apennines and in Sicily. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 13, 317-323.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Collegamento all'aeroporto di Trapani-Birgi					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA RS7J	LOTTO 00	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 54 di 54

- IdroGEO: La piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico: <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>
- IFFI: Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia: <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>
- Piano di Gestione delle acque del Distretto Idrografico della Sicilia, approvato con Delibera della Giunta Regionale n° 228 del 29/06/2016:
http://pti.regione.sicilia.it/portal/page/portal/PIR_PORTALE/PIR_LaStrutturaRegionale/PIR_AssEnergia/PIR_Dipartimentodellacquaedeirifiuti/PIR_Areematiche/PIR_Settoreacque/PIR_PianoGestioneDistrettoIdrograficoSicilia
- Piano stralcio di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino distrettuale della Sicilia: (<https://www.regione.sicilia.it/istituzioni/regione/strutture-regionali/presidenza-regione/autorita-bacino-distretto-idrografico-sicilia>).
- Sistema Informativo Forestale – Regione Sicilia: <https://sif.regione.sicilia.it/ilportale/carte-d-interesse-territoriale>
- Sistema Informativo Territoriale Regionale – Regione Sicilia: <https://www.sitr.regione.sicilia.it/download/tematismi/pai-download-dati/>