

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE
DENOMINATA “SCICLI”
E OPERE DI CONNESSIONE
POTENZA NOMINALE: 750 MW**

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.lgs.152/2006

PROPONENTE



NINFEA RINNOVABILI Srl

Largo agosto n. 3 20122
MILANO
P: IVA 11920550966

PROGETTAZIONE

RAMBOLL

Viale E. Jenner, 53
20159 MILANO



ELABORATO

N. TITOLO
ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA
(ONSHORE)**

DATA	REVISIONE	EMISSIONE	VERIFICATO	APPROVATO
GIUGNO 2024	00	CMI	ACU	MGR

CODICE COMMESSA	330004730-002	CODICE ELABORATO	REL_A5
-----------------	---------------	------------------	--------



INDICE DELLA RELAZIONE

LISTA ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
1 INTRODUZIONE.....	8
1.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI	8
1.2 STRUTTURA DEL DOCUMENTO.....	9
2 BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	10
2.1 AREA APPRODO	11
2.2 CAVIDOTTO TERRESTRE E STAZIONE UTENTE	14
2.2.1 <i>Attraversamenti mediante TOC</i>	17
2.2.2 <i>Attraversamenti mediante canalizzazione</i>	19
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	21
3.1 CONTESTO GEOLOGICO REGIONALE	21
3.1.1 <i>Contesto strutturale</i>	26
3.2 ASPETTI GEOLOGICI DELL'AREA DI PROGETTO	28
3.2.1 <i>Area approdo</i>	29
3.2.2 <i>Area cavidotto terrestre e stazione utente</i>	33
4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	41
4.1 CONTESTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE	41
4.2 ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI PROGETTO	43
4.2.1 <i>Area approdo</i>	44
4.2.2 <i>Area cavidotto terrestre e stazione utente</i>	48
5 RISCHIO SISMICO	55
5.1 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO	58
5.2 FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.....	65
6 CONCLUSIONI	67
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	69



INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1: Layout del progetto “Scicli”	10
Figura 2-2: Planimetria percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling)	12
Figura 2-3: Profilo longitudinale percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling)	12
Figura 2-4: Tipico di posa del cavo mediante “directional drilling”	13
Figura 2-5 Area proposta cantiere temporaneo per la realizzazione di HDD terra-mare	13
Figura 2-6: Tracciato del cavidotto terrestre (in verde)	14
Figura 2-7: Schema costruttivo relativo alla posa e installazione dei cavidotti su strada asfaltata (a sinistra) e su terreno vegetale (a destra) inserire tipologia di posa su strada sterrata	15
Figura 2-8 Esempio di scavo per interrimento su asfalto	16
Figura 2-9: Possibile localizzazione della stazione utente (SEU) (in azzurro) e della nuova Stazione Elettrica RTN (in giallo).....	17
Figura 2-10: Inquadramento degli attraversamenti in TOC su ortofoto	18
Figura 2-11: Sequenza tipica di realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)	19
Figura 2-12: Inquadramento dell’attraversamento in canalizzazione su ortofoto	20
Figura 3-1: Schema tettonico dei Domini strutturali nel Mediterraneo centrale (<i>Carbone, Messina, Lentini, 2007</i>). In figura, l’area di approdo del progetto è indicata dal cerchio rosso	22
Figura 3-2: Schema stratigrafico-strutturale dell’Avampaese Ibleo (da LENTINI et alii, 1984 modificato), applicato su immagine DEM (Digital Elevation model) (da Lentini et al., 2014). In figura il cavidotto terrestre è riportato in verde, mentre in blu la buca giunti a congiunzione tra il cavidotto terrestre e quello marino (in viola).....	25
Figura 3-3: Carta geologica e strutturale della regione Iblea (Romagnoli et al., 2015). In figura è mostrato il cavo terrestre in verde.	26
Figura 3-4: Schema geologico-strutturale della Sicilia sud-orientale. Il riquadro mostra il fronte della Catena Appenninico-Maghrebide, le principali faglie quaternarie e la sismicità del Mediterraneo centrale. Gli stereoplot si riferiscono ai dati strutturali misurati lungo diversi lineamenti quaternari del Plateau Ibleo: a-b) Graben di Scordia-Lentini; c) Bacino di Augusta; d) Bacino di Florida; e) Sistemi a pieghe del margine sud-orientale; f) Linea di Scicli. L’ area di progetto è indicata dal rettangolo rosso.	28
Figura 3-5: Stralcio della Carta Geologica della Sicilia (scala 1:250.000, Lentini & Carbone, 2014)	30



Figura 3-6: Stralcio della Tavola N. 34 “Carta Geologica” (Piano Regolatore del comune di Ragusa). Scala 1:10.000. In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in celeste la buca giunti.	31
Figura 3-7: Dettaglio della carta geologica contenuta nella Tavola n.34 con riferimento all’area di approdo del progetto (Piano Regolatore del comune di Ragusa), in alto a sinistra parte della sezione geologica A-A’ con orientazione Nord Est – Sud Ovest. In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in celeste la buca giunti.	32
Figura 3-8: Tavola 3 “Componenti geologiche ed idrologiche” del Piano di Utilizzo del Demanio marittimo ((P.U.D.M.) del comune di Ragusa (Adeguamento alla L.R. n.3 del 17/03/2016 e D.A. 319/GAB del 05/08/2016). In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti.	33
Figura 3-9: Posizione delle faglie “capaci” secondo quanto indicato nel Progetto ITHACA sviluppato dal Servizio Geologico di Stato (ITHACA - Catalogo delle faglie capaci — Italiano (isprambiente.gov.it). In figura è mostrato il cavo terrestre in verde, e in rosso le faglie Marina di Ragusa (in prossimità dell’area progetto) e di Comiso più a Nord - Ovest.	34
Figura 3-10: Stralcio della Carta Geologica della Sicilia (scala 1:250.000, Lentini & Carbone, 2014). In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti e in giallo la stazione utente.	36
Figura 3-11: Ubicazione delle perforazioni eseguite nella zona di interesse (dati disponibili da Map Viewer (isprambiente.it). In figura, il cavo offshore è mostrato in celeste, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti.....	38
Figura 4-1: Aree di Rischio (R) geomorfologico identificate nell’area di approdo (PAI, Regione Siciliana, 2024)	45
Figura 4-2: Estratto PAI Erosione Costa – Tratti costieri a rischio erosione elevato in blu (Regione Siciliana, 2024).....	47
Figura 4-3: Profilo di elevazione del cavidotto terrestre (Immagine da Google Earth Pro).	49
Figura 4-4: (a) Successione stratigrafica dell’Altopiano di Siracusa (la linea tratteggiata rappresenta in parte il contatto, parzialmente ricoperto dalla scarpata, tra la Formazione Tellaro alla base e la Formazione Palazzolo in alto); (b) Successione stratigrafica dell’Altopiano di Ragusa (calcareniti a stratificazione massiccia, alla base; calcareniti alternato a marne in alto).	50
Figura 4-5: Aree di pericolosità (P) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024).. In figura, il cavo terrestre è mostrato in giallo, le aree a pericolosità geomorfologica in arancione (P3), mentre l’area proposta per l’attraversamento tramite TOC è contrassegnato dal cerchio rosso.....	51
Figura 4-6: Aree di pericolosità (P) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024)	52



Figura 4-7: Aree di rischio (R) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024)	52
Figura 4-8: Stralcio carta geomorfologica Tavola N. 53 del Piano Regolatore del Comune di Ragusa. In verde in figura, il tracciato del cavidotto terrestre (Piano Regolatore del Comune di Ragusa,2006).	53
Figura 4-9: Aree di pericolosità (P) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024)	54
Figura 4-10: Immagine da Google Earth dell'area identificata come media pericolosità (P2) nella Figura 5-14	54
Figura 5-1: Mappa delle strutture sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili et al., 2008).	55
Figura 5-2: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)	56
Figura 5-3: Classificazione sismica della Regione Sicilia (Dipartimento della Protezione Civile - Regione Siciliana). In verde è evidenziata l'area di interesse.	58
Figura 5-4: Area di interesse dove è situata l'area di approdo	63
Figura 5-5: Area di interesse dove è situata la sottostazione di collegamento alla rete nazionale	64



LISTA ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

Acronimo	Definizione
ag	accelerazione orizzontale massima attesa
Amax (m/s ²)	Massima accelerazione
Beta	Coeff. di riduzione della massima accelerazione attesa
CU	Coefficienti d'Uso
Fo	Fattore di amplificazione
NTA	Norme Tecniche di Attuazione
NTC	Norme Tecniche per Le Costruzioni
PAI	Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico
PG	Pericolosità geomorfologica
PGR	Piano Regolatore Generale
PPTR	Piano Paesaggistico Territoriale Regionale
PTA	Piano di Tutela delle Acque
PVR	Periodo Di Riferimento
RTN	Rete di Trasmissione Elettrica Nazionale
SLC	Stato Limite Di Collasso
SLD	Stato Limite Di Danno
SLE	Stato Limite Di Esercizio
SLO	Stato Limite Di Operatività
SLU	Stato Limite Ultimo
SLV	Stato Limite Di Salvaguardia
TC	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro
TOC	Trivellazione Orizzontale Controllata
TR	Periodo Di Ritorno



Acronimo	Definizione
VN	Vita Nominale



1 Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione geologica predisposta per NINFEA RINNOVABILI S.r.l. nell'ambito dello sviluppo del progetto del Parco Eolico Offshore denominato "Scicli", ubicato nello Stretto di Sicilia. Il punto dell'impianto più vicino alla costa Siciliana, tra Marina di Modica e Marina di Ragusa, dista circa 27 km, il punto più distante è posto oltre 41 km dalla costa.

La presente relazione geologica si propone di fornire un'analisi delle caratteristiche geologiche, della composizione litologica e delle caratteristiche geomorfologiche e sismiche dell'area interessata dal progetto, in particolare della parte sviluppata a terra. Il presente studio è stato condotto mediante analisi e interpretazione di dati bibliografici, analisi dei dati geologici esistenti e consultazione della cartografia di riferimento, nonché sulla base di esperienze pregresse della scrivente nell'ambito di progetti simili.

L'obiettivo principale è quello di fornire una comprensione completa e accurata della geologia dell'area in esame, al fine di supportare decisioni di pianificazione territoriale, valutazione del rischio geologico o qualsiasi altro contesto in cui la conoscenza geologica sia rilevante ai fini del progetto.

1.1 Riferimenti Legislativi

Per quanto concerne i principali riferimenti normativi a cui il presente elaborato fa riferimento, ne viene di seguito riportata una lista dei principali, tanto a livello nazionale quanto regionale e locale:

- Norme Tecniche per Le Costruzioni (NTC) DM 17/01/2018.
- Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64 con cui è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Sicilia, redatta con i criteri dell'Ordinanza PCM 28 aprile 2006, n. 3519, la cui proposta è stata condivisa dalla Giunta Regionale con la Deliberazione 24 febbraio 2022, n. 81, tenendo conto delle rettifiche riportate d'ufficio riguardo ai Comuni di Favara (AG) e Pantelleria (TP).
- Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana, redatto ai sensi dell'art. 17 della L. 18/05/1989 n. 183 e dell'art. 1 del D. Lgs. 11/06/1998 n.180, convertito con L. 03/08/1998, n.267 e s.m.i.; aggiornato con D.P. n. 9/ADB del 06/05/2021.
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 "Norme in materia ambientale" che costituisce un testo unico delle norme in materia di tutela ambientale e gestione dei rifiuti.



1.2 Struttura del documento

Il presente documento è organizzato come segue:

- il **Capitolo 1 e 2** riporta la premessa del documento e descrive sinteticamente le caratteristiche del progetto.
- il **Capitolo 3** presenta un inquadramento dal punto di vista geologico regionale e dell'area di progetto.
- il **Capitolo 4** fornisce una sintesi delle caratteristiche geomorfologiche dell'area e più in dettaglio della zona interessata dal progetto.
- il **Capitolo 5** fornisce una valutazione del rischio sismico dell'area e dell'opera di progetto;
- il **Capitolo 6** illustra le conclusioni dello studio.



2 Breve descrizione del progetto

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili volti alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, NINFEA RINNOVABILI S.r.l. si propone di avviare un progetto per la realizzazione di un nuovo impianto eolico offshore denominato "Scicli", di potenza pari a 750 MW, in uno specchio d'acqua nello Stretto di Sicilia a circa 27km dalla costa Siciliana tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

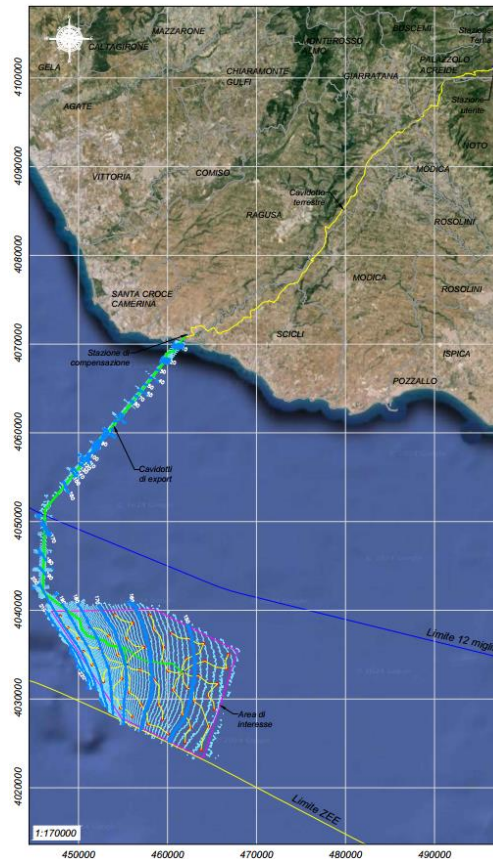


Figura 2-1: Layout del progetto "Scicli"

Il progetto prevede l'installazione offshore di:

- 50 aerogeneratori di potenza nominale di 15 MW cadauno, per una potenza nominale complessiva pari a 750 MW, localizzati ad una distanza minima di 27 km e massima di 40 km dalla costa Siciliana;
- 2 sottostazioni elettriche offshore su fondazione fissa (jacket) per l'innalzamento della tensione da 66 kV a 220 kV, ubicate ad una distanza minima di 33 km da costa;
- Cavi di campo (inter-array) per il collegamento delle turbine alle sottostazioni elettriche offshore;
- 4 cavidotti di export a 220 kV per il trasporto dell'energia dalle stazioni elettriche offshore al punto di giunzione a terra.



Il progetto prevede l'installazione onshore di:

- Buca giunti e gruppo di compensazione a terra;
- Cavidotto terrestre per il trasporto di energia dalla stazione di compensazione a terra alla stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente) ubicata nei pressi della Stazione Terna;
- Stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente);
- Cavidotto di collegamento a 380kV dalla stazione utente alla stazione Terna.

Per la connessione del Parco Eolico off-shore di Scicli sono previste delle opere di connessione che consistono in nuove opere della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), in particolare una nuova Stazione Elettrica (SE) a 380 kV da inserire in entra – esci alla esistente linea 380 kV della RTN “Chiaramonte Gulfi – Priolo. Per la nuova SE RTN è in fase di approvazione, da parte di Terna.

2.1 Area approdo

In prossimità dell'approdo, l'attraversamento della parte di transizione mare/terra dei cavidotti di export sarà realizzato tramite una perforazione per ogni singolo cavo (previa analisi di fattibilità). La parte di transizione prevista con HDD (Horizontal Directional Drilling o Trivellazione Orizzontale Controllata) inizierà in mare a circa 480 m dalla linea di costa in località Marina di Ragusa, ad una profondità di circa -5 m s.l.m., e raggiungerà la Buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia, la strada SP63 e una zona agricola, con uno sviluppo complessivo di circa 1.100°m lineari (Figura 2-2 e Figura 2-3), e una profondità massima pari a -30 m s.l.m.;

Per la posa in prossimità dell'approdo si potrà procedere seguendo la tecnica riportata in Figura 2-4, il sistema di posa consisterà nella realizzazione di un foro sotterraneo che costituirà la sede di infilaggio di una tubazione-camicia in plastica o metallo. Il foro nel sottosuolo verrà realizzato mediante l'azione di una fresa rotante posta all'estremità di un treno d'aste. Con questa tecnica la traiettoria della testa di trivellazione verrà teleguidata dalla superficie permettendo in questo modo di realizzare percorsi prestabiliti che raggiungono lo scopo auspicato con tolleranza di pochi centimetri. Una volta raggiunto lo scavo di arrivo, la fresa verrà scollegata e inserito in foro un alesatore con relativa testa della tubazione da posare. L'alesatore amplierà poi le dimensioni del foro pilota allo scopo di creare la sede di posa della nuova tubazione a questa collegata.

L'estremità lato mare del tratto da eseguire con trivellazione teleguidata sarà provvisoriamente protetta con apposito palancoato (sheet piling), all'interno del quale sarà effettuato uno scavo per far uscire l'estremità della punta di trivellazione, evitando al contempo il contatto tra acqua e fanghi. Il palancoato sarà scoperto sul lato superiore e avrà un'altezza di circa 1 m oltre il livello massimo dell'acqua. Avrà una larghezza di circa 8 m, una lunghezza di 150 m e 12 m di profondità.

Il condotto portacavi (tubo HDPE) avrà un diametro di 1.200 mm e uno spessore di 88 mm.



Per maggiori dettagli si veda l'elaborato grafico TAV. 34 Planimetria e sezioni approdo terra mare (HDD)

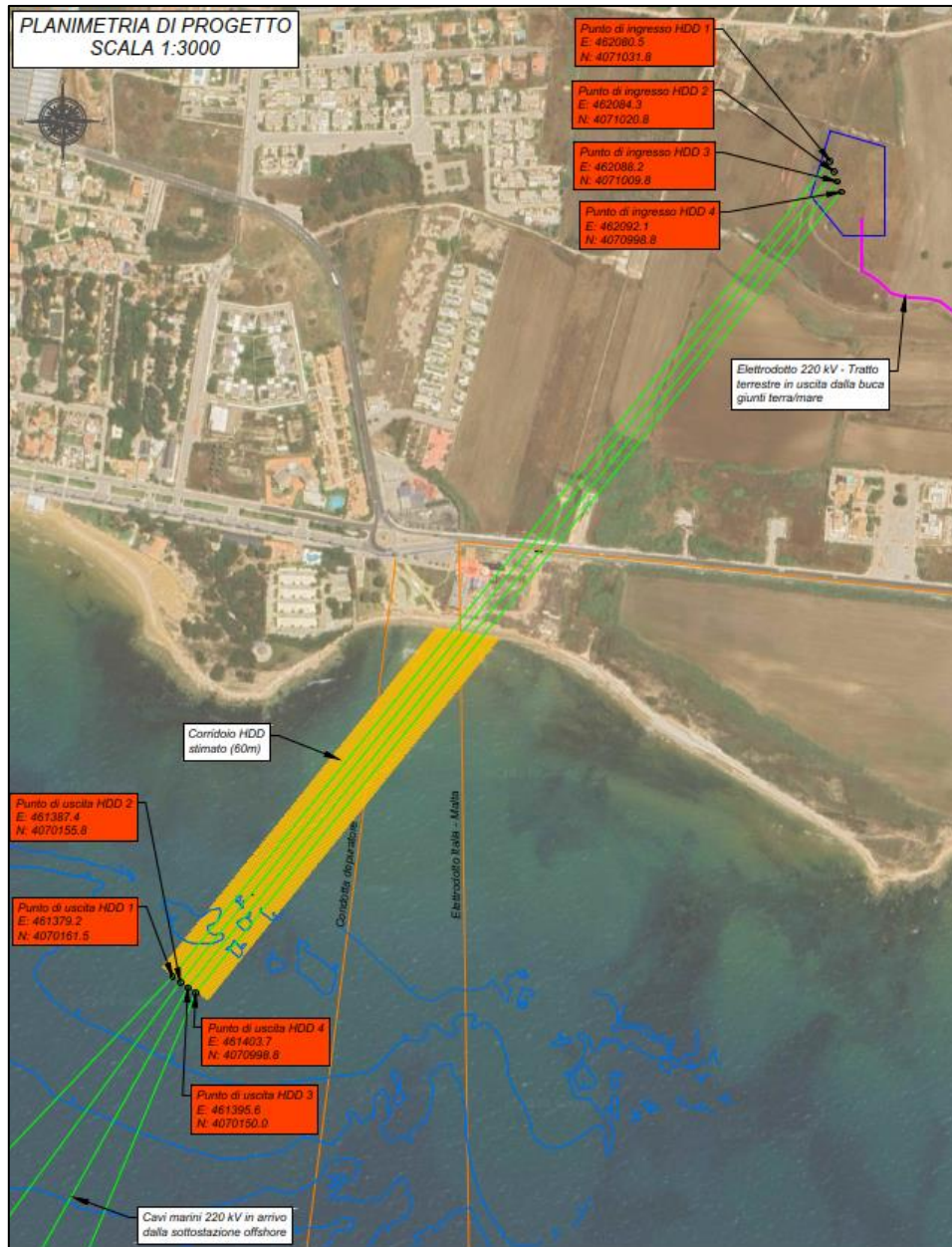


Figura 2-2: Planimetria percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling)

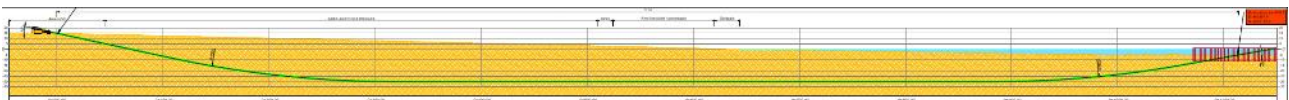


Figura 2-3: Profilo longitudinale percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling)

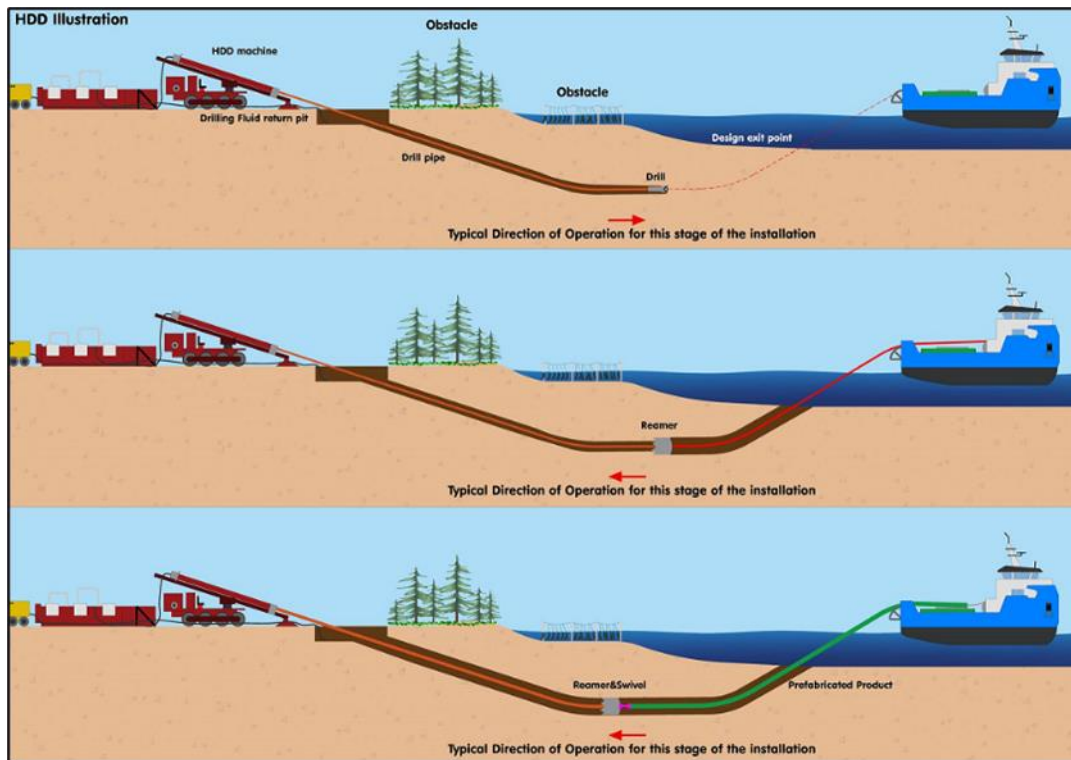


Figura 2-4: Tipico di posa del cavo mediante "directional drilling"

Di seguito viene riportata l'area individuata per l'alloggiamento dell'equipaggiamento necessario per effettuare le operazioni di drilling.

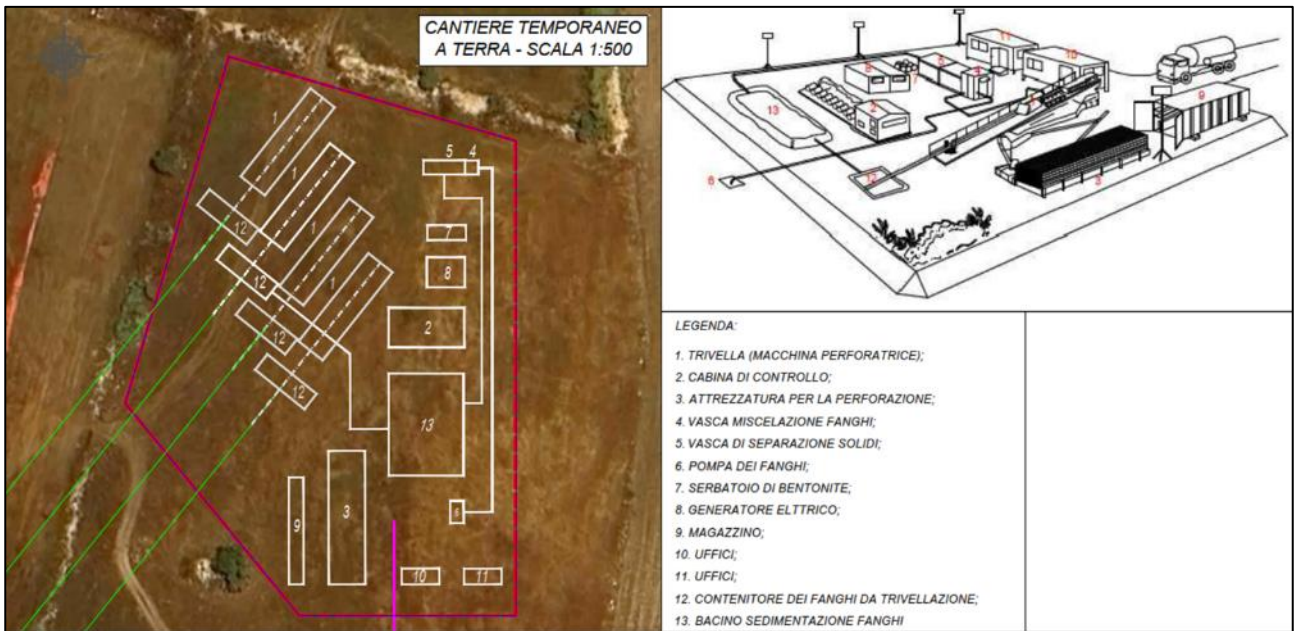


Figura 2-5 Area proposta cantiere temporaneo per la realizzazione di HDD terra-mare



2.2 Cavidotto terrestre e stazione utente

Dalla Buca giunti il cavidotto terrestre percorrerà circa 57 km (Figura 2-6) prediligendo un percorso quasi interamente stradale, in modo da garantire allo stesso tempo anche una buona accessibilità e facilità di posa (Figura 2-7).



Figura 2-6: Tracciato del cavidotto terrestre (in verde)

Le attività si articoleranno in tre fasi:

- realizzazione delle infrastrutture provvisorie;
- operazioni di escavazione;
- posa dei cavi, collaudo e ripristino dell'area.



I cavi saranno interrati ed installati in una trincea della profondità di circa 160-170 cm e larga circa 150 cm.

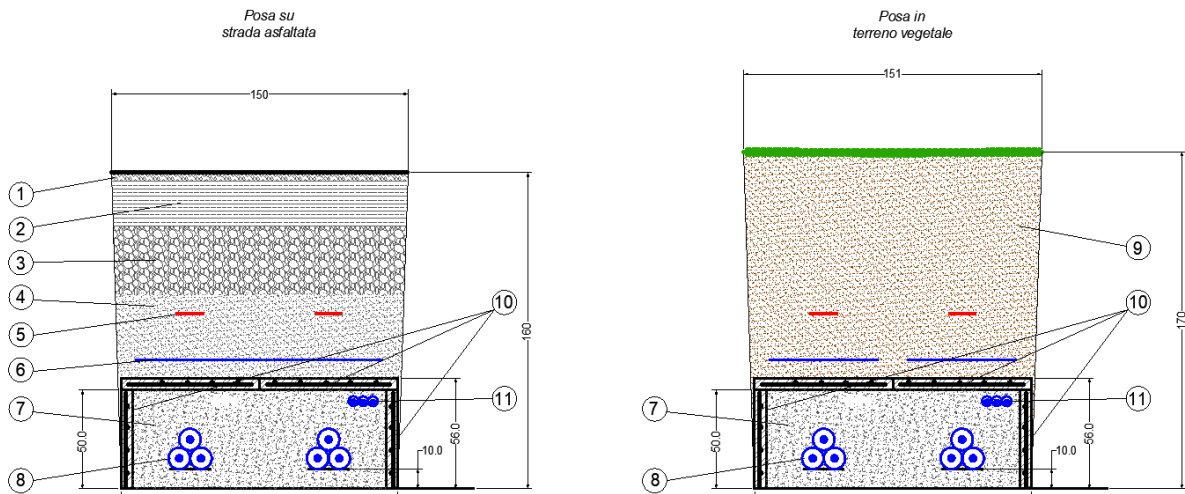


Figura 2-7: Schema costruttivo relativo alla posa e installazione dei cavidotti su strada asfaltata - sterrata (a sinistra) e su terreno vegetale (a destra) inserire tipologia di posa su strada sterrata

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'. Saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato di adeguato spessore. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto. È previsto inoltre il posizionamento di targhette resistenti ed inalterabili (di tipo non intrusivo) sulla sede stradale, per la segnalazione del tracciato del cavo.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Tenendo conto che il tracciato si sviluppa quasi interamente su percorso stradale, si nota che, quando la strada lo consenta (cioè nel caso in cui la sede stradale permetta lo scambio di due mezzi pesanti), sarà realizzata, come anticipato, la posa in scavo aperto, mantenendo aperto lo scavo per tutto il tratto compreso tra due giunti consecutivi (500 ÷ 600 m).



Figura 2-8 Esempio di scavo per interrimento su asfalto

Relativamente ai tratti in cui il cavidotto verrà posato su strada sterrata o terreno agricolo, al termine delle fasi di posa e di rinterro si procederà alla realizzazione degli interventi di ripristino. La fase comprende tutte le operazioni necessarie per riportare il territorio attraversato nelle condizioni ambientali precedenti la realizzazione dell'opera. Le opere di ripristino previste possono essere raggruppate nelle seguenti due tipologie principali:

- ripristini geomorfologici ed idraulici;
- ripristini della vegetazione, qualora presente.

Preliminarmente si procederà alle sistemazioni generali di linea, che consistono nella riprofilatura dell'area interessata dai lavori e nella riconfigurazione delle pendenze preesistenti, ricostruendo la morfologia originaria del terreno e provvedendo alla riattivazione di fossi e canali irrigui, nonché delle linee di deflusso eventualmente preesistenti.

La funzione principale del ripristino idraulico è essenzialmente il consolidamento delle coltri superficiali attraverso la regimazione delle acque, evitando il ruscellamento diffuso e favorendo la ricrescita del manto erboso. Successivamente si passerà al ripristino vegetale, avente lo scopo di ricostituire, nel più breve tempo possibile, il manto vegetale preesistente i lavori nelle zone con vegetazione naturale. Il ripristino avverrà mediante:

- ricollocazione dello strato superficiale del terreno se precedentemente accantonato;
- inerbimento;
- messa a dimora, ove opportuno, di arbusti e alberi di basso fusto.

Per gli inerbimenti verranno utilizzate specie erbacee adatte all'ambiente pedoclimatico, in modo da garantire il migliore attecchimento e sviluppo vegetativo possibile. Le aree agricole saranno ripristinate al fine di restituire l'originaria fertilità.



Una volta raggiunto il comune di Palazzolo Acreide (Sr), in località “Fondi”, il cavidotto terrestre verrà collegato alla sottostazione utente (SEU) da realizzarsi in prossimità della nuova Stazione Elettrica RTN a 380 kV che, attraverso due nuovi raccordi, si collegherà in entra-esce alla linea 380 kV esistente “Chiamonte Gulfi-Priolo”.

Per la menzionata nuova SE RTN è in fase di approvazione, da parte di Terna, la localizzazione e nella seguente Figura 2-9 sono indicate le aree a oggi individuate per la stessa SE RTN e, di conseguenza, per la SEU.

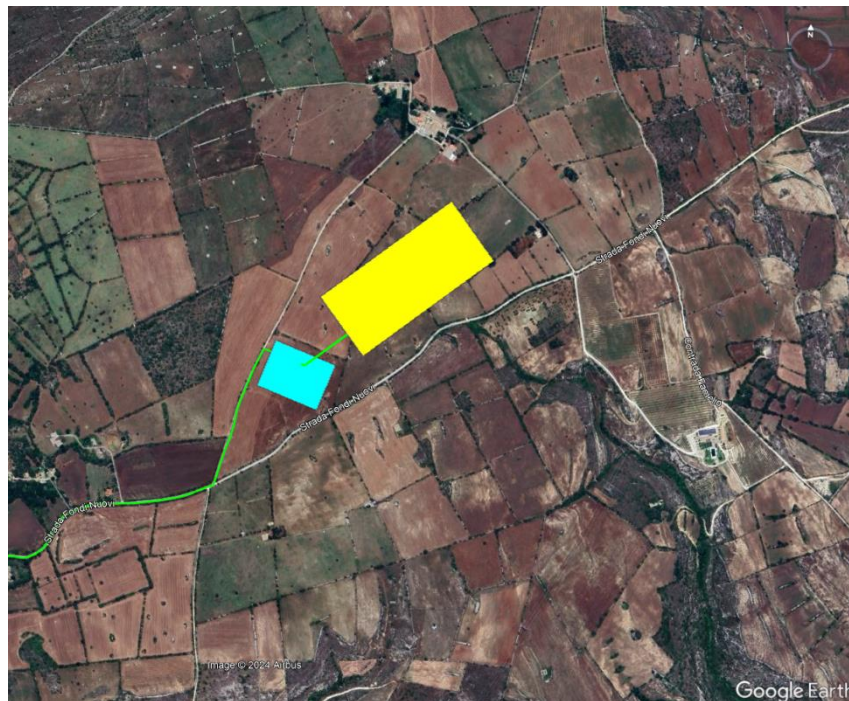


Figura 2-9: Possibile localizzazione della stazione utente (SEU) (in azzurro) e della nuova Stazione Elettrica RTN (in giallo)

2.2.1 Attraversamenti mediante TOC

Con riferimento al tracciato terrestre, si prevedono n.5 attraversamenti che saranno realizzati tramite TOC come evidenziati nella figura seguente.



Figura 2-10: Inquadramento degli attraversamenti in TOC su ortofoto

Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto interrato mediante il radio-controllo del suo andamento plano-altimetrico. Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione; questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare e correggere in tempo reale gli eventuali errori.

Questo sistema non comporta alcuno scavo preliminare, ma eventualmente necessita effettuare solo delle buche di partenza e di arrivo; non comporta, quindi, la demolizione prima e il ripristino dopo di eventuali sovrastrutture esistenti.

Le fasi principali del processo di TOC sono le seguenti:

- delimitazione delle aree di cantiere;
- realizzazione del foro pilota;
- alesatura del foro pilota e contemporanea posa dell'infrastruttura (tubazione).

Da una postazione di partenza in cui viene posizionata l'unità di perforazione, attraverso un piccolo scavo di invito viene trivellato un foro pilota di piccolo diametro, lungo il profilo di progetto che prevede il passaggio

lungo il tratto indicato raggiungendo la superficie al lato opposto dell'unità di perforazione. Il controllo della posizione della testa di perforazione, giuntata alla macchina attraverso aste metalliche che permettono piccole curvature, è assicurato da un sistema di sensori posti sulla testa stessa. Una volta eseguito il foro pilota viene collegato alle aste un alesatore di diametro leggermente superiore al diametro della tubazione che deve essere trascinato all'interno del foro definitivo. Tale operazione viene effettuata servendosi della rotazione delle aste sull'alesatore, e della forza di tiro della macchina per trascinare all'interno del foro un tubo generalmente in PE di idoneo spessore. Le operazioni di trivellazione e di tiro sono agevolate dall'uso di fanghi o miscele di acqua-polimeri totalmente biodegradabili, utilizzati attraverso pompe e contenitori appositi che ne impediscono la dispersione nell'ambiente. Con tale sistema è possibile installare condutture al di sotto di grandi vie, di corsi d'acqua, canali marittimi, vie di comunicazione quali autostrade e ferrovie (sia in senso longitudinale che trasversale), edifici industriali, abitazioni, parchi naturali etc.

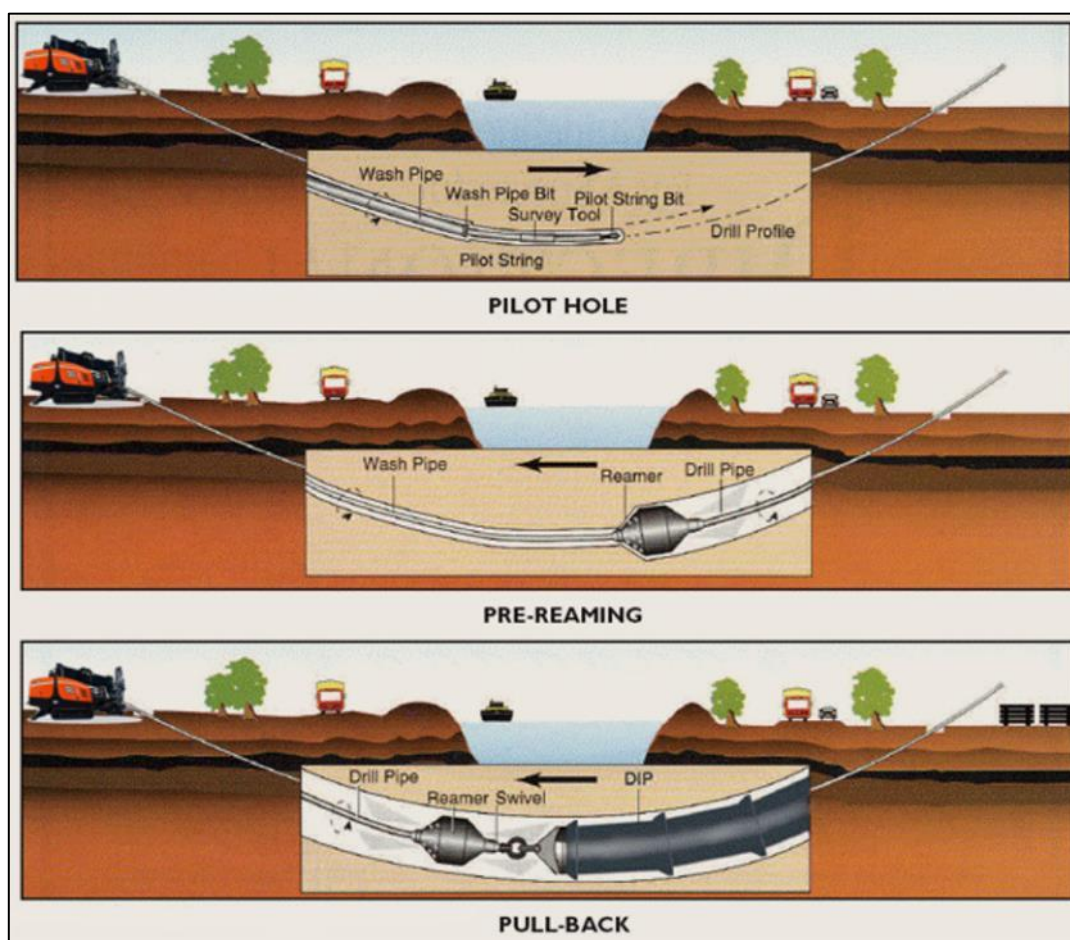


Figura 2-11: Sequenza tipica di realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)

2.2.2 Attraversamenti mediante canalizzazione

Lungo il tracciato terrestre, si prevede sono un attraversamento stradale tramite canalizzazione montata adiacentemente al ponte già esistente (Figura 2-12).



Figura 2-12: Inquadramento dell'attraversamento in canalizzazione su ortofoto

Per una descrizione più dettagliata e approfondita del progetto si rimanda alle relazioni specialistiche e allo studio di impatto ambientale nella sezione progetto.



3 Inquadramento geologico

Nel presente capitolo vengono analizzate e descritte le caratteristiche geologiche e litostratigrafiche a scala regionale e successivamente sito specifiche, relativamente alle aree sulle quali si svilupperà il cavidotto e la stazione utente.

Per quanto riguarda le caratteristiche geologiche inerente all'area di progetto offshore si rimanda alla relazione geologica offshore.

3.1 Contesto geologico regionale

Dal punto di vista geologico, l'area di studio ricade nel settore centro orientale del Bacino di Avanfossa plioleistocenico, che si estende sia nell'offshore del Canale di Sicilia che nell'onshore da Gela fino a Catania. Il substrato del bacino è costituito dalle serie stratigrafiche messiniane e pre-messiniane appartenenti alle Formazioni Gessoso Solfifera e Tellaro.

Il Mediterraneo Centrale (Figura 3-1) è caratterizzato sostanzialmente dal Dominio di Avampaese e dal Dominio Orogenico, a sua volta costituito da un sistema multistrato, in cui sono riconoscibili dal basso verso l'alto un Sistema a Thrust Esterno, la Catena Appenninico-Maghrebide e la Catena kabilo-Calabride o più semplicemente la Catena Calabro-Peloritana (Lentini e altri, 1995; Finetti e altri, 1996).

La fascia orogenica è compresa tra due bacini caratterizzati da croste oceaniche: quella ionica, in subduzione e quella tirrenica, in espansione. La Catena Siciliano-Maghrebide è costituita da alternanze di sequenze prevalentemente bacinali (Unità Sicilidi, Dominio Imerese-Sicano) e piattaforme carbonatiche (Dominio Panormide ed Ibleo-Pelagiano) deposte su crosta oceanica (Lentini, 1992).

Altro elemento strutturale è rappresentato dall'Avanfossa, originatasi dal collasso del margine dell'Avampaese, che tende ad incunarsi al di sotto delle falde della catena, per cui nella porzione più esterna ricade nell'area indeformata e in quella più interna è ricoperta dal fronte delle falde entrando a far parte integrante della catena stessa. Il Mediterraneo Centrale è stato interessato dal Trias al Quaternario da quattro fasi estensionali; la prima, attiva durante il Trias Medio-Sup., ha prodotto un rifting continentale che ha portato all'individuazione del bacino di Gabes-Tripoli-Misurata, una depressione profonda circa 200 m allungata da Nord Ovest e Sud Est, posta presso la crosta libica, e dei bacini della Sicilia.

La fase estensionale più importante che si verificò nel Mediterraneo centro orientale avvenne durante il Giurassico medio (indicato dall'attività vulcanica) in concomitanza del coinvolgimento del margine Ionico-Mediterraneo orientale della zolla africana in un rilevante evento distensivo accompagnato da una notevole attività magmatica e conseguente apertura del Mar Ionio. Dalla fine del Giurassico medio al Cretaceo inferiore incluso non si registrano importanti movimenti crostali o attività vulcanica; si ha solo una fase di subsidenza nel Cretaceo inferiore (trasgressione Neocombiana) nella quale il mare invade verso sud l'attuale scarpata superiore africana prima emersa.

L'ultima fase estensionale è attiva dal Miocene medio-superiore al Quaternario; i movimenti distensivi sono accompagnati da una imponente attività magmatica in molte zone dei Mari Pelagiano e Ionio con vulcani affioranti nell'isola di Pantelleria e Linosa. Questa fase ha prodotto la maggiore modificazione geologica e morfologica nella zona centrale del Blocco Pelagiano, in corrispondenza del Canale di Sicilia, dove sistemi di faglie distensive, associate, di notevole rigetto, formano strutture a graben e horst; si sono così delineati i bacini di Pantelleria, di Linosa e di Malta-Medina. In corrispondenza delle depressioni si osserva anche un assottigliamento crostale, con minimi inferiori a 20 km, in cui si ipotizza un processo di rifting. Lo sviluppo dei graben della zona centrale del Canale di Sicilia ha comportato in una prima fase lo sprofondamento di tutta l'area centrale del canale accompagnato dal formarsi di faglie e basculamento dei blocchi; la sedimentazione, in questa prima fase, compensa e colma via via i dislivelli. Nella fase successiva (Pliocene superiore-Quaternario) solo alcune faglie, poste ai lati dei graben, continuano ad essere attive.

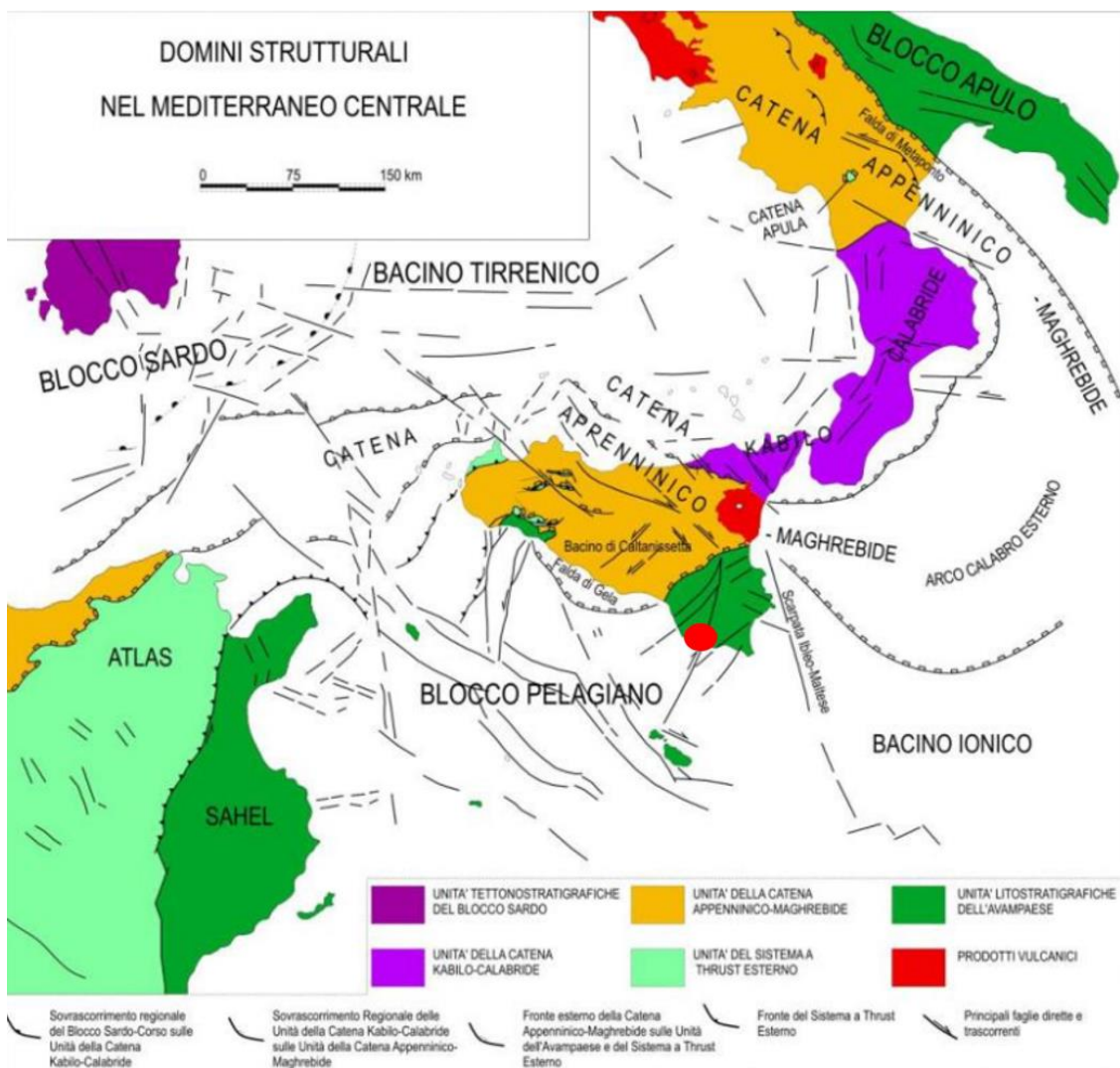


Figura 3-1: Schema tettonico dei Domini strutturali nel Mediterraneo centrale (Carbone, Messina, Lentini, 2007). In figura, l'area di approdo del progetto è indicata dal cerchio rosso



Ne consegue, per la regione Sicilia su cui insiste l'area di studio, una complessa evoluzione geodinamica, ininterrotta dall'Eocene fino al Quaternario, che ha prodotto un assetto tettonico strutturale della regione distinguibile in tre principali domini:

- Dominio di Avampaese: include le aree non deformate della placca Nord-Africana, rappresentate dal Blocco Pelagiano e dal Bacino Ionico. Questa zona stabile a crosta continentale si estende dalla Scarpata Ibleo-Maltese attraverso gran parte del Canale di Sicilia fino alle coste africane. La successione sedimentaria autoctona è composta da circa 7 km di carbonati di piattaforma e di scarpata-bacino del Triassico, carbonati pelagici del Giurassico-Eocene e depositi clastici di piattaforma aperta del Terziario (*Patacca et al., 1979; Catalano & D'Argenio, 1982; Bianchi et al., 1987*).
- Dominio di Avanfossa: originato dal collasso del margine dell'Avampaese, rappresenta un'area esterna indeformata che tende a incunarsi sotto le falde della catena (F. Lentini, M. Grasso, S. Carbone, 1987). Affiora nella porzione orientale della Sicilia e consiste in una spessa successione sedimentaria tardo-cenozoica, parzialmente sepolta sotto le coltri alloctone del sistema frontale della catena (Ogniben 1969; Di Geronimo et al., 1978; Lentini 1982; Torelli et al., 1998).
- Dominio di Catena: Caratterizzato da un progressivo coinvolgimento spazio-temporale delle aree via via più esterne, dove settori inizialmente parte dell'Avampaese si sono trasformati in Unità Tettoniche inglobate nell'edificio orogenico. Esso comprende:
 - La Catena Appenninico-Maghrebide, affiorante nella porzione settentrionale dell'isola, composta da sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma che di bacino, con le relative coperture flyschoidi mioceniche (Monaco et al., 1998).
 - La Catena Kabilo-Calabride, affiorante nei settori nord-orientali della Sicilia, caratterizzata da un basamento metamorfico di vario grado con le relative coperture sedimentarie meso-cenozoiche, associate alle unità ofiolitiche del Complesso Liguride (Ogniben 1969; Amodio-Morelli et al., 1976; Bonardi et al., 1982; Tansi et al., 2007).

In Sicilia e nelle aree circostanti, l'Avampaese è, quindi, rappresentato dalla porzione indeformata del Blocco Pelagiano e dal Bacino Ionico.

Il Blocco Pelagiano rappresenta un segmento orientato Ovest - Est del margine africano, flessurato verso Nord, dove va a costituire, senza soluzione di continuità, il Sistema a Thrust Esterno (*Lentini et alii, 2014.*). Il settore settentrionale di tale blocco è caratterizzato da una crosta spessa da 17 a 28 km (*Finetti et alii., 2005*); su di essa la copertura sedimentaria meso-cenozoica è rappresentata da una successione carbonatica di mare basso, potente fino a 6 - 7 km, con ripetute intercalazioni vulcaniche.

Le sequenze indeformate del Blocco Pelagiano affiorano nella regione del Sahel in Tunisia e in Libia e si estendono per tutto il Canale di Sicilia, emergendo a Lampedusa, nelle isole Maltesi, nell'area di Sciacca (Sicilia occidentale) e nel Plateau Ibleo (Sicilia orientale).



Il Plateau Ibleo costituisce la porzione emersa del margine africano che, esteso dalla Tunisia alla Sicilia (Blocco Pelagiano), ed è coinvolto al fronte dell'Orogene Appenninico-Maghrebide, sviluppatosi in seguito alla convergenza neogenico-quadernaria, orientata Nord Ovest – Sud Est, tra Africa ed Europa (Figura 3-1). Lo stesso è stato sede di un'intermittente attività vulcanica dal Triassico fino al Pleistocene inferiore.

La successione sedimentaria iblea (Figura 3-2), su cui insiste l'area di progetto, è quindi formata da potenti calcari di piattaforma del Triassico - Giurassico inferiore con intercalazioni di vulcaniti basiche, sormontate da pelagiti carbonatiche ascrivibili all'intervallo Giurassico - Eocene, cui seguono estesi depositi terziari anch'essi carbonatici.

Il Plateau Ibleo si distingue in due settori:

- quello orientale caratterizzato da una sequenza di ambiente marino poco profondo, condizionato dallo sviluppo di prodotti vulcanici,
- quello occidentale contrassegnato da sedimenti carbonatici di mare aperto, che includono cospicui risedimenti provenienti dalle aree orientali.

La zona di intervento onshore attraversa tutto l'altopiano calcareo ibleo da Sud Ovest a Nord Est (Figura 3-3), interessando diffusamente i litotipi della Formazione Ragusa (Oligocene superiore–Langhiano inferiore) che fa parte del Plateau Ragusa, la Formazione del Tellaro (Miocene medio - Superiore) e la Formazione Palazzolo facente parte del Plateau Siracusa (Miocene medio- superiore). La descrizione di dettaglio delle litologie incontrate durante il tracciato terrestre verrà discussa nel successivo Paragrafo 3.2.2.

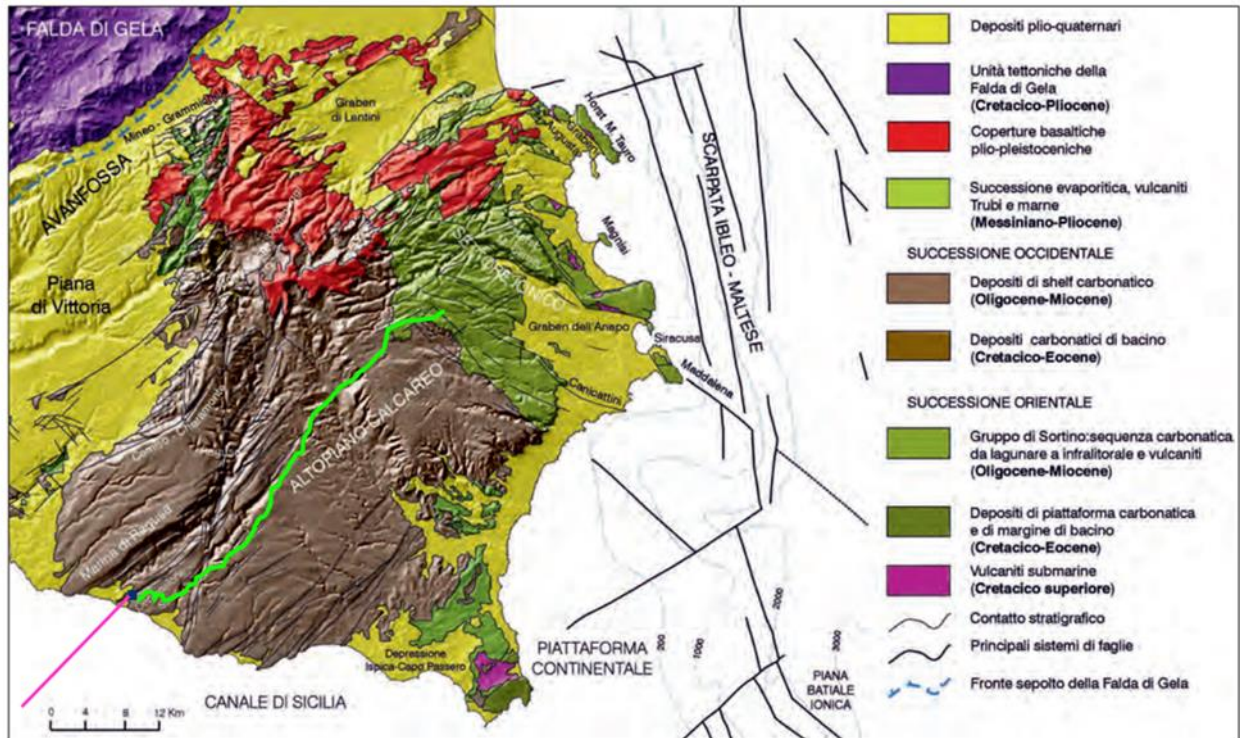


Figura 3-2: Schema stratigrafico-strutturale dell'Avampaese Ibleo (da LENTINI et alii, 1984 modificato), applicato su immagine DEM (Digital Elevation model) (da Lentini et al., 2014). In figura il cavidotto terrestre è riportato in verde, mentre in blu la buca giunti a congiunzione tra il cavidotto terrestre e quello marino (in viola).

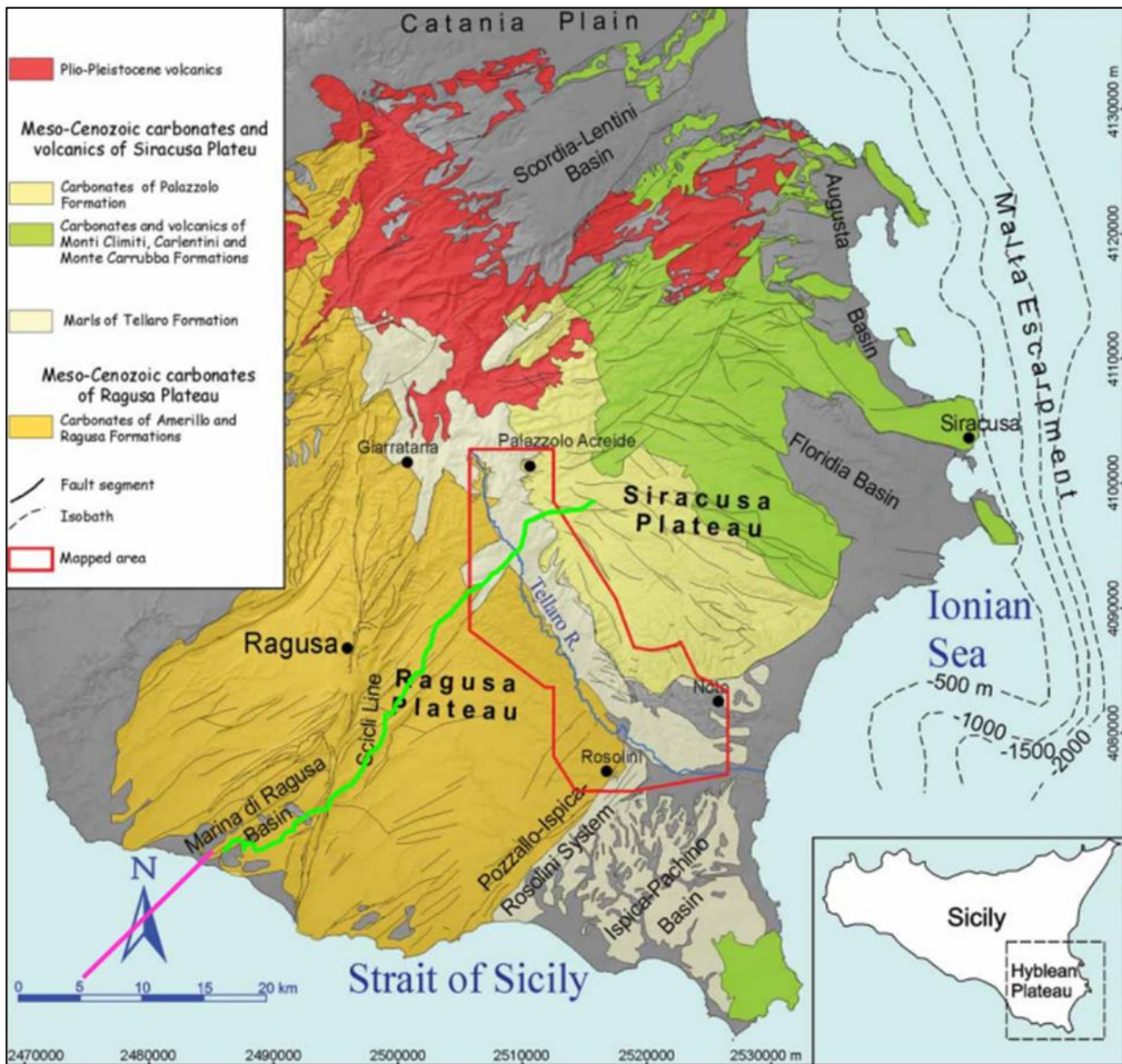


Figura 3-3: Carta geologica e strutturale della regione Iblea (Romagnoli et al., 2015). In figura è mostrato il cavo terrestre in verde.

3.1.1 Contesto strutturale

Da un punto di vista strutturale, oltre quanto già riportato nel precedente paragrafo, i principali lineamenti tettonici quaternari della regione iblea sono ricollegabili ad eventi dinamici differenti.

In particolare, lungo la costa ionica si riconoscono i segmenti di faglia normale che costituiscono il ramo più meridionale del Rift Siculo-Calabro (Monaco & Tortorici, 2000); La struttura tettonica si sviluppa a mare, con orientazione Nord Ovest – Sud Est, nelle aree antistanti Augusta e Siracusa (Faglia Orientale e Occidentale in



Bianca et al., 1999) per poi entrare a terra, dove è rappresentata dalla Faglia di Avola e dal Sistema di Pozzallo-Ispica-Rosolini, con orientazione Nord Est – Sud Ovest .

Il Rift Siculo-Calabro, verso Nord, si estende fino alla Calabria, attraverso la fascia collisionale, ed è caratterizzata da movimenti obliqui destri lungo le direttrici Nord Nord Ovest – Sud Sud Est e prevalentemente normali lungo le faglie orientate Nord Est – Sud Ovest.

Il Rift Siculo-Calabro accomoda l'intera deformazione estensionale, misurata dai dati geodetici tra il Blocco Adriatico, incluso il Bacino Ionico, ed il Blocco Pelagiano (*D'agostino & Selvaggi, 2004*), assumendo il significato di un margine di placca incipiente, sviluppatosi nelle fasi tardive della tettonica collisionale.

Un secondo lineamento tettonico quaternario, di interesse per l'area di progetto, è costituito dal Sistema della Linea di Scicli (*Catalano et al., in stampa*) che comprende due bacini estensionali orientati Nord Est – Sud Ovest (Graben di Scordia-Lentini e Graben di Marina di Ragusa) e la zona di taglio destra orientata Nord Nord Est – Sud Sud Ovest (Linea di Scicli). Lungo quest'allineamento si sono registrati movimenti compatibili con un'estensione orientata circa Nord Ovest – Sud Est, contrastante con il quadro geodinamico della convergenza Africa-Europa, ma analoga a quella che governa oggi il Rift Siculo.

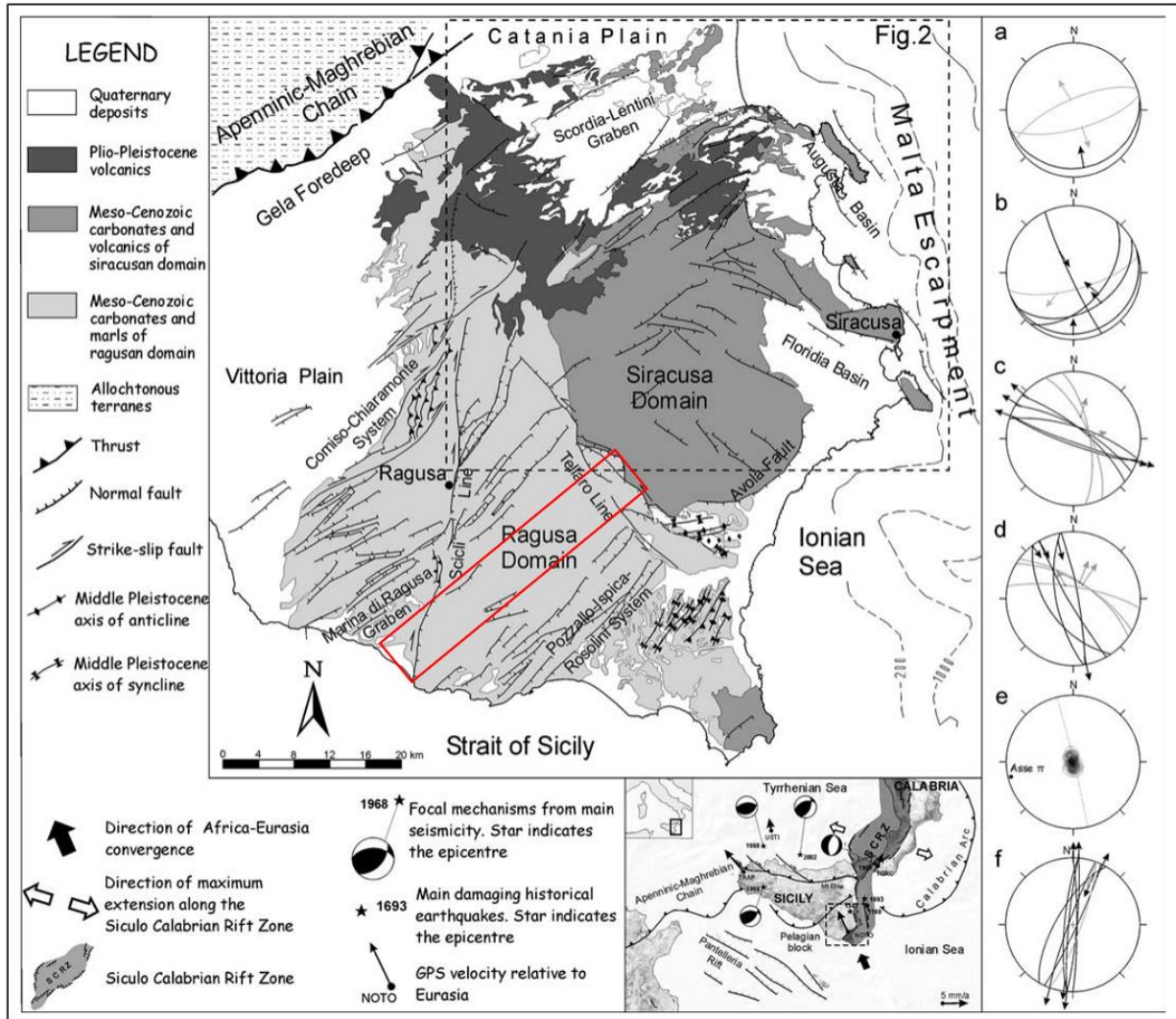


Figura 3-4: Schema geologico-strutturale della Sicilia sud-orientale. Il riquadro mostra il fronte della Catena Appenninico-Maghrebide, le principali faglie quaternarie e la sismicità del Mediterraneo centrale. Gli stereoplot si riferiscono ai dati strutturali misurati lungo diversi lineamenti quaternari del Plateau Ibleo: a-b) Graben di Scordia-Lentini; c) Bacino di Augusta; d) Bacino di Florida; e) Sistemi a pieghe del margine sud-orientale; f) Linea di Scicli. L' area di progetto è indicata dal rettangolo rosso.

3.2 Aspetti geologici dell'area di progetto

Di seguito si riporta il dettaglio delle caratteristiche geologiche e litostratigrafiche sito specifiche relativamente all'area di approdo dei cavidotti su cui verrà realizzata la TOC, la buca giunti e la stazione di compensazione, all'area occupata dal percorso del cavidotto e all'area dove è ipotizzata la realizzazione della Stazione di Utenza e della nuova stazione RTN di Terna.



3.2.1 Area approdo

L'area di approdo a terra del cavidotto marino è prevista presso la costa siciliana a Est del porto turistico di Marina di Ragusa e ad Ovest della foce del fiume Irmínio (Figura 2-5).

Il territorio costiero del Comune di Ragusa è caratterizzato prevalentemente da coste rocciose basse, intervallate da spiagge sabbiose, con ambienti litorali di transizione costituiti da aree palustri, alimentate da corsi d'acqua a carattere torrentizio.

Secondo la Carta Geologica della Sicilia (scala 1:250.000, *Lentini & Carbone, 2014*) (Figura 3-5), la zona di approdo è caratterizzata da una fascia di depositi continentali e marini risalenti al Pleistocene medio – Olocene, a comprendere (Figura 3-5):

- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge, associabili alla copertura Neogenico – Quaternaria; indentificate in figura di seguito con il numero 1. Tali depositi tra Pozzallo e Marina di Ragusa, vengono identificati limitati lembi di superfici terrazzate poste a quota tra 0 e 20 m, e ricoperte da un più o meno spesso deposito sabbioso-conglomeratico.

Nell'intorno dell'area approdo risultano essere inoltre presenti, partendo dai depositi più recenti:

- Sabbie e argille marine passanti a depositi lagunari e continentali (Pleistocene), indentificate in figura di seguito con il numero 55.
- Calcareniti e marne (Formazione Ragusa) (Oligocene Superiore Langhiano Inferiore); indentificato in figura con il numero 68.



COPERTURE NEOGENICO-QUATERNARIE - NEOGENE-QUATERNARY COVER



Figura 3-5: Stralcio della Carta Geologica della Sicilia (scala 1:250.000, Lentini & Carbone, 2014)

Più nel dettaglio, così come osservabile in Figura 3-6 (stralcio tratto dalla Tavola N.34 del Piano Regolatore del comune di Ragusa) i depositi continentali e marini di copertura quaternaria, su cui insiste l'area di approdo risultano composti da:

- Depositi di spiaggia attuali (ds) della marina di Ragusa, dati da sabbie giallastre, fini, a composizione prevalentemente quarzoso-carbonatica e successivamente i depositi fluviali (af) dati da sabbie fini e limi bruni, con limitata presenza di elementi litoidi di dimensioni centimetriche ascrivibili alla foce del fiume Irmínio.
- Depositi fluviali (af), composti da sabbie.
- Depositi terrazzati marini (Tirr) databili al pleistocene superiore (Tirreniano), costituiti da sabbie bianco-giallastre, carbonatiche e da spessori metrici di conglomerati a matrice sabbiosa, con clasti appiattiti, di natura carbonatica e calcarenitica.

Secondo la sezione geologica contenuta nella Tavola n. 34 del PRG, nell'area i depositi di spiaggia attuali e i depositi alluvionali andando verso Nord - Ovest presentano spessore di qualche metro e poggiano sul Membro Irmínio della Formazione Ragusa del Miocene (Figura 3-7).

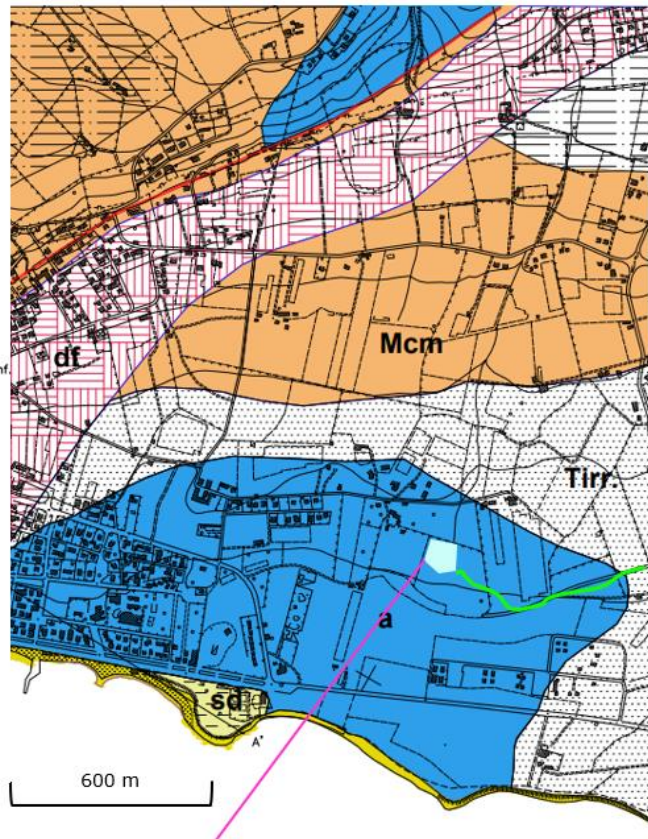
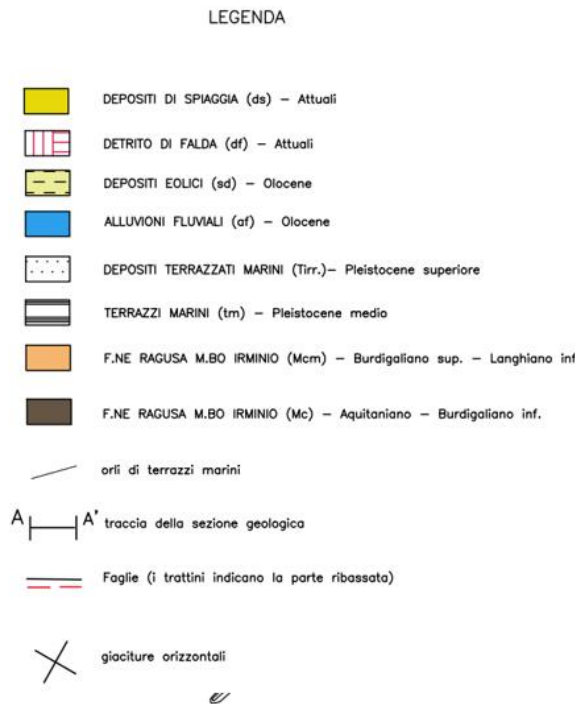


Figura 3-6: Stralcio della Tavola N. 34 “Carta Geologica” (Piano Regolatore del comune di Ragusa). Scala 1:10.000. In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in celeste la buca giunti.



Figura 3-7: Dettaglio della carta geologica contenuta nella Tavola n.34 con riferimento all'area di approdo del progetto (Piano Regolatore del comune di Ragusa), in alto a sinistra parte della sezione geologica A-A' con orientazione Nord Est – Sud Ovest. In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in celeste la buca giunti.

L'assetto geologico dell'area costiera viene confermato anche dalla Tavola 3 "Componenti geologiche ed idrologiche" del Piano di Utilizzo del Demanio marittimo ((P.U.D.M.) del comune di Ragusa (Adeguamento alla L.R. n.3 del 17/03/2016 e D.A. 319/GAB del 05/08/2016),

I depositi terrazzati tirrenici, i depositi alluvionali recenti, dune costiere e sabbie costiere affiorano nella zona con uno spessore che varia da pochi metri a 25 m (Pappalardo, 2004), pertanto la HDD che sarà eseguita (previa verifica di fattibilità) per la realizzazione dell'approdo a terra dei cavi di export attraverserà tali depositi e presumibilmente, considerando una massima profondità di perforazione pari a -30 m s.l.m., la parte sommitale della Formazione calcarenitica di Ragusa (Figura 3-5).

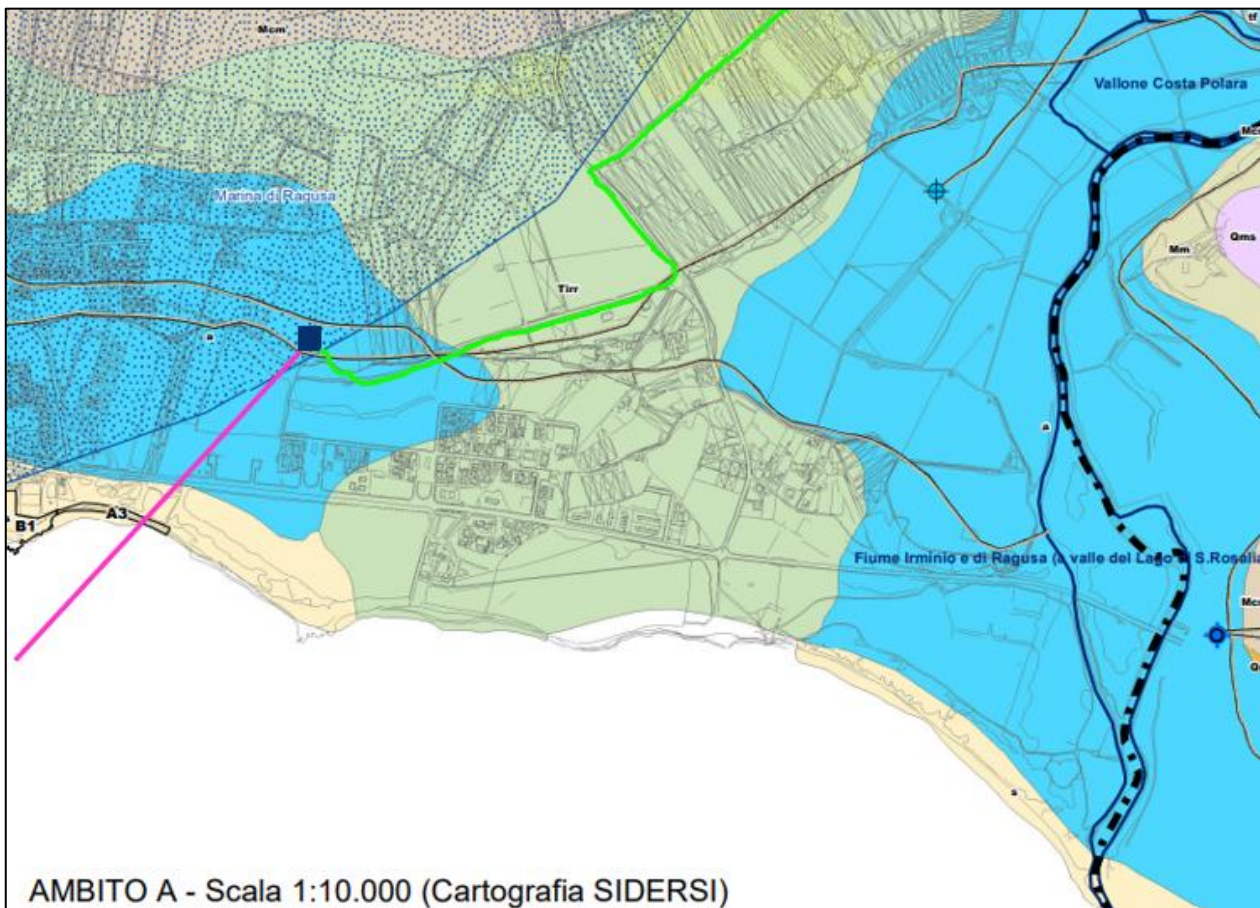


Figura 3-8: Tavola 3 “Componenti geologiche ed idrologiche” del Piano di Utilizzo del Demanio marittimo ((P.U.D.M.) del comune di Ragusa (Adeguamento alla L.R. n.3 del 17/03/2016 e D.A. 319/GAB del 05/08/2016). In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti.

3.2.2 Area cavidotto terrestre e stazione utente

Il cavidotto terrestre si estende dalla costa orientale della Sicilia verso l’entroterra per 56 km, attraversando i comuni di Ragusa, Scicli, Modica, Noto e Palazzolo Acreide.

Da un punto di vista di assetto geologico strutturale come già descritto nel Paragrafo 3.1, nell'area interessata dalla posa del cavidotto sono prevalentemente presenti faglie con componente diretta-trascorrente, che attraversano terreni di età quaternaria (calcareniti) con direzioni medie Nord Nord Est – Sud Sud Ovest, associate alla significativa struttura di taglio Linea Scicli-Ragusa (Grasso, 1995).

Il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), prevede un database per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione



cosismica permanente in superficie. Molte faglie sono state nuovamente analizzate e, rispetto alla versione precedente del database, alcune strutture sono state eliminate ed altre aggiunte.

Consultando la banca dati ITHACA, è evidente (Figura 3-9) la presenza di faglie attive, capaci di produrre movimenti in superficie ("*faglie capaci*"), nelle vicinanze dell'area d'intervento. Tra queste, la faglia normale denominata "Faglia di Marina di Ragusa" e più a Nord - Ovest la faglia normale di "Comiso", hanno mostrato entrambe attività storica (<3000 anni).

Il tracciato del cavidotto terrestre non intercetta nessuno dei lineamenti tettonici sopra citati (Figura 3-9); tuttavia, una valutazione preliminare del rischio sismico specifico per l'area di progetto è trattata nel Capitolo 6.



Figura 3-9: Posizione delle faglie "*capaci*" secondo quanto indicato nel Progetto ITHACA sviluppato dal Servizio Geologico di Stato (ITHACA - Catalogo delle faglie capaci — Italiano (isprambiente.gov.it)). In figura è mostrato il cavo terrestre in verde, e in rosso le faglie Marina di Ragusa (in prossimità dell'area progetto) e di Comiso più a Nord - Ovest.

Da un punto di vista litostratigrafico, in riferimento alla carta geologica della regione Sicilia (scala 1: 250.000, *Lentini & Carbone, 2014*) già citata nel precedente paragrafo, è possibile osservare come il cavidotto insista su depositi dell'Avampese Ibleo, a comprendere partendo dai depositi più recenti (Figura 3-10):



- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge, associabili alla copertura Neogenico – Quaternaria.; indentificate in figura di seguito con il numero 1. Tali depositi vengono interessati nel solo tratto iniziale
- Sabbie e argille marine passanti a depositi lagunari e continentali (Pleistocene), indentificate in figura di seguito con il numero 55. Tali depositi vengono interessati nel solo tratto iniziale del cavidotto.
- Depositi clastici dell’Avampaese Ibleo (Pleistocene Inferiore); indentificato in figura con il numero 56. Tali depositi vengono interessati nel solo tratto iniziale del cavidotto, in adiacenza alla Formazione Tellaro, descritta di seguito.
- Biocalcareni e calciruditi (Formazione Palazzolo) (Miocene Medio - Superiore); indentificato in figura con il numero 66. Tali depositi vengono interessato nella parte terminale del cavidotto e di ubicazione della Stazione Utente.
- Marne e calcari marnosi con intercalazioni di vulcaniti basiche (Formazione Tellaro) (Miocene Medio - Superiore); indentificato in figura con il numero 67. Tali depositi vengono interessato nella parte terminale del cavidotto in prossimità del fiume Tellaro.
- Calcareniti e marne (Formazione Ragusa) (Oligocene Superiore Langhiano Inferiore); indentificato in figura con il numero 68. Tali depositi vengono interessati praticamente lungo tutto il tracciato del cavidotto con la sola esclusione del tratto terminale.

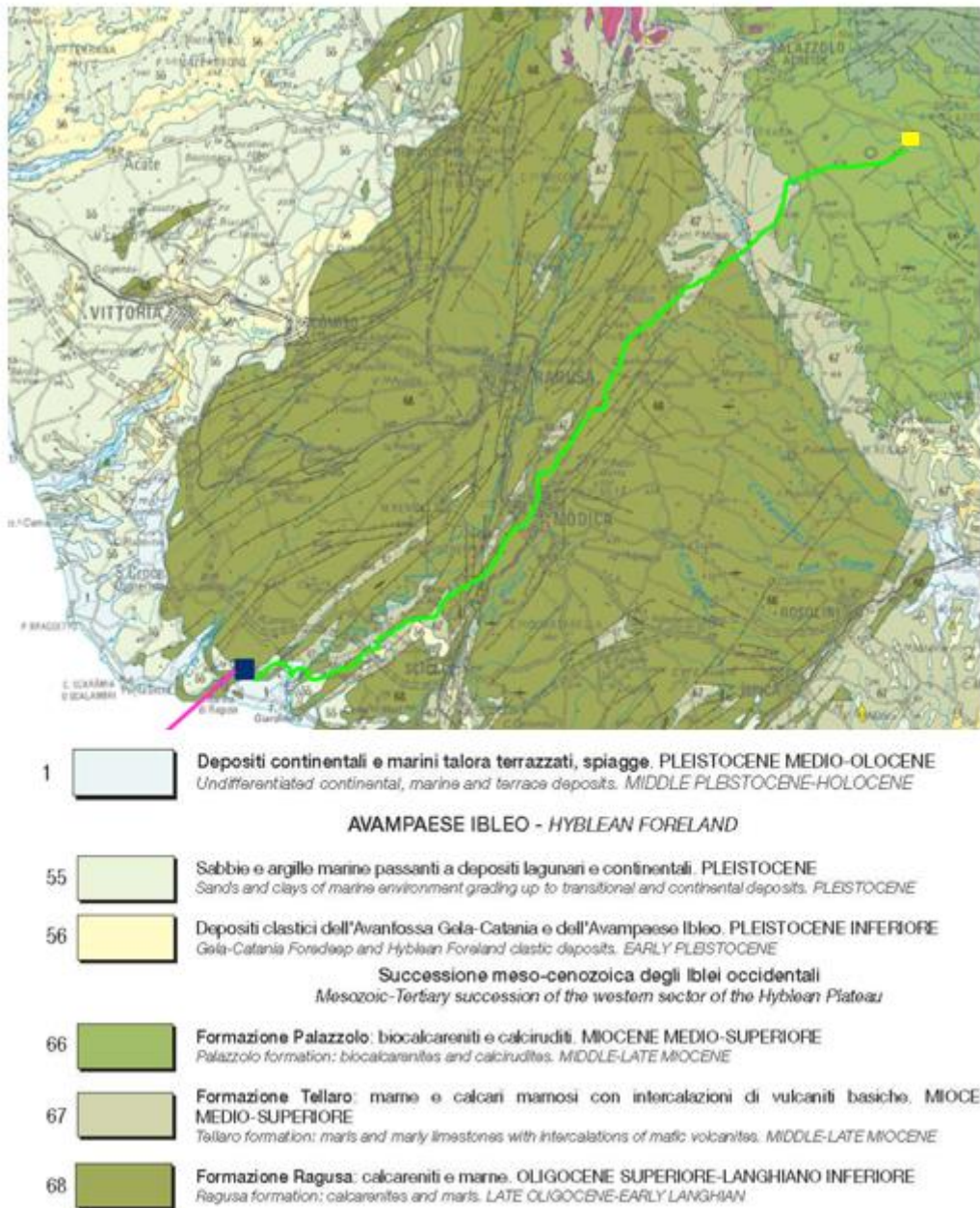


Figura 3-10: Stralcio della Carta Geologica della Sicilia (scala 1:250.000, Lentini & Carbone, 2014). In figura, il cavo offshore è mostrato in fucsia, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti e in giallo la stazione utente.

Di seguito si riportano in dettaglio le caratteristiche litologiche della successione meso-cenozoiche (Formazione di Ragusa, Formazione di Tellaro, Formazione di Palazzolo) attraversata dal tracciato del cavidotto terrestre:

- La **Formazione Ragusa** (Oligocene superiore -Langhiano inferiore). La successione che caratterizza questa formazione viene suddivisa in due intervalli: uno inferiore (Membro Leonardo) costituita



prevalentemente da calcilutiti e marne di età Oligocene Sup., ed una superiore (Membro Irminio) costituita da calcareniti e marne di età Miocene Inferiore:

- **Membro Leonardo:** è data dall'alternanza di calcisiltiti e calcilutiti biancastre in strati potenti 30-100 cm e di marne e calcari marnosi biancastri di 5-20 cm di spessore. L'intervallo basale è caratterizzato da estesi fenomeni di slumping. Lo spessore medio complessivo affiorante è di circa 100 m. Le associazioni faunistiche a foraminiferi planctonici sono indicative dell'Oligocene Sup.
- **Membro Irminio:** la parte inferiore di questo membro è costituito da calcareniti e calciruditi bianco- grigiastre o bianco-giallastre di media durezza, in banchi di spessore variabile talvolta fino a 10 m, separati da sottili livelli marnoso-sabbiosi. Localmente presenta stratificazione incrociata con struttura a spina di pesce o hummocky. A luoghi contiene, nella parte alta, un orizzonte fosfatifero di spessore da pochi centimetri fino a qualche decimetro di colore giallo-brunastro Microfaune scarse e non determinabili ad eccezione di *Miogipsina* sp. e *Amphistegina* sp. e rari echinoidi. La parte mediana è costituita da strati di calcareniti grigiastre spesse in media da 30 a 60 cm alternati a strati calcareo-marnosi di uguale spessore. Gli strati calcareo-marnosi contengono faune planctoniche a *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus*, *Praeorbulina sicana*. Lo spessore dell'intera formazione è di circa 300 metri e, in accordo con i dati di letteratura, è riferibile all'intervallo Oligocene Sup. - Langhiano.
- **La Formazione del Tellaro** (Miocene Medio - Superiore). Le marne della Formazione Tellaro evolvono verso strati superiori decimetrici di calcari marnosi biancastri alternati con marne giallastre, che sono state datate al Messiniano inferiore in tutta la porzione meridionale del Plateau di Ragusa (*Di Grande & Romeo, 1981; Grasso et al., 2000*). Questo è inoltre supportato dalla presenza di blocchi della Formazione Tripoli del Messiniano e del Gesso (*Musumeci, 1959*). Inoltre, le breccie carbonatiche eterometriche caotiche sovrastanti formano effettivamente lenti canalizzate all'interno della marna pelagica bianco-crema e dei calcari della Formazione Trubi del Pliocene Inferiore- Medio (*Grasso et al., 1987*). Queste evidenze, che indicano un'età dal Messiniano al Pliocene Medio, suggeriscono che la sequenza affiorante lungo il fondo della Valle del fiume Tellaro sia più giovane di quelle esposte lungo i fianchi e rappresenti il riempimento sin- tettonico di una depressione strutturale delimitata da faglie, qui designata come Bacino del Tellaro (*Romagnoli et al., 2015*). Lo spessore affiorante varia tra pochi metri e circa 40 metri.
- **Formazione Palazzolo** (Miocene Medio – Superiore) costituita da biocalcareni e calciruditi, è esposta lungo il lato orientale della valle del fiume Tellaro nell'Altopiano di Siracusa, comprende una sequenza carbonatica del Tortoniano superiore. Questa formazione si sovrappone alle marne del Serravalliano superiore e del Tortoniano inferiore della Formazione Tellaro (o Membro Marne di Castelluccio). Il passaggio tra i livelli pelagici e detritici è caratterizzato da una sottile alternanza di marne e calcari con orizzonti collassati nei livelli sommitali.

Ulteriori informazioni sulla stratigrafia del sottosuolo nelle aree attraversate cavidotto e interessate dalla costruzione della sottostazione elettrica di utenza sono state ottenute consultando i dati disponibili sulle perforazioni eseguite nel corso degli anni e registrate sul portale del Servizio Geologico d'Italia, resi pubblici grazie alla Legge 464/84.

La Figura 3-11 seguente mostra la posizione e i codici delle perforazioni effettuate nelle vicinanze del percorso di interesse; mentre in Tabella 3-1, si riportano le informazioni disponibili relativamente alla stratigrafia delle perforazioni effettuate e mappate dal Servizio Geologico d'Italia sopra citato, partendo dall'area di approdo per poi risalire verso l'area dove a oggi è supposta l'ubicazione della stazione di utenza e della nuova SE RTN Terna.

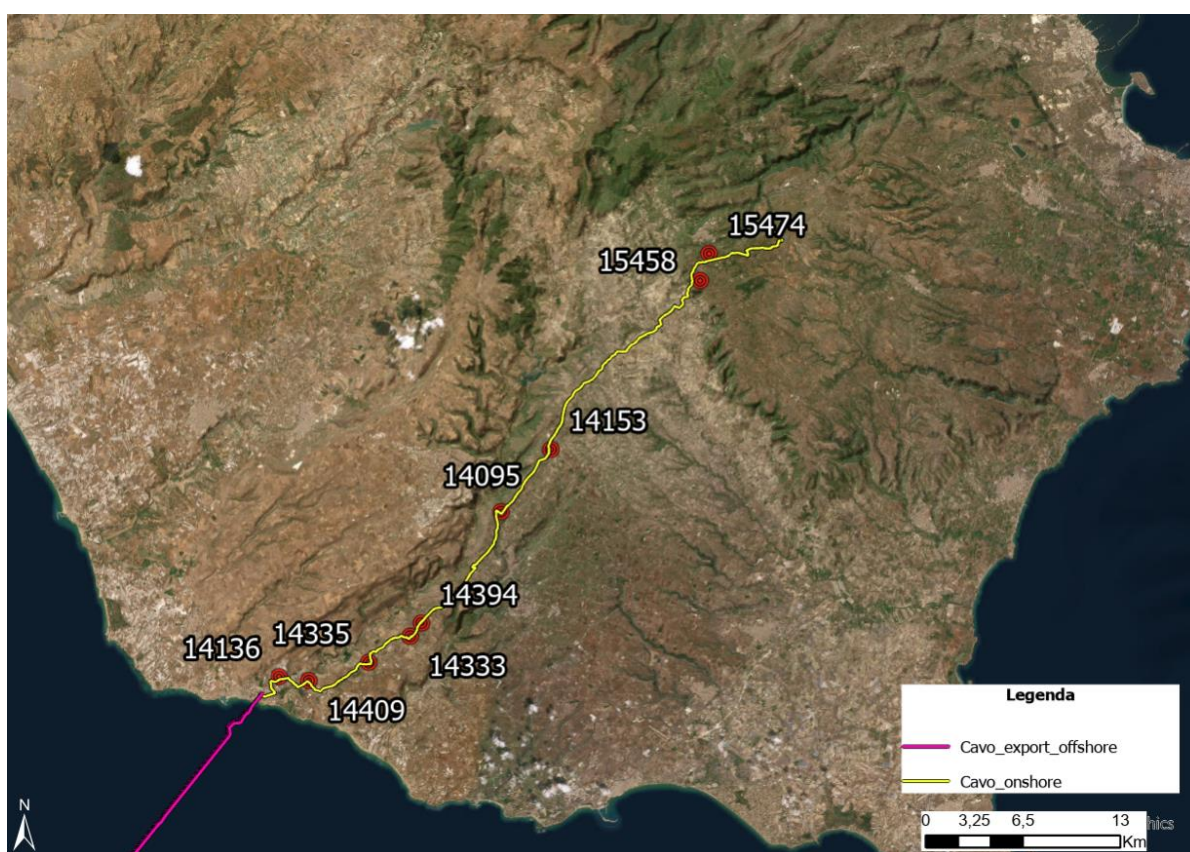


Figura 3-11: Ubicazione delle perforazioni eseguite nella zona di interesse (dati disponibili da Map Viewer (isprambiente.it)). In figura, il cavo offshore è mostrato in celeste, mentre il cavo terrestre in verde, in blu la buca giunti.

Tabella 3-1: Stratigrafia delle perforazioni in prossimità del cavidotto terrestre registrate nel Portale del Servizio Geologico ubicate



Codice Perforazione	Profondità totale raggiunta (m da piano campagna)	Stratigrafia da piano campagna
14136	50	0-1 m: terreno agrario
		1-50 m: calcareniti di varia natura
14409	120	0-25 m: alternanza marnoso calcarenitica
		25-45 m: alternanza di calcareniti grigiastre con strati calcareo-marnosi
		45-120 m: metrici banconi calcarenitico- marnosi
		120-140 m: alternanza di calcari marnosi
14335	180	0-1 m: terreno vegetale
		1-30 m: strati di argilla e calcare bianco
		30-100 m: roccia dura compatta
		100-130 m: strati di roccia con materiale di azolo
		130-180 m: strati di calcare e roccia
14333	180	0-0,5 m: suolo agrario
		0,5-70 m: marne calcaree e marne argillose
		70 – 180 m: alternanza di strati calcarenitica bianco – giallastri, ben cementati alternati a strati marnosi
14394	155	0 -70 m: roccia calcarea
		70 -75 m: vuoto
		75 -100 m: roccia calcarea
		100 -120 m: argilla scura
		120 – 155 m: roccia calcarea
14095	200	0-35 m: alternanza calcarenitica- marnosa (Formazione Ragusa, Membro Irminio Sup.)
		35-105 m: alternanza calcarenitica (Formazione Ragusa, Membro Irminio inf.)
		105-200 m: Alternanza calcareo- marnosa (Formazione Ragusa, Membro Leonardo)



Codice Perforazione	Profondità totale raggiunta (m da piano campagna)	Stratigrafia da piano campagna
14153	162	0-0,70 m: terreno agrario
		0,70 – 162 m: calcare stratificato/roccia di calcare duro
15458	100	0-0,5 m: terreno agrario
		0,5 – 97 m: calcareniti (Formazione Palazzolo)
		97 – 100 m: argille e marne (Formazione del Tellaro)
15474	100	0 – 100 m: calcareniti bianco giallastre in grandi bancate e dall'aspetto massivo

In generale, sulla base delle informazioni sopra riportate, considerando che il cavo sarà posato a circa 1,6 m – 1,7 m di profondità, è possibile affermare che le attività di scavo interesseranno principalmente sedimenti superficiali costituiti essenzialmente da depositi sabbiosi nel tratto costiero, per poi interessare le porzioni superficiali dei depositi marnosi e calcarenitici.

Si sottolinea che in corrispondenza del sondaggio n.14335 sono presenti argilla e calcare nei primi 30 metri. Le alternanze di questi materiali su pendii mediamente inclinati possono portare a fenomeni franosi. Tuttavia, in fase operativa verrà eseguita una verifica di fattibilità e saranno adottati i necessari accorgimenti per render sicura l'opera.

Si segnala inoltre, allo stato attuale delle conoscenze, la necessità di predisporre apposita TOC resa necessaria per superare il fiume Tellaro, come precedentemente descritto al Paragrafo 2.2.1.

Tale perforazione, sulla base delle informazioni ad oggi disponibili, andrà ad interessare depositi calcarenitici evidenziati durante la perforazione del sondaggio n.15458 ubicato in prossimità della valle (Figura 3-11).



4 Inquadramento geomorfologico

Nel presente capitolo vengono analizzate e descritte le principali caratteristiche geomorfologiche a scala regionale e successivamente sito specifiche, relativamente alle aree sulle quali si svilupperà l'approdo, il cavidotto e la stazione utente.

4.1 Contesto geomorfologico regionale

La Sicilia è la più grande isola del Mar Mediterraneo e presenta una geomorfologia complessa e variegata, risultato di una lunga storia geologica influenzata da processi tettonici, vulcanici e sedimentari. La sua morfologia è dominata da una serie di catene montuose, pianure costiere, altipiani e vulcani attivi.

Le principali catene montuose della Sicilia includono i Monti Nebrodi, le Madonie e i Monti Sicani, che fanno parte dell'Appennino siculo, estensione meridionale dell'Appennino italiano (*Monaco & Tortorici, 2000*). Questi rilievi sono caratterizzati da una complessa struttura tettonica, con pieghe e faglie risultanti dalla collisione tra la placca africana e quella eurasiatica.

Il vulcano Etna, uno dei più attivi al mondo, domina la parte orientale dell'isola e rappresenta un elemento geomorfologico chiave. La sua attività eruttiva ha modellato un vasto paesaggio di colate laviche, crateri e coni piroclastici.

Le pianure costiere, come la Piana di Catania e la Conca d'Oro, sono formate da depositi alluvionali recenti e rappresentano le aree più fertili e densamente popolate dell'isola. La geomorfologia costiera è influenzata da processi di erosione, sedimentazione e movimenti tettonici, con frequenti fenomeni di subsidenza e innalzamento relativo del mare (*Antonioli et al., 2009*).

La Sicilia occidentale presenta un paesaggio dominato da piattaforme carbonatiche sollevate, come il Golfo di Castellammare, e complessi di scogliera risalenti al Miocene. Queste formazioni sono spesso interrotte da graben e horst, evidenziando la continua attività tettonica della regione.

L'area di progetto risulta ubicata all'interno dell'Altopiano Ibleo, situato nella parte sudorientale della Sicilia; questa regione di grande interesse geomorfologico presenta una morfologia modellata da una complessa interazione di processi tettonici, vulcanici e sedimentari che si sono verificati nel corso di milioni di anni.

Secondo quanto descritto dal Rapporto ambientale del VAS –Piano Regolatore Generale del Comune di Ragusa (maggio 2024), il sistema montuoso e collinare della regione è formato dalle diramazioni meridionali della catena dei Monti Iblei, originate nell'area vulcanica di Monte Lauro (986 m s.l.m.) nella parte settentrionale del territorio comunale. Queste diramazioni si sviluppano ai lati della profonda e stretta valle del fiume Irminio, caratterizzate da una formazione prevalentemente tabulare.

Morfologicamente e geo-litologicamente, si distinguono due zone principali:



- La zona centrale della vallata dell'Irminio e delle cave tributarie, caratterizzata da incisioni profonde (forre).
- La zona relativamente pianeggiante del tavolato centrale e occidentale, a Nord di Ragusa.

A Nord si trovano rilievi più accentuati che degradano rapidamente verso la pianura Vittoria Acate, spesso con marcate rotture di pendio. La parte centrale del territorio è prevalentemente pianeggiante (Plateau Ibleo) ma solcata da profonde incisioni, chiamate cave, dove scorrono i principali corsi d'acqua. Queste cave confluiscono nella valle del fiume Irminio, anch'essa profondamente incisa e con fianchi spesso a pareti verticali.

Il sistema delle cave è una caratteristica saliente del paesaggio degli Iblei ragusani; i versanti montuosi circostanti scendono a precipizio nella valle, alti e scoscesi, con numerose fessure, anfratti e imponenti masse rocciose. La zona ha un ricco reticolo idrografico con corpi idrici a portata variabile, spesso torrentizi. L'acqua piovana dell'altopiano alimenta una rete di circolazione sotterranea di natura carsica.

Il principale corso d'acqua nella zona di interesse è il fiume Irminio, il quale attraversa l'altopiano da Nord a Sud – Ovest per 48 km con un bacino di circa 266 km²; le cave tributarie maggiori si trovano sul lato occidentale della valle principale, a Nord di Ragusa, e sono originate dagli affluenti Calaforno, Carcallè, Burredaci, S. Rosalia, Volpe, Mastratto, Ciaramiti, Leonardo e Lusìa; mentre a Est sono originate dai torrenti Valle delle Monache e Gria. La maggior parte di questi affluenti è a carattere torrentizio e rimane asciutta durante il lungo periodo secco da maggio a ottobre.

Maggiori dettagli riguardo l'assetto idrografico e idrogeologico sono riportati nella specifica Relazione Idrogeologica redatta a supporto del progetto.

Lo sviluppo di alcuni di questi corsi d'acqua, in particolare nella zona settentrionale dell'altopiano, suggerisce una genesi dovuta a controllo strutturale visto il parallelismo esistente tra le valli ed il lineamento tettonico (Scicli-Ragusa) di direzione Nord Nord Est – Sud Sud Ovest e nella porzione sudoccidentale con le faglie ad essa coniugate orientate Nord Est – Sud Ovest.

La natura prevalentemente carbonatica degli Iblei e l'abbondante circolazione idrica sia superficiale che sotterranea ha determinato lo sviluppo di numerosi processi carsici testimoniati sia da diffuse forme superficiali (*karren*, vaschette di dissoluzione, solchi, forre etc.), che ipogee (grotte, condotti carsici, a volte fossili, a vari livelli stratigrafici).

In alcuni luoghi sul fondovalle sono presenti inghiottitoi, spesso sepolti al di sotto di coltri alluvionali, dove spesso sono presenti sorgenti che alimentano il deflusso superficiale, emergenti in corrispondenza dei punti di affioramento dei locali livelli piezometrici, oppure attraverso polle ubicate in corrispondenza di fratture lungo il subalveo.

L'Altopiano Ibleo è caratterizzato, quindi, da colline con rilievi arrotondati e profonde valli incise. Le valli fluviali, come quella del fiume Irminio, presentano versanti ripidi e formazioni di canyon dovute all'erosione intensa su substrati calcarenitici e calcarei. Nelle zone costiere e nelle aree interne più basse si trovano pianure



alluvionali e terrazzi marini, risultati delle oscillazioni del livello del mare durante il Quaternario. Questi terrazzi, spesso coperti da depositi sabbiosi e argillosi, testimoniano periodi alternati di sedimentazione ed erosione.

Ulteriore elemento morfologico a livello regionale è rappresentato dalla linea di costa; in relazione alle litologie presenti lungo i tratti costieri di interesse, è possibile distinguere quattro ambiti principali:

- Le pianure costiere di retrospiaggia, generalmente di natura alluvionale con depositi quaternari incoerenti e semicoerenti, bordate verso l'entroterra da terrazzi marini e spianate di abrasione, e i sedi di depositi discontinui di facies costiera, in discordanza sulle strutture del bedrock carbonatico;
- le coste rocciose, di natura calcarenitica e calcarenitico-marnosa, con formazioni sabbioso-calcarenitiche quaternarie, che danno luogo a modeste falesie e basse spianate costiere;
- i cordoni dunali mobili e fossili, costituiti da depositi sabbiosi di trasporto eolico, con manifestazioni di maggiore interesse presenti presso Randello, oggetto di impianti boschivi di consolidamento e bonifica, e dalla foce-riserva del fiume Irmínio;
- le spiagge sabbiose, presenti con continuità nel settore Nord occidentale e Sud-orientale del litorale, interessate da intensi fenomeni di erosione e deposito riconducibili all'impatto delle attività antropiche (edilizie ed agricole) relative agli ultimi 30-40 anni.

Secondo quanto riportato all'interno del documento: "*Rapporto Ambientale e Studio di Incidenza Ambientale "del Piano di Utilizzo del Demanio marittimo"* ((P.U.D.M.) del comune di Ragusa (Adeguamento alla L.R. n.3 del 17/03/2016 e D.A. 319/GAB del 05/08/2016), le tipiche morfologie del litorale ragusano, sono riconducibili principalmente a:

- fenomeni tettonici di sollevamento e dislocazione crostale;
- processi di deposito di ambiente di transizione "fluvio-palustre";
- processi di trasporto eolico "dune mobili e fossili";
- fenomeni erosivi e deposizionali costiere.

4.2 Aspetti geomorfologici dell'area di progetto

A scala di sito, l'assetto geomorfologico di seguito descritto è stato suddiviso in due distinte aree di interesse:

- Area approdo, che comprende la zona costiera interessata dall'approdo a terra dei cavidotti sottomarini a circa 480 m dalla linea di battaglia e la Buca giunti.



- L'area del cavidotto terrestre e della stazione utente, che dalla zona di approdo e procedendo verso l'entroterra percorre circa 57 km verso Nord Est interessando zone prevalentemente collinari e vallive.

Ai fini di una miglior valutazione delle criticità geomorfologiche potenzialmente riscontrabili nelle aree di interesse, è stata consultata la cartografia del Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana.

Il Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana rappresenta i livelli di pericolosità e di rischio derivanti dal dissesto idrogeologico. Tale dissesto può riguardare la dinamica dei versanti e la pericolosità geomorfologica, oltre che la dinamica dei corsi d'acqua e la relativa pericolosità idraulica e d'inondazione.

Il PAI risulta redatto ai sensi dell'art. 17 della L. 18/05/1989 n. 183 e dell'art. 1 del D. Lgs. 11/06/1998 n.180, convertito con L. 03/08/1998, n.267 e s.m.i.; con D.P. n. 9/ADB del 06/05/2021, l'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia ha approvato le "Modifiche alla Relazione Generale – Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana".

A livello comunale si è proceduto all'analisi e valutazione delle componenti geomorfologiche riportate all'interno dei PRG dei comuni di:

- Ragusa, PRG approvato con D.D.G. n. 168 del 12/04/2002:
- Modica, PRG con variante generale adeguato al decreto di approvazione D.D.G. n. 214 del 22/12/2017.

Per quanto riguarda i Comuni di Noto e Palazzolo Acreide non si rilevano indicazioni riguardo alla componente geomorfologica.

4.2.1 Area approdo

L'area di approdo è situata a circa 480 m dalla linea di costa, che rappresenta l'elemento geomorfologico predominante della zona. Questa posizione si trova a un'altitudine di circa 13 m s.l.m. La morfologia del territorio in questione è principalmente pianeggiante, caratteristica che contribuisce alla stabilità del suolo.

Come mostrato in Figura 4-1 (estratto tratto dal Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana), non vi sono evidenze di dissesti geomorfologici, come frane o zone ad elevata erosione, che possano compromettere la sicurezza e la stabilità dell'area.



Figura 4-1: Aree di Rischio (R) geomorfologico identificate nell'area di approdo (PAI, Regione Siciliana, 2024)

Per quanto riguarda la linea di costa, l'arretramento della stessa a scala comunale (Ragusa), è confermato dalle informazioni riportate all'interno del Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana. Come evidenziato in Figura 4-2 l'area di approdo risulta infatti ubicata in prossimità di un tratto costiero identificato a rischio di erosione elevato (R3) e a pericolosità molto elevata (P4).

Le Norme di Attuazione (NdA) del Piano prevedono quanto segue per le aree a pericolosità per idrodinamica e morfodinamica costiera molto elevata (P4) ed elevata (P3) (art. 29):

“Sono vietate tutte le opere e le attività di trasformazione dello stato dei luoghi. Sono, in particolare, vietati le opere, le costruzioni e i manufatti che possano interferire con i naturali fenomeni di morfodinamica costiera e gli interventi di tipo rigido che, oltre a determinare una locale sottrazione



della risorsa naturale spiaggia, possano generare fenomeni di modifica della linea di riva per mancata dissipazione dell'energia e conseguente innesco di fenomeni di riflessione.

La realizzazione di qualsiasi opera o atto di pianificazione territoriale per previsioni edificatorie nelle aree a pericolosità molto elevata (P4) ed elevata (P3), anche se effettuata previa realizzazione degli interventi di messa in sicurezza, va esclusa qualora siano possibili localizzazioni alternative.

Nelle aree a pericolosità P4 e P3 sono sempre consentiti:

a) la prosecuzione delle attività agricole e i cambi colturali, fermo restando che gli stessi non diano luogo a richieste di risarcimento del danno;

b) gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e all'eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica e alla tutela delle aree dunali;

c) gli interventi di miglioramento statico, di adeguamento sismico e di demolizione e ricostruzione nel rispetto della volumetria e sagoma esistenti;

d) gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, gli interventi di restauro e risanamento conservativo e gli interventi di ristrutturazione edilizia degli edifici, come definiti dalla vigente normativa di settore;

e) gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume e cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico urbanistico;

f) gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria, straordinaria e di consolidamento delle opere infrastrutturali e delle opere pubbliche o di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela.

[...]

All'interno delle aree a pericolosità molto elevata (P4) ed elevata (P3) sono consentiti, previa verifica di compatibilità:

a) interventi volti a diminuire il grado di vulnerabilità dei beni e degli edifici esistenti esposti al rischio;

b) realizzazione e manutenzione ordinaria e straordinaria di opere di difesa dall'erosione costiera e dall'inondazione marina delle aree costiere, atte a mitigare i livelli di rischio atteso e pericolosità esistenti;

c) opere temporanee o precarie per la permanenza o la sosta limitata nel tempo di persone, attrezzature leggere amovibili, servizi anche stagionali a supporto della balneazione, percorsi pedonali, aree destinate al tempo libero e alle attività sportive e alla fruizione turistica, regolamentate ai sensi del Codice della Navigazione e/o inserite nei Piani di Utilizzo del Demanio Marittimo (P.U.D.M.), che non prevedano il pernottamento e non comportino edificazione permanente, purché siano previste misure

di allertamento e a condizione che siano previsti gli opportuni interventi di mitigazione del rischio atteso;

d) gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, gli interventi di restauro e risanamento conservativo e gli interventi di ristrutturazione edilizia parziale degli edifici, come definiti dalla vigente normativa di settore, a condizione che gli stessi non aumentino il livello di rischio.

e) le occupazioni temporanee di suolo (cantieri, deposito di materiali o esposizione di merci a cielo libero);

f) eccezionalmente, la realizzazione di nuovi interventi infrastrutturali e nuove opere pubbliche a condizione che sia incontrovertibilmente dimostrata e dichiarata l'assenza di alternative di localizzazione e che sia compatibile con la pericolosità dell'area."

In merito a questo tema, va sottolineato che l'area di approdo risulta ubicata a circa 480 m rispetto alla linea di costa e che le attività previste (installazione dell'area di approdo e HDD) e dettagliate al Paragrafo 2.1, non andranno ad interagire in nessun modo con la battigia di fatto non alterando in nessun modo l'attuale assetto geomorfologico.

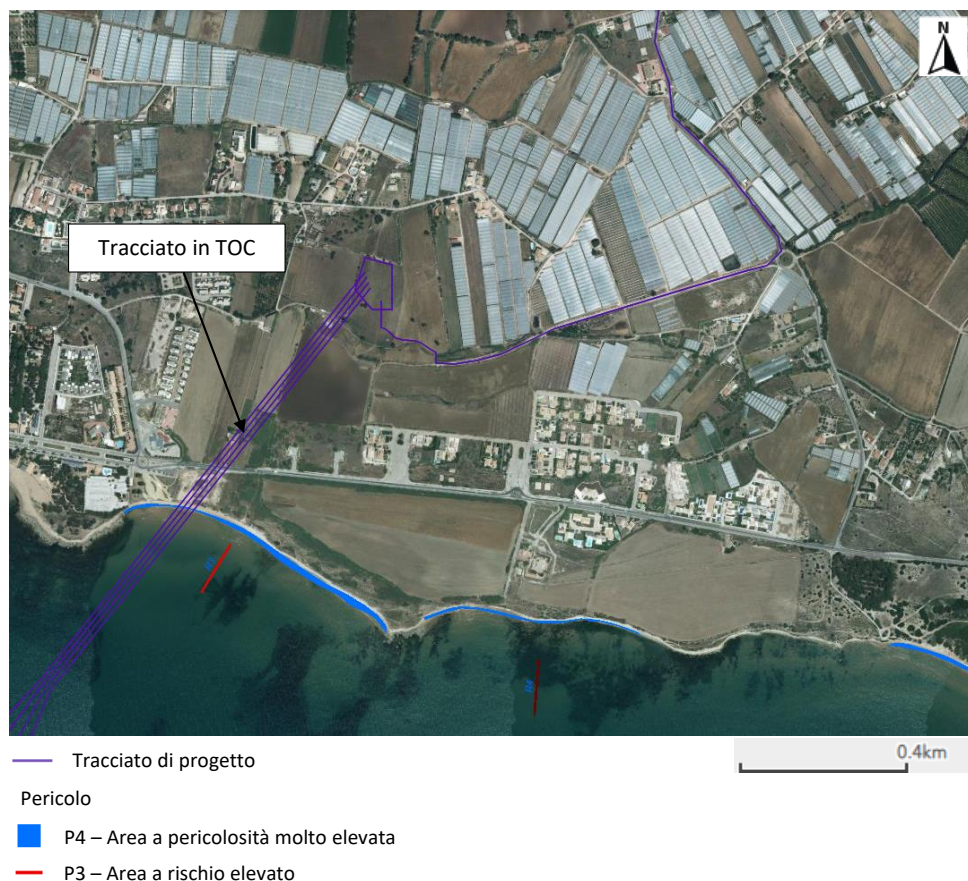


Figura 4-2: Estratto PAI Erosione Costa – Tratti costieri a rischio erosione elevato in blu (Regione Siciliana, 2024)



4.2.2 Area cavidotto terrestre e stazione utente

La geomorfologia dell'altopiano ibleo, su cui insiste il tracciato del cavidotto e la stazione utente per il collegamento alla rete elettrica nazionale, è influenzata dalla natura calcarenitica delle rocce di cui è costituito e che hanno permesso una modellazione dei rilievi causata dall'azione erosiva delle acque superficiali determinando la formazione di valli fluviali incassate (cave). Tale sistema vallivo risulta orientato prevalentemente da Nord Nord Est verso Sud Sud Ovest e rappresenta le discontinuità morfologiche più rilevanti presente lungo il cavidotto.

Tale assetto geomorfologico è evidenziato dall'andamento topografico che il tracciato del cavidotto, compreso tra i 13 m s.l.m. (area di approdo) e i 574 m s.l.m. in prossimità del collegamento alla rete nazionale; raggiungendo lungo il percorso una quota massima di circa 700 m s.l.m.

Nel dettaglio partendo dalla zona di approdo e procedendo verso l'entroterra (Figura 4-3), il cavidotto ricade per i primi 4 km nella piana costiera alluvionale di Marina di Ragusa, una volta attraversata la valle del fiume Irminio, il tracciato tende a risalire di quota in maniera regolare, attraversando diverse incisioni vallive o "cave", più o meno pronunciate e generate dall'azione erosiva delle acque piovane sui depositi calcarenitici, calcari e marnosi. A circa metà del tracciato, a Nord Est dell'abitato di Ragusa, la morfologia digrada costantemente da circa 500 m s.l.m. per inserirsi nell' ampia valle del fiume Tellaro fino a quota circa 200 m s.l.m. dopo circa 12 km. Successivamente, il tracciato del cavidotto terrestre risalendo la valle dal fiume Tellaro prosegue con direzione Nord Est assumendo una pendenza di circa il 10% fino alla quota massima circa 700 m s.l.m., a circa 7 km dalla zona terminale del cavidotto dove è ubicata la stazione elettrica.

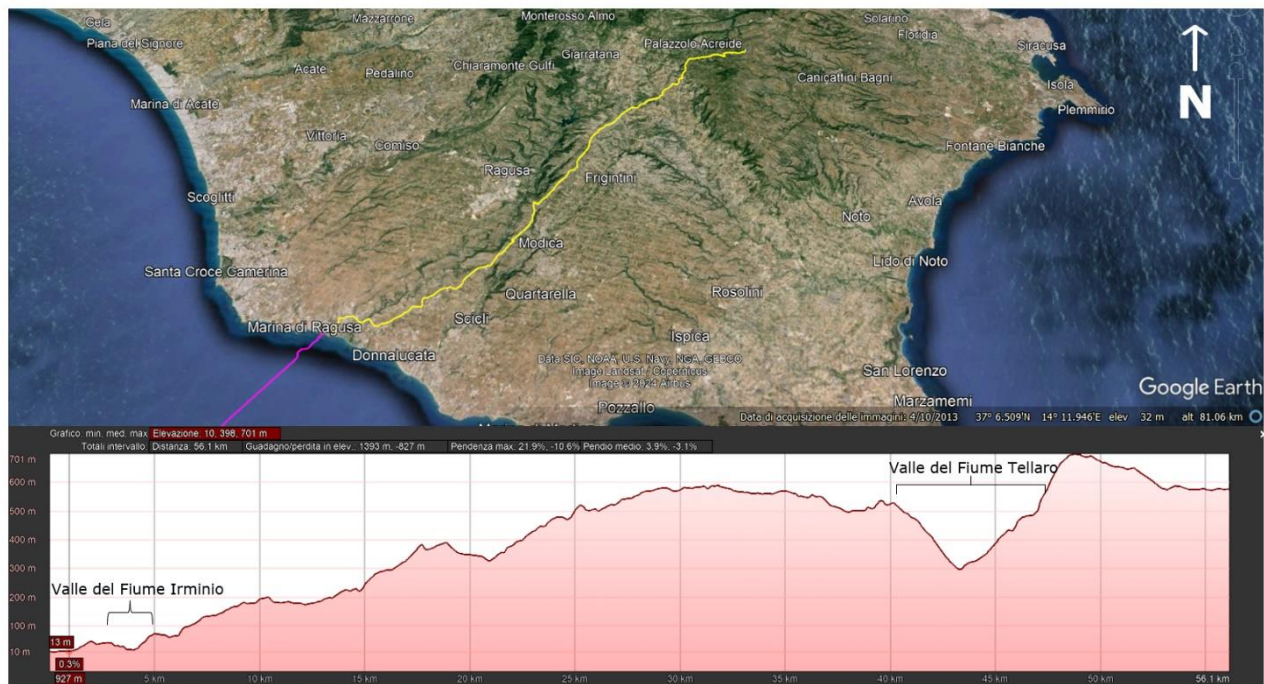


Figura 4-3: Profilo di elevazione del cavidotto terrestre (Immagine da Google Earth Pro).

Dalla ricostruzione topografica sopra riportata ne consegue che il cavidotto, correndo lungo strada in prossimità delle incisioni vallive, potrebbe essere soggetto potenzialmente ad una situazione di instabilità geomorfologica.

Tuttavia, analizzando le caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle litologie presenti nell'area del tracciato terrestre, si nota come la Formazione di Ragusa e la Formazione del Palazzolo, presenti lungo la valle del fiume Irminio e su cui insiste la maggior parte del tracciato del cavidotto (Paragrafo 3.2.2) mostrino una giacitura generalmente sub-orizzontale tale per cui, sebbene l'area sia soggetta a dilavamento, la stabilità dei versanti non risulta compromessa.

Geomorfologicamente diverso è l'assetto della valle del fiume Tellaro, attraversata trasversalmente dal cavidotto terrestre in prossimità della sua fine (indicativamente al km 43) che assume pendenze medie di circa del 10%. I depositi della valle del Tellaro (Paragrafo 3.2.2) sono costituiti da riempimento giovane sin-tettonico di una depressione strutturale bordata lungo i fianchi dai Plateau di Ragusa e quello di Siracusa (Romagnoli et al., 2015). Pertanto, come riportato in Figura 4-4, i lati della valle sono geomorfologicamente diversi e riflettono la complessa combinazione di carattere geologico tettonico: il lato occidentale della valle si mostra con una scarpata rocciosa ripida costituita dalle calcareniti sub-orizzontali della Formazione Ragusa, mentre il lato orientale della Valle del Tellaro mostra una scarpata meno acclive in cui non vi è un netto contatto tra i livelli pelagici marnosi e detritici in quanto è presente sottile alternanza di marne e calcari con orizzonti collassati nei livelli sommitali.

Pertanto, secondo quanto sopra descritto, la giacitura di deposizione e le caratteristiche litostratigrafiche dei depositi presenti non sono estremamente favorevoli a suscitare fenomeni di instabilità ad esclusione delle zone in cui risultano già in atto fenomeni franosi.

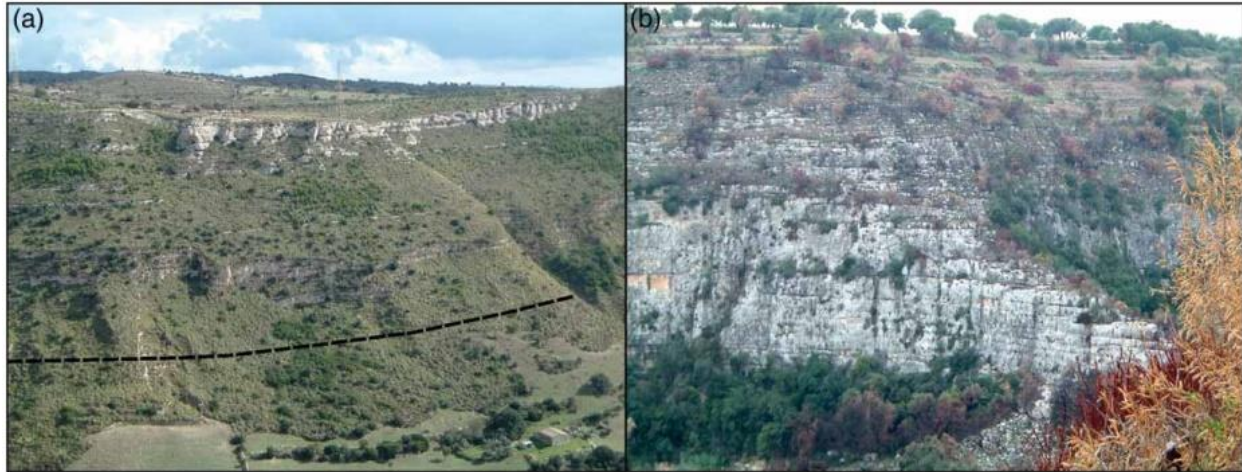


Figura 4-4: (a) Successione stratigrafica dell'Altopiano di Siracusa (la linea tratteggiata rappresenta in parte il contatto, parzialmente ricoperto dalla scarpata, tra la Formazione Tellaro alla base e la Formazione Palazzolo in alto); (b) Successione stratigrafica dell'Altopiano di Ragusa (calcareniti a stratificazione massiccia, alla base; calcareniti alternato a marne in alto).

La valutazione sulle criticità geomorfologiche dell'area viene ulteriormente completata attraverso l'analisi delle zone geomorfologiche critiche identificate all'interno del PAI; nello specifico il cavidotto partendo dall'area di approdo e proseguendo verso l'entroterra interseca o risulta in prossimità di n.3 aree a Pericolosità e Rischio medio elevato:

- Nei pressi del fiume Irminio (Figura 4-5 e Figura 5 8), il cavidotto terrestre verrà posizionato vicino a due zone a pericolosità elevata (P3) e rischio elevato (R3), senza tuttavia intersecarle direttamente. Sulla base delle evidenze attualmente disponibili (Figura 5-9), la morfologia scarsamente acclive e il buono stato del manto stradale non suggeriscono una condizione di instabilità attiva. Tuttavia, l'area compresa tra le due zone, attraversata dal cavidotto, potrebbe costituire un'estensione delle due zone ad alto rischio, unendole in un'unica area. Come già descritto al Par. 2.2.1 in questo tratto l'attraversamento del fiume Irminio sarà realizzato tramite TOC. Per tale motivo, in considerazione della perimetrazione di cui sopra, in fase operativa verrà eseguita una verifica di fattibilità e saranno adottati i necessari accorgimenti per garantire la sicurezza dell'opera.



Figura 4-5: Aree di pericolosità (P) geomorfologica (Geoportale Regione Sicilia, 2024). In figura, il cavo terrestre è mostrato in giallo, le aree a pericolosità geomorfologica in arancione (P3), mentre l'area proposta per l'attraversamento tramite TOC è contrassegnato dal cerchio rosso.

- Una seconda zona a pericolosità elevata (P3) e rischio medio (R2) è localizzata nel tratto tra il 20 e 21 km, lungo il versante orientale della valle del fiume Irminio (Figura 4-6 e Figura 4-7). L'area viene segnalata anche dalla cartografia del PGR del Comune di Ragusa, antecedente all'aggiornamento del PAI, come zona a franosità molto elevata (Figura 4-8).

In questo caso si evidenzia come il tracciato non interferisca in maniera diretta con le aree appena descritte, di fatto non andando ad interagire con la pericolosità mappata, tuttavia, vista la vicinanza, in fase operativa si consiglia una verifica di fattibilità e l'adozione di tutti i necessari accorgimenti per garantire la sicurezza dell'opera.

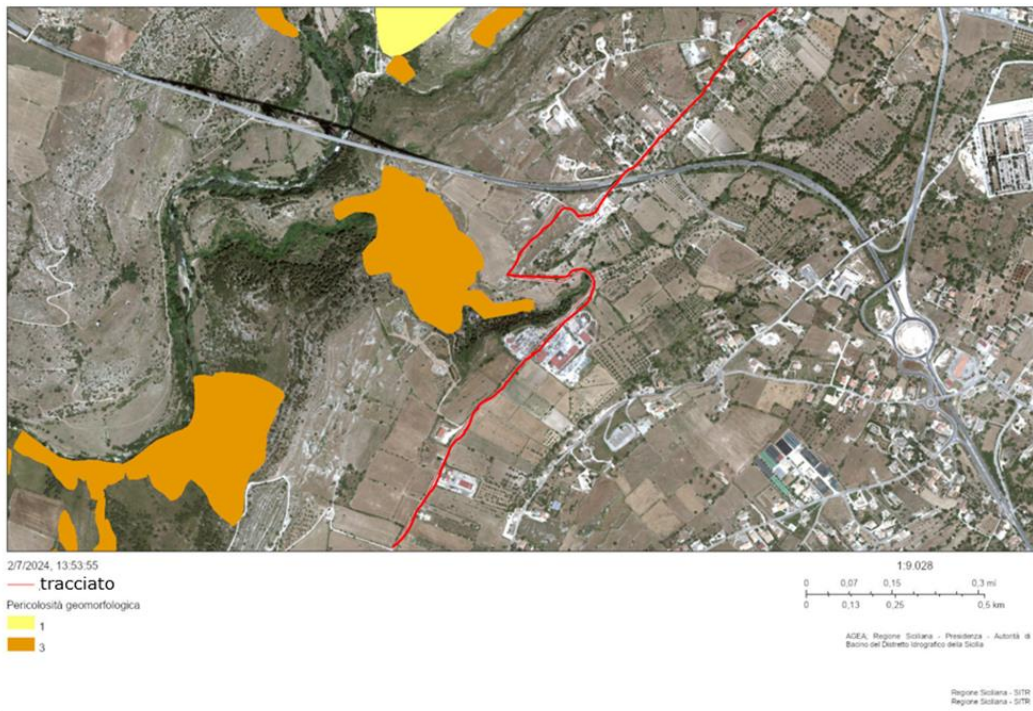


Figura 4-6: Aree di pericolosità (P) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024)

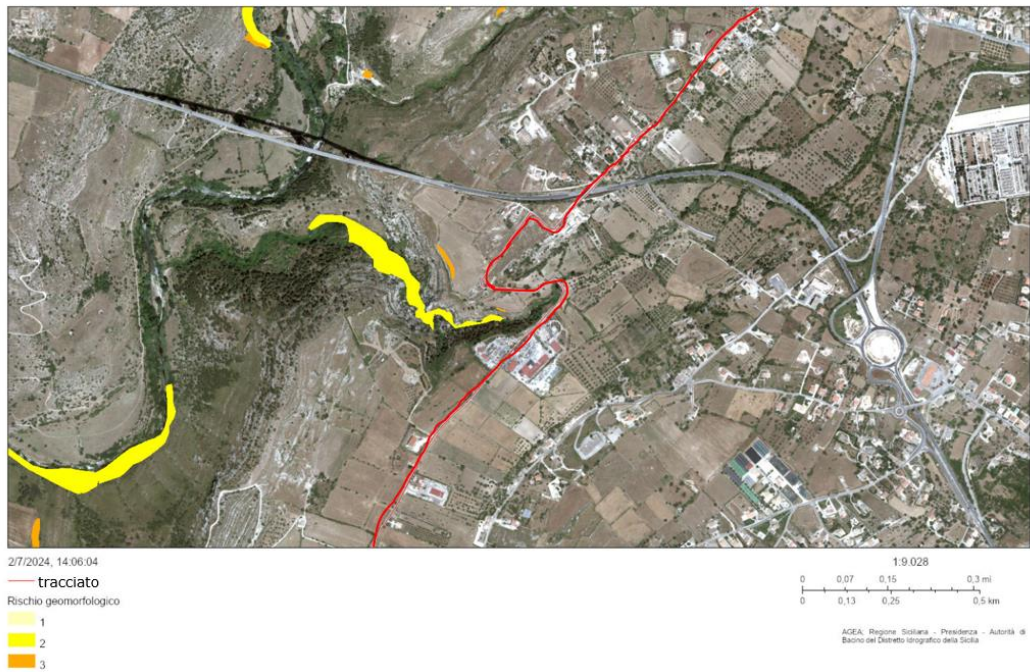


Figura 4-7: Aree di rischio (R) geomorfologico (Geoportale Regione Sicilia, 2024)

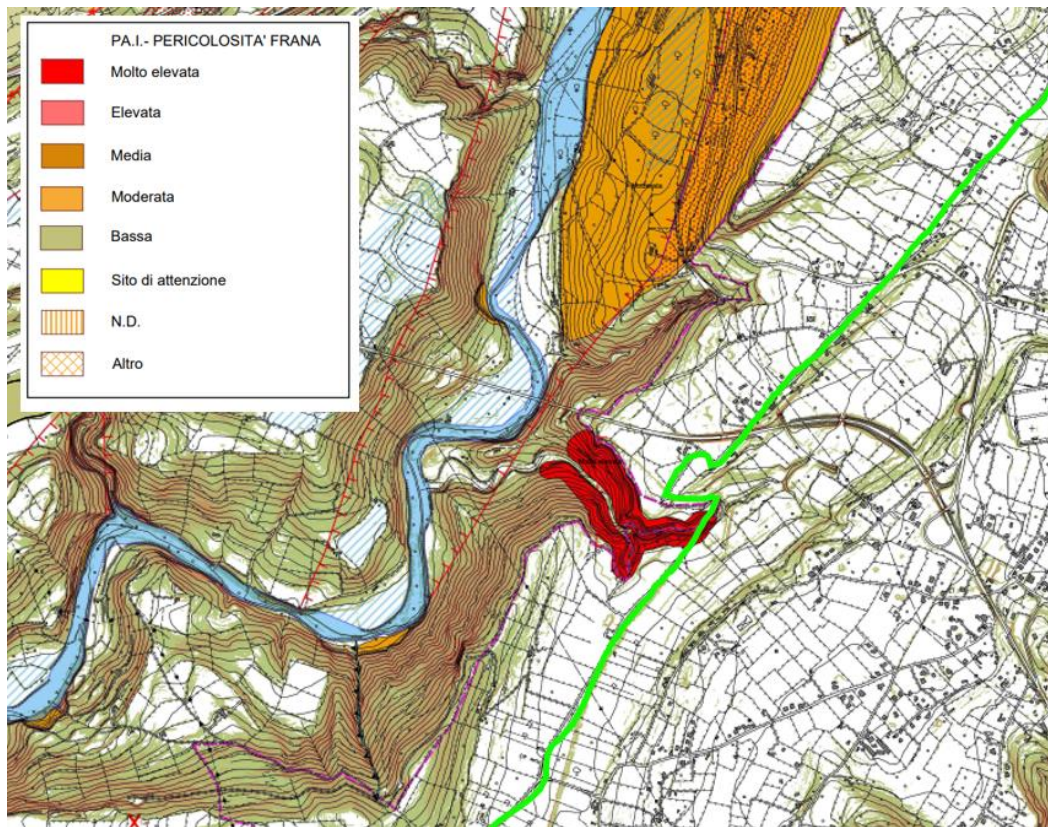


Figura 4-8: Stralcio carta geomorfologica Tavola N. 53 del Piano Regolatore del Comune di Ragusa. In verde in figura, il tracciato del cavidotto terrestre (Piano Regolatore del Comune di Ragusa,2006).

- Una terza zona localizzata a sud est dell'abitato di Ragusa, a pericolosità morfologica media (P2) sul versante occidentale del Torrente di Modica. Il perimetro superiore di tale area dista circa 40 m dal tracciato del cavidotto terrestre (Figura 4-9 e Figura 4-10). Sebbene il cavidotto non interferisca con l'area cartografata come a rischio geomorfologico, dall'analisi delle immagini di Google Earth (Figura 5-15) con prospettiva dal versante opposto si osservano alcuni indicatori morfologici che potrebbero indicare che la zona risulti potenzialmente soggetta a franosità. Per tale motivo, in fase operativa si consiglia una verifica di fattibilità sito-specifica tramite sopralluogo e l'adozione di tutti i necessari accorgimenti per garantire la sicurezza dell'opera.



Figura 4-9: Aree di pericolosità (P) geomorfologica (Geoportale Regione Sicilia, 2024)



Figura 4-10: Immagine da Google Earth dell'area identificata come media pericolosità (P2) nella Figura 5-14

5 Rischio sismico

L'area di progetto risulta ubicata in prossimità di alcune importanti strutture sismogenetiche quali: quella di Ragusa-Palagonia, Scicli-Giarratana, Gela-Catania e quella di Monte Lauro (Fig. 2.6) (Basili et al., 2008).

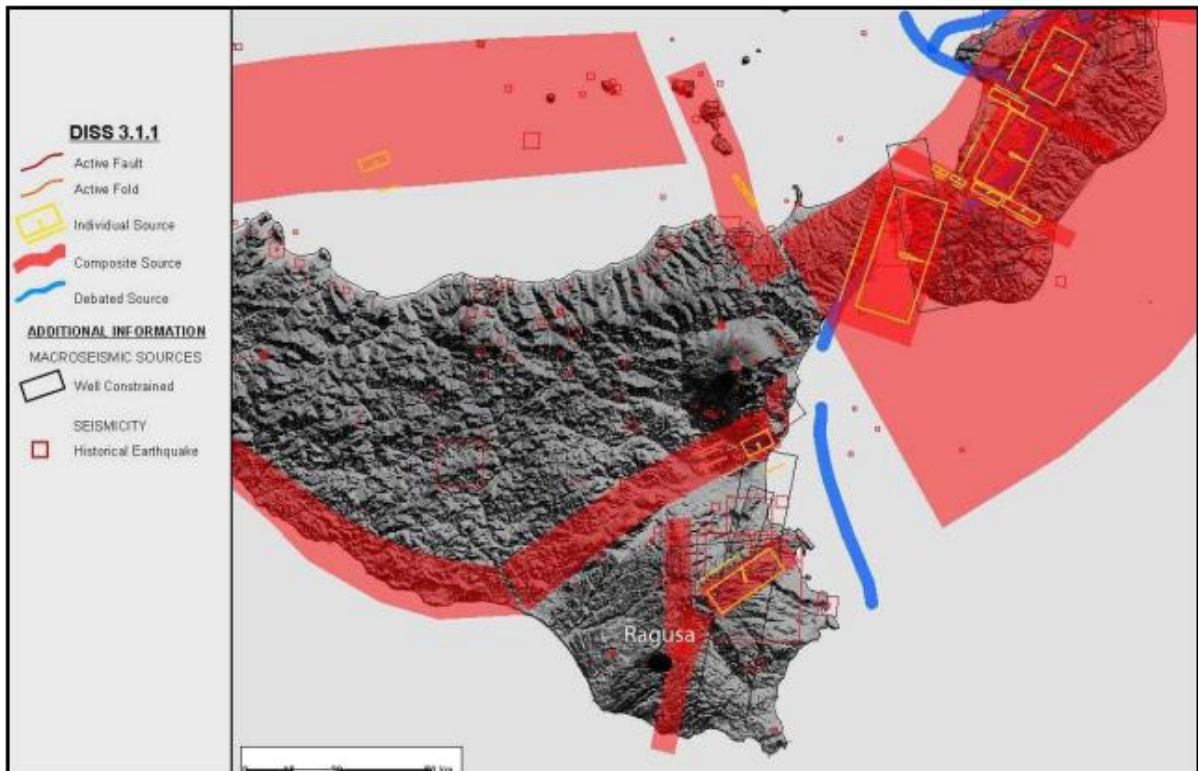


Figura 5-1: Mappa delle strutture sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili et al., 2008).

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Il Piano di Classificazione del Rischio Sismico (PCM) n. 3519/2006 ha diviso il territorio nazionale in quattro zone sismiche, basandosi sul valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, con una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

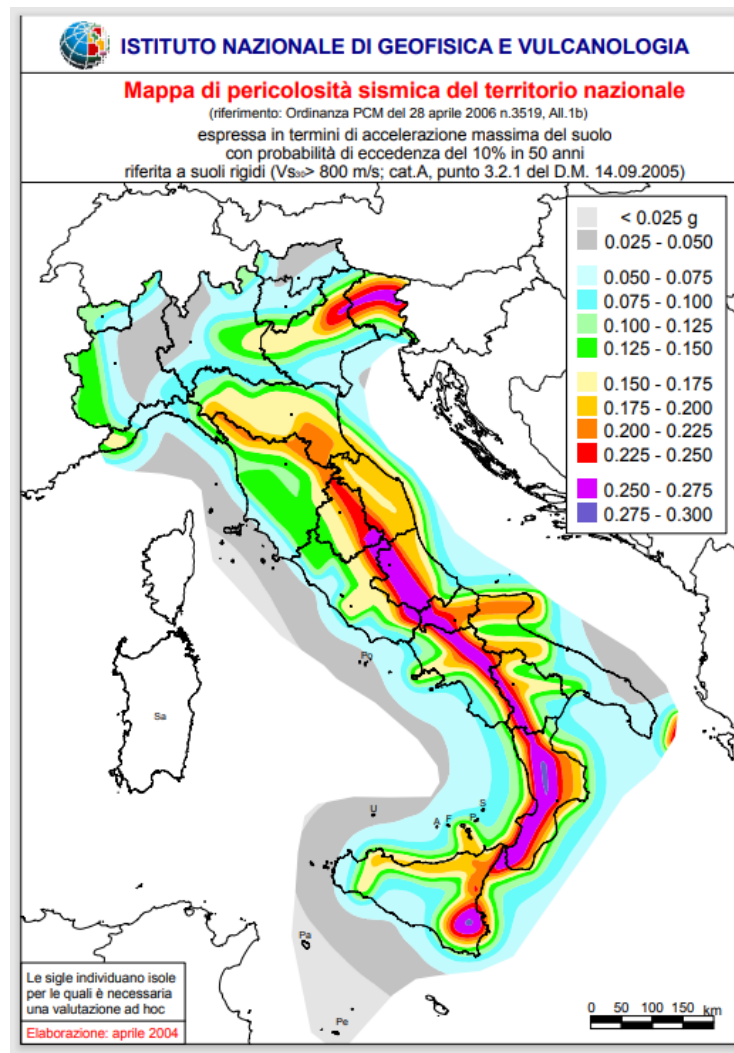


Figura 5-2: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza n.3519 e riportati nella Tabella 5-1.

Tabella 5-1: *Classificazione delle zone sismiche*

Zona sismica	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$0,25 < ag \leq 0,35$ g	0,35 g
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < ag \leq 0,25$ g	0,25 g



Zona sismica	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < ag \leq 0,15$ g	0,15 g
4	È la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$ag \leq 0,05$ g	0,05 g

Con il Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64 è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Sicilia, redatta con i criteri dell'Ordinanza PCM 28 aprile 2006, n. 3519, la cui proposta è stata condivisa dalla Giunta Regionale con la Deliberazione 24 febbraio 2022, n. 81, tenendo conto delle rettifiche riportate d'ufficio riguardo ai Comuni di Favara (AG) e Pantelleria (TP).

La Sicilia è una regione con un rischio sismico estremamente elevato, sia per la frequenza che per l'intensità dei terremoti storicamente registrati; questa situazione è aggravata da una vulnerabilità significativa, dovuta alla fragilità delle strutture edilizie, infrastrutturali, industriali e dei servizi. Inoltre, l'elevata densità abitativa e la presenza di un ricco patrimonio storico, artistico e monumentale in aree attraversate da faglie attive aumentano ulteriormente l'esposizione al rischio.

Nello specifico, i comuni interessati dal progetto ricadono in aree a rischio 1 (Figura 5-3). Pertanto, in caso di un probabile sisma, l'attesa massima accelerazione del suolo, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, risulta essere $0,25 < ag \leq 0,35$ g seguendo la classificazione in Tabella 5-1.

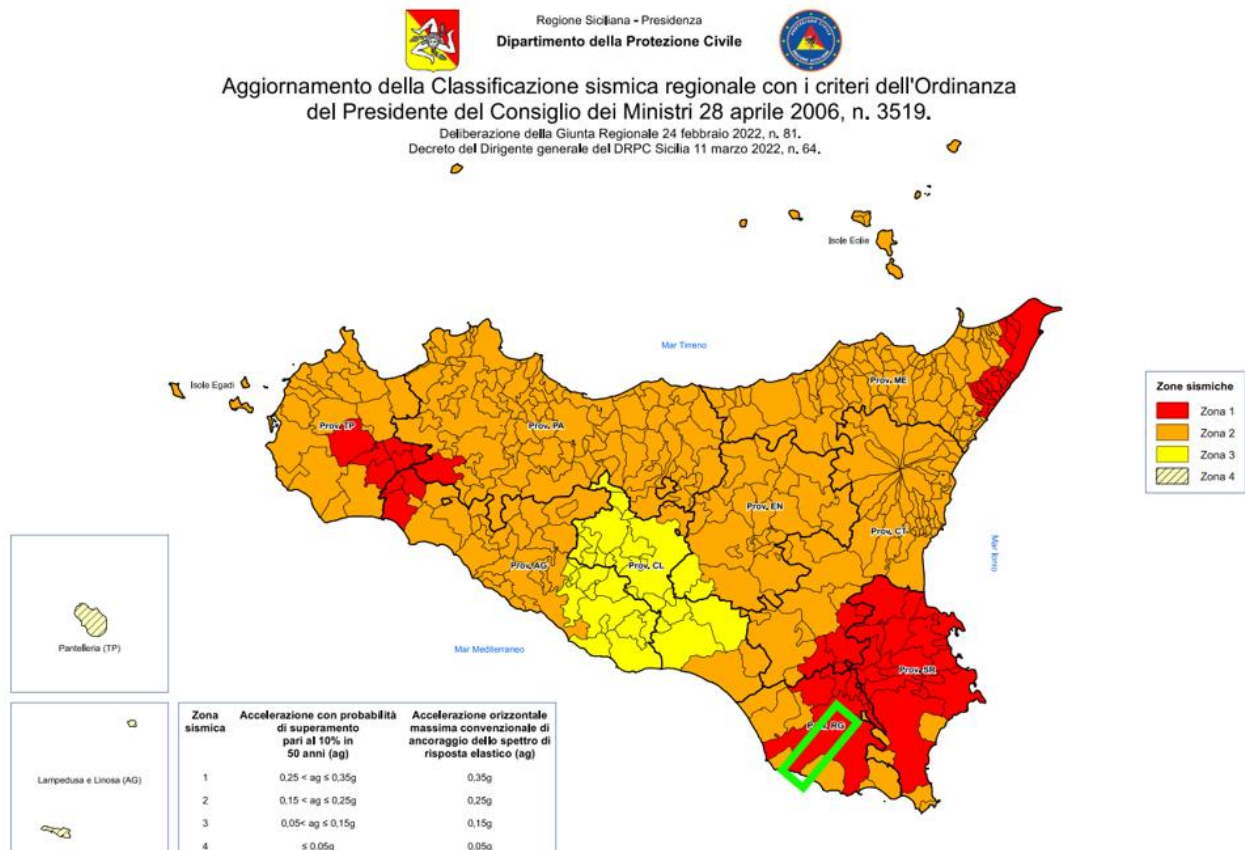


Figura 5-3: Classificazione sismica della Regione Sicilia (Dipartimento della Protezione Civile - Regione Siciliana). In verde è evidenziata l’area di interesse.

5.1 Modellazione sismica del sito

Nel presente paragrafo si affrontano gli aspetti relativi alla sismicità locale del comune di Ragusa, coinvolto dall'approdo, e del comune di Palazzolo Acreide, interessato dalla costruzione della stazione elettrica onshore, posto che questa tipologia di analisi, prevista dalle NTC 2018, risulta fondamentale ai fini di una corretta progettazione e delle relative verifiche di carattere geotecnico.

Per una miglior comprensione della problematica si riporta di seguito la parte introduttiva della normativa di riferimento (Capitolo 3.2.3, delle NTC 2018):

“Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa “ag” in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come



definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza VN come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;
- T_{c^*} : periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.

Per i valori di a_g , F_o e T_{c^*} , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.”

In particolare, la determinazione dei parametri di cui sopra viene effettuata grazie ad un “reticolo di riferimento”, costituito da una maglia di circa 5 km di lato ricoprente l'intero territorio nazionale. È possibile calcolare per interpolazione dei singoli nodi i parametri di pericolosità sismica per un assegnato periodo di ritorno (TR) in una qualsiasi località.

Il periodo di ritorno viene valutato in funzione della “vita di riferimento” (VR) e in base alla corrispondente probabilità del suo superamento con riferimento allo stato limite che s'intende verificare. La vita di riferimento viene calcolata in funzione della “vita nominale” (VN) e del “coefficiente d'uso” (CU, a sua volta basato sulla classe d'uso dell'opera).

Si riportano di seguito le tabelle riepilogative di quanto appena descritto.

Tabella 5-2: Vita Nominale per diversi tipi di opera

	TIPO DI COSTRUZIONE	Vita Nominale (VN) (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari.	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100



Tabella 5-3: Classificazione delle tipologie di opere

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

Tabella 5-4: Valori del coefficiente d'uso CU

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

Per quanto concerne invece la definizione degli stati limite a cui fare riferimento nella progettazione, la normativa indica quanto segue:

“Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

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



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

Gli stati limite ultimi (SLU) comprendono:

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

I coefficienti relativi agli stati limite di danno (SLD) e di salvaguardia della vita (SLV) sono quelli cui vanno riferite le verifiche rispettivamente per gli stati limite di esercizio e gli stati limite ultimi. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento (PVR), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 5-5: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR

STATI LIMITE	SLO	SLD	SLV	SLC
PVR	81%	63%	10%	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR si ricava il periodo di ritorno TR del sisma utilizzando la relazione:

$$TR = VR / \ln(1 - PVR)$$

Per quanto riguarda invece gli aspetti inerenti alle categorie di sottosuolo e alle condizioni topografiche, la normativa recita:



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

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.”

Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite nella tabella seguente, così come proposte dalle NTC:

Tabella 5-6: Categorie dei suoli di fondazione

TIPO DI TERRENO	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO CHE PERMETTONO UN APPROCCIO SEMPLIFICATO
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	Depositati 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	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le caratteristiche topografiche, nel caso di condizioni superficiali semplici, possono essere identificate con la classificazione riportata in Tab. 3.2.III delle NTC 2018 di seguito riportata.



Tabella 5-7: Categorie topografiche per le costruzioni

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

A fronte dei presupposti di cui sopra, è stata effettuata una modellazione sismica dei comuni di Ragusa (Tabella 5-8) e Palazzolo Acreide (Tabella 5-9) attraverso il programma 'Geostru PS', con la quale è stato possibile calcolare in via preliminare i parametri sismici di riferimento per i differenti stati limiti previsti dalla normativa.

Per l'elaborazione dei parametri sismici per quanto riguarda la stazione di approdo, la tipologia di opera è stata assunta con classe IV (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità), con Vita Nominale di 50 anni e Coefficiente d'uso 2, mentre al sottosuolo è stata associata una categoria tipo C e una condizione topografica T1.

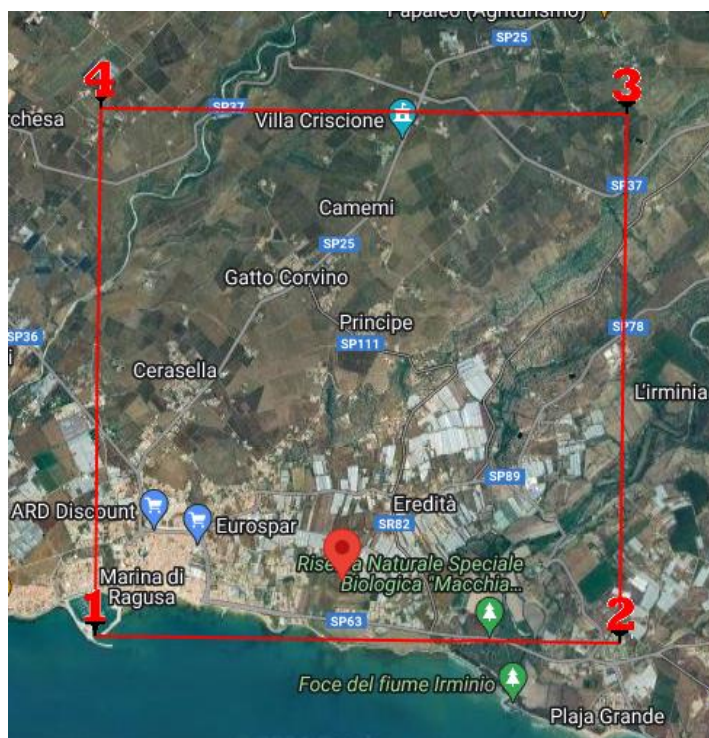


Figura 5-4: Area di interesse dove è situata l'area di approdo



Tabella 5-8: Parametri sismici calcolati per l'area di approdo

Stato Limite	Probabilità di superamento	Tr (years)	a_g	Fo	T*C (s)
SLO	81 %	60	0,037	2,565	0,258
SLD	63 %	101	0,049	2,535	0,290
SLV	10 %	949	0,177	2,368	0,500
SLC	5 %	1950	0,239	2,478	0,532

Per l'elaborazione dei parametri sismici per quanto riguarda la stazione elettrica nel comune di Palazzo Acreide, la tipologia di opera è stata assunta con classe IV (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità), con Vita Nominale di 50 anni e Coefficiente d'uso 2, mentre al sottosuolo è stata associata una categoria tipo C e una condizione topografica T1.

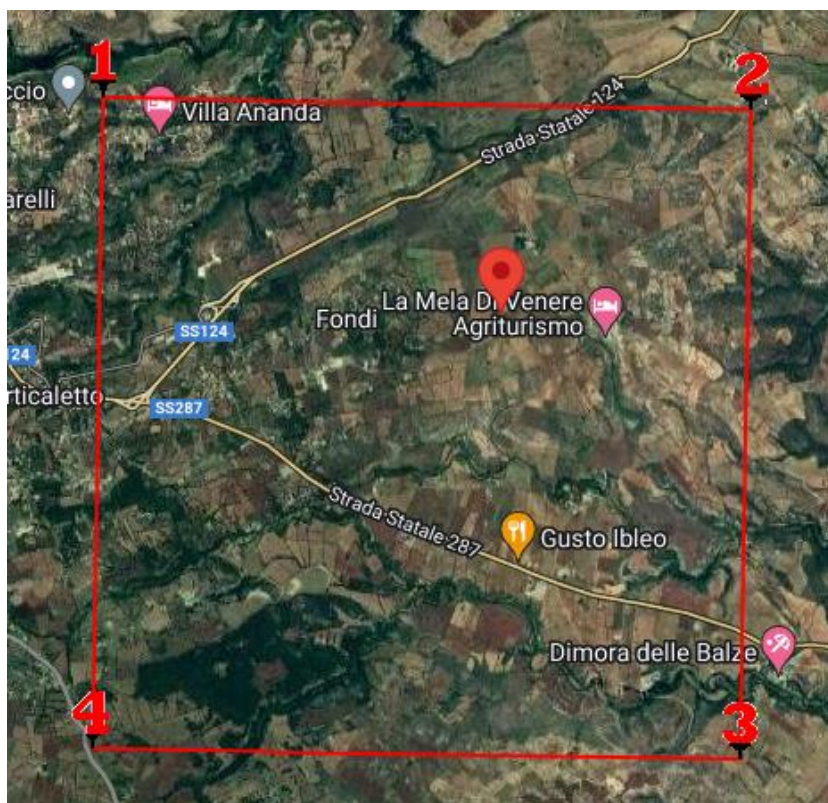


Figura 5-5: Area di interesse dove è situata la sottostazione di collegamento alla rete nazionale



Tabella 5-9:- Parametri sismici calcolati per il comune di Palazzolo Acreide, dove è situata la stazione elettrica

Stato Limite	Probabilità di superamento	Tr (years)	a_g	Fo	T*C (s)
SLO	81 %	60	0,074	2,484	0,271
SLD	63 %	101	0,109	2,339	0,290
SLV	10 %	949	0,383	2,336	0,470
SLC	5 %	1950	0,541	2,337	0,530

5.2 Fenomeni di liquefazione

La liquefazione è la condizione in cui un terreno perde quasi completamente la sua resistenza al taglio e assume un comportamento simile a quello di un liquido. Questo fenomeno si verifica principalmente in terreni incoerenti, come sabbia fine, situati in falda e nei primi quindici metri di profondità. In condizioni normali, senza eventi sismici, un terreno incoerente situato a una certa profondità rispetto al piano campagna è soggetto solo alla pressione litostatica derivante dal peso dei terreni sovrastanti.

Durante un terremoto, il terreno incoerente subisce sollecitazioni cicliche di taglio a causa della propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica rimane costante. Inoltre, il sottosuolo può già essere soggetto a sforzi di taglio statici a causa di sovraccarichi applicati sulla superficie (come costruzioni) o a causa della sua posizione nella morfologia locale (ai piedi o lungo un versante).

La probabilità che si verifichi la liquefazione dipende non solo dalle caratteristiche del terremoto, ma anche dall'interazione tra le tensioni di taglio indotte dal sisma e quelle statiche preesistenti. La liquefazione dipende anche dalle condizioni di addensamento del terreno, dalle sue caratteristiche granulometriche, dalle condizioni di drenaggio e dalla sua storia geologica e sismica.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze illustrate in Tabella 5-10. Poiché la condizione 1 non è verificata, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Tabella 5-10- Verifica di esclusione alla liquefazione



Condizione	Stato di verifica
Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g (ag).	NON VERIFICATA
Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (misura riferita al valore medio stagionale).	-
Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa	-
Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) delle NTC 2018 di seguito riportata nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e figura (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.	-

a-)

Distribuzione granulometrica

(b)

Distribuzione granulometrica



6 Conclusioni

Il presente documento costituisce la relazione geologica predisposta per NINFEA RINNOVABILI S.r.l. nell'ambito dello sviluppo del progetto del Parco Eolico Offshore denominato "Scicli", nello Stretto di Sicilia a circa 27 km dalla costa Siciliana tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

L'obiettivo principale è stato fornire un'analisi quanto più dettagliata delle caratteristiche geologiche, della composizione litologica e delle caratteristiche geomorfologiche e sismiche dell'area di interesse onshore, al fine di supportare la fase preliminare del progetto.

La presente valutazione si basa sulla revisione delle informazioni online disponibili sui siti web e sulle banche dati del Comune di Ragusa, della Regione Sicilia, del Servizio Geologico d'Italia e del Ministero dell'Ambiente. Inoltre, è stata eseguita un'analisi di dettaglio delle informazioni, mappe e/o fotografie aeree pubblicamente disponibili, nonché mappe topografiche, geologiche e idrogeologiche per stabilire l'impostazione del sito e le potenziali preoccupazioni geotecniche. Infine, è stata valutato preliminarmente il rischio di sismicità e liquefazione in base alle informazioni specifiche del sito disponibili.

Dal punto di vista geologico e lito-stratigrafico, l'area dell'approdo è caratterizzata da depositi di spiaggia costituiti in sabbie giallastre; mentre l'area interessata dal cavidotto e dalla stazione utente per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale è principalmente costituita da una varietà di depositi sedimentologici eterogenei, che includono calcari, calcareniti e marne.

Dall'analisi della cartografia disponibile, emerge che l'area di approdo non risulta soggetta a pericoli significativi legati a fenomeni geomorfologici quali frane o erosione costiera (arretramento della costa); l'analisi storica dei dati non evidenzia elementi che segnalino situazioni critiche.

Per quanto riguarda l'area interessata dal cavidotto e dalla stazione utente per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale, sebbene l'area mostri una complessa geomorfologia, non si rinvengono situazioni critiche che possano portare a dissesti geomorfologici, considerando le caratteristiche litologiche dei depositi e le attività di installazione previste.

Il cavidotto lambisce solo tre aree in cui sussiste una pericolosità geomorfologico medio - alta (Paragrafo 4.2.2); per tali zone si raccomandano ulteriori approfondimenti una volta definiti tutti gli aspetti realizzativi delle opere di progetto.

Per quanto riguarda la sismicità, l'area è classificata come zona 1, caratterizzata pertanto da elevata sismicità e inoltre, per quanto concerne la verifica dell'area di approdo e della stazione elettrica, non è stato possibile escludere preliminarmente la verifica di fenomeni di liquefazione. Come sopra, anche questo aspetto potrà essere chiarito a seguito di specifiche indagini geotecniche su tutti i tratti di interesse. Le misure di mitigazione prevederanno di evitare di far attraversare il cavo export o di installare la stessa stazione utente in terreni a rischio di liquefazione, o in alternativa di migliorare il terreno e renderlo meno suscettibile a liquefazione, ad esempio tramite compattazione, drenaggio o l'utilizzo di pali di fondazione.



Nell'analisi cartografica condotta, è emerso un quadro dettagliato dei rischi e delle criticità presenti; tuttavia, è fondamentale sottolineare che queste valutazioni rappresentano solo una fase preliminare del processo decisionale.

Si prevede che tali aspetti saranno esaminati più approfonditamente attraverso indagini mirate, al fine di confermare o rettificare le conclusioni raggiunte. Inoltre, durante la successiva fase di pianificazione e implementazione, saranno necessarie misure di mitigazione, tenendo conto dei risultati delle indagini per garantire una gestione completa ed efficace dei rischi identificati.

In fase di progettazione esecutiva risulterà d'obbligo l'esecuzione di apposite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni interessati dalle opere di progetto, quali (a titolo esemplificativo e non esaustivo):

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo e prelievo di campioni per esecuzione di analisi di laboratorio geotecnico.
- Indagini penetrometriche in sito (es. CPT, DPSH, etc.).
- Indagini geofisiche finalizzate alla definizione del parametro V_{seq} dei terreni interessati dalle opere (MASW, HVSR, etc.).

Laddove saranno poi previste opere di scavo o realizzazione di opere di fondazione (es. sottostazione elettrica), sarà inoltre necessario un'analisi di stabilità dei fronti di scavo, nonché la valutazione della compatibilità geotecnica delle opere in termini di capacità portante del terreno e cedimenti. Inoltre, sarà necessario approfondire gli aspetti legati alla verifica alla liquefazione.

In conclusione, il presente elaborato, redatto ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), ha permesso di approfondire la conoscenza delle peculiarità geologiche, litostratigrafiche, geomorfologiche e sismiche relativamente all'area di progetto, permettendo di determinarne la fattibilità preliminare, a valle delle indagini, ai sensi della normativa vigente.



Riferimenti bibliografici

- Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Presti, V. L., Mastronuzzi, G., Deiana, G., ... & Radtke, U. (2009). "Holocene Relative Sea-Level Changes and Vertical Movements Along the Italian and Istrian Coasts." *Quaternary International*, 206(1-2), 102-133.
- Basili, R., Valensise, G., Vannoli, P., Burrato, P., Fracassi, U., Mariano, S., Tiberti, M. M., & Boschi, E. (2008). "The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology." *Tectonophysics*, 453(1-4), 20-43.
- Bianchi, F., Dal Piaz, G. V., & Gosso, G. (1987). "Geologia delle Alpi." Volume speciale della Società Geologica Italiana, 26, 1-52.
- Bianca, M., Monaco, C., Tortorici, L., & Cernobori, L. (1999). "Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake." *Geophysical Journal International*, 139(2), 370-394.
- Bonardi, G., De Capoa, P., Giunta, G., Perrone, V., & Zuppetta, A. (1982). "The Geology of the Northern Calabrian Arc." *Rendiconti della Società Geologica Italiana*, 5, 147-161.
- Carbone s., Messina a. & Lentini f. (2007) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000 Foglio 601 Messina-Reggio Calabria
- Catalano, R., Doglioni, C., & Merlini, S. (2001). "On the Mesozoic Ionian Basin." *Geophysical Journal International*, 144(1), 49-64.
- Catalano, R., Franchino, A., Merlini, S., & Sulli, A. (2002). "Central Western Sicily Structural Setting and Foreland Architecture." *Tectonophysics*, 357(1-4), 201-214.
- Catalano, R., & D'Argenio, B. (1982). "Schema geologico della Sicilia occidentale." *Memorie della Società Geologica Italiana*, 24, 45-53.
- D'Agostino, N., & Selvaggi, G. (2004). "Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B11).
- Di Geronimo, I., Bellomo, S., D'Argenio, B., & Ferrara, V. (1978). "New data on the geology of the Northern Sicilian margin." *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 97, 109-122.
- Finetti, I., Lentini, F., Carbone, S., Del Ben, A., & Pipan, M. (2005). "CROP PROJECT: Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy." *The Ionian Basin and the Calabrian Arc*, 2, 419-450.
- Grasso, M., & Lentini, F. (1982). "Sedimentary and tectonic evolution of the eastern Hyblean Plateau (Southeastern Sicily) during Late Cretaceous to Quaternary time." *Geologica Romana*, 21, 23-41.



Lentini, F., & Carbone, S. (2014). Carta Geologica della Sicilia. Scala 1:250.000. Firenze: Servizio Geologico d'Italia.

Lentini, F. (1982). "The geology of the Mt. Etna basement." *Geological Journal*, 17(1), 1-29.

Lentini, F., Carbone, S., & Catalano, S. (2000). "Main structural domains of the central Mediterranean region and their Neogene tectonic evolution." *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 119(1), 581-595.

Monaco, C., & Tortorici, L. (2000). "Active Faulting in the Calabrian Arc and Eastern Sicily." *Journal of Geodynamics*, 29(3-5), 407-424.

Monaco, C., Tapponnier, P., Tortorici, L., & Gillot, P. Y. (1997). "Late Quaternary slip rates on the Acireale-Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily)." *Earth and Planetary Science Letters*, 147(1-4), 125-139.

Musumeci, G. (1959). "Note Illustrative alla Carta Geologica della Sicilia." *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 4, 1-82.

Ogniben, L. (1969). "Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni." *Geologica Romana*, 8, 243-585.

Pedley, H. M., Cugno, G., & Grasso, M. (1992). "Controls on faunal and sediment cyclicity within the Late Miocene Tripoli Formation, Sicily: relevance to the causes of the Mediterranean salinity crisis." *Sedimentology*, 39(4), 681-698.

Pappalardo, G. (2004). "Structural architecture of the Gela Nappe and foreland basin deformation (southern Sicily)." *Journal of the Geological Society*, 161(3), 425-438.

Patacca, E., Sartori, R., & Scandone, P. (1979). "Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times." *Memorie della Società Geologica Italiana*, 19, 11-22.

Romagnoli, C., & Catalano, S. (2015). "The Ionian Sea: Seismicity, seismotectonics and stress field." *Marine Geophysical Research*, 36(4), 345-358.

Tansi, C., Muto, F., Critelli, S., & Iovine, G. (2007). "Neogene–Quaternary strike-slip faulting and kinematics of the Catanzaro Trough (Calabrian Arc, southern Italy)." *Journal of Geodynamics*, 43(3), 393-414.

Torelli, L., Sartori, R., & Zitellini, N. (1998). "The giant chaotic body in the Ionian Sea: a key to the collision between Africa and Eurasia." *Terra Nova*, 10(2), 93-97.

Amodio-Morelli, L., Bonardi, G., Colonna, V., Dietrich, D., Giunta, G., Ippolito, F., ... & Zanettin-Lorenzoni, E. (1976). "L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide." *Memorie della Società Geologica Italiana*, 17, 1-60.



Comune di Ragusa. (2016). Piano di Utilizzo del Demanio marittimo del Comune di Ragusa (P.U.D.M.).

Regione Siciliana. Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Geoportale comune di Ragusa: <http://www.comune.ragusa.sitr.it/h163/gfmaplet/>.