

Proponente



IONIO FUEL S.r.l.
Riviera di Chiaia, 276 - 80121 NAPOLI

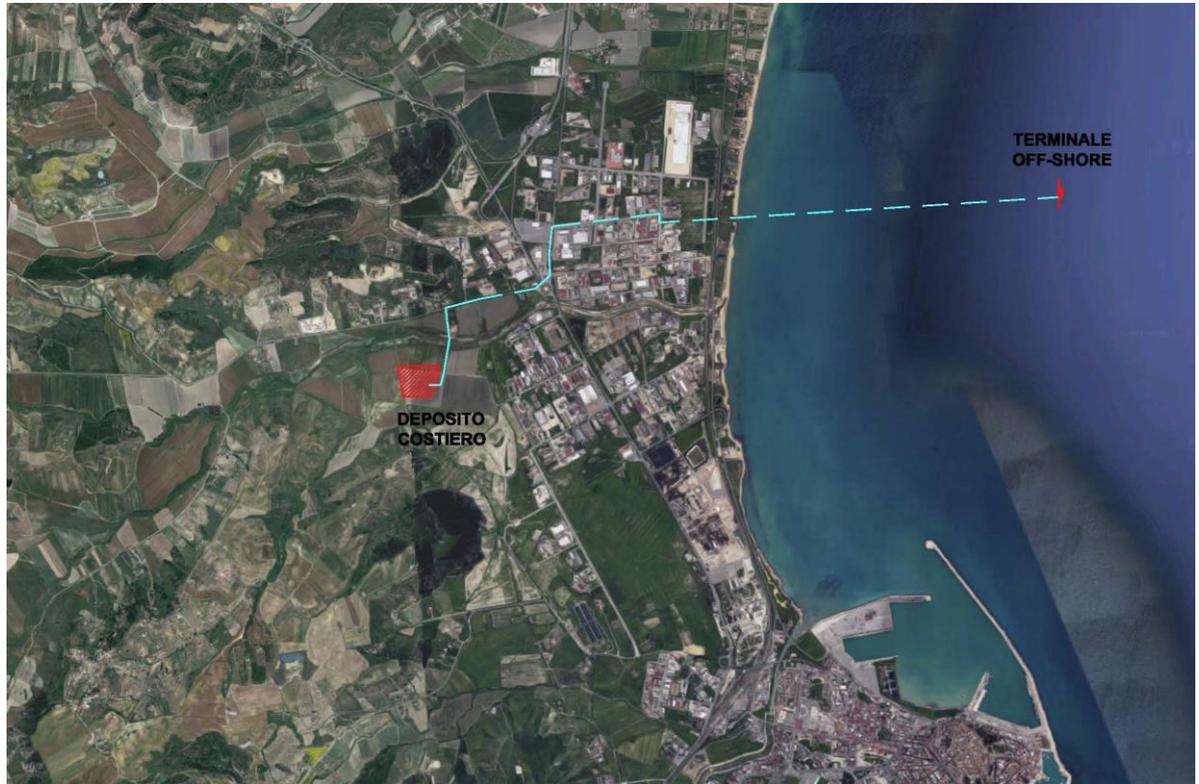
DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE PER IL GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Comune di Crotona area industriale CO.R.A.P. "Ionio Fuel - Crotona LNG"

Società di Ingegneria incaricata per la progettazione



PROTO POWER S.R.L.
Sede legale ed uffici:
80121 Napoli (NA) – Riviera di Chiaia n.°276
P.IVA: 05805521217

DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE DI GNL DA
20.000 MC NEL COMUNE DI CROTONE IN ZONA INDUSTRIALE CO.R.A.P.
PROVINCIA DI CROTONE



Gruppo di lavoro

Studio di impatto ambientale

Arch. Maddalena Proto

Opere strutturali

Arch. Maddalena Proto

Arch. Luigi Vartuli

Ing. Valentina Vartuli

Sicurezza Cantieri

Arch. Maddalena Proto

Arch. Luigi Vartuli

Ing. Valentina Vartuli

Arch. Rosa Vartuli

Direzione Lavori

Arch. Maddalena Proto

Arch. Luigi Vartuli

Ing. Valentina Vartuli

Consulenze specialistiche

Studio di fattibilità

Dott. Luca Lamagna

Geologia e Geotecnica

Geol. Alessandro Amato

Opere Idrauliche

Ing. Giovanni Bruno

Opere marittime

Ing. Roberto De Rosa

Studio di Impatto acustico ed elettromagnetico

Ing. Carmine Iandolo

Rapporto preliminare di sicurezza

ICARO S.r.l.

RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE

01- ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE

P_01_ES_04_RGM_R03

Progetto Definitivo

FORMATO

CODICE ELAB

P 01 ES 04 RGM R03

REV. D

A4

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

D

Maggio 2023

M.P.

V.V.

L.V.

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	INTRODUZIONE.....	3
1.2	PRINCIPALI ACRONIMI ED ABBREVIAZIONI	6
1.3	APPROCCIO METODOLOGICO E NORMATIVO	6
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO.....	9
2.1	INFORMAZIONI RELATIVE ALLE SOSTANZE UTILIZZATE	10
2.2	BRACCI DI CARICO GNL E BOG	11
2.3	LINEE DI TRASFERIMENTO DEL GNL.....	12
2.4	SERBATOI DI STOCCAGGIO GNL	12
2.5	VAPORIZZATORI PER LA RIGASSIFICAZIONE DEL GNL	13
2.6	BAIE DI CARICO AUTOCISTERNE	13
2.7	SISTEMI PER L'IMMISSIONE DEL GAS METANO NELLA RETE DI TRASPORTO	14
2.8	SISTEMA DI GESTIONE BOG	15
3	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	15
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	17
5	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DELLE AREE DEL DEPOSITO COSTIERO.....	19
5.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO.....	19
5.1.1	GEOMORFOLOGIA.....	19
5.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	23
5.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	25
6	CARATTERISTICHE DEL SISTEMA AMBIENTALE MARINO	28
6.1	AMBIENTE MARINO E COSTIERO	28
6.2	SUOLO E SOTTOSUOLO	32
6.2.1	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E BATIMETRICHE.....	34
6.2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	36
6.2.3	PANORAMA GEOLOGICO LOCALE.....	40
7	GESTIONE DELLE MATERIE.....	59
7.1	SUDDIVISIONE DEI VOLUMI DI SCAVO	59
7.2	SUDDIVISIONE DEI MATERIALI E PROCESSI DI PRODUZIONE E IMPIEGO	61
7.3	INDIVIDUAZIONE DEI PERCORSI E MODALITÀ E TIPOLOGIA DI TRASPORTO	63
7.4	DESCRIZIONE DEI FABBISOGNI DI MATERIALI DA APPROVVIGIONARE DA CAVA	63
7.5	DESCRIZIONE DEGLI ESUBERI DI MATERIALE PROVENIENTE DAGLI SCAVI	64
7.6	VOLUMI DI SCAVO DELLA CONDOTTA MARINA	65
7.7	IPOSTESI DI APPROVVIGIONAMENTO/CONFERIMENTO PROPOSTA	67

1 PREMESSA

1.1 INTRODUZIONE

Il mercato energetico globale sta attraversando una fase di profondi cambiamenti, dovuti in particolare all'aumento di attenzione da parte della comunità internazionale, nei confronti dell'efficienza energetica.

Tale tendenza traspare chiaramente da alcune scelte operate in tempi recenti dalle maggiori potenze industriali, quali il ridimensionamento dell'utilizzo dell'energia nucleare in Giappone ed il ripensamento della Cina in merito all'utilizzo del carbone come combustibile nella produzione di energia elettrica a causa dei seri problemi ecologici legati alle emissioni di CO₂. Dall'inizio del XXI secolo il mondo dell'energia sta vivendo delle radicali trasformazioni che ne stanno alterando profondamente struttura e dinamiche: l'avvento delle fonti rinnovabili, il progressivo abbandono del carbone, il declino del petrolio o la crescita esponenziale del gas naturale sono solo alcuni dei fenomeni che stanno interessando il settore energy.

La mappa geopolitica dell'energia, infatti, sta mutando per effetto:

- del sostanziale incremento della produzione di petrolio e gas naturale in America settentrionale;
- del ripensamento circa il contributo della produzione di elettricità da fonte nucleare che, a seguito dell'incidente di Fukushima, interessa numerosi Paesi;
- dello sviluppo sempre più consistente delle fonti energetiche alternative e, in particolare, dell'eolico e del solare fotovoltaico;
- del contributo crescente del gas naturale come input energetico, anche per effetto delle scoperte di ingenti riserve non convenzionali (shale gas).

Questi fattori, unitamente alla sempre maggior attenzione della comunità internazionale ai temi dell'efficienza energetica, potrebbero realmente tradursi in un mutamento strutturale del sistema.

Il GNL sta diventando ormai un'alternativa sempre più diffusa ai carburanti tradizionali per le navi e anche per i mezzi stradali pesanti, una tendenza favorita dalle nuove norme della Convenzione Internazionale MARPOL (Annesso VI) dell'International Maritime Organization (IMO), che obbligano ad utilizzare a livello mondiale carburanti navali con un contenuto di zolfo inferiore allo 0,5 % m/m (massa per massa). Lo scopo è quello di migliorare la qualità dell'aria e diminuire drasticamente l'inquinamento ambientale prodotto dalle navi commerciali che oggi utilizzano combustibile con tenore di zolfo al 3,5%.

Premesso che, all'attuale stato dell'arte mondiale, la domanda e il consumo di LNG è in crescita, è opportuno quindi che il mercato italiano del LNG spinga in modo deciso nella direzione di incrementare la disponibilità di LNG sul territorio nazionale anche come soluzione per migliorare l'impatto ambientale dei mezzi pesanti su gomma e via mare. È conveniente ricordare che a partire dal 1° gennaio 2020 il settore dello shipping è stato obbligato ad affrontare l'introduzione di una ancor più severa limitazione del tenore di zolfo nei combustibili navali il cui limite è stato ridotto su scala mondiale a non più dello 0,5%. A tal proposito, gli armatori sono stati portati dalla normativa ad assumere decisioni importanti in termini di investimenti nel nuovo naviglio e nelle tecnologie a servizio della propulsione navale. Dati statistici relativi al 2019 mostrano

che, a livello internazionale, sono già operative oltre 170 navi a propulsione GNL (escluse le metaniere), e due tra le maggiori compagnie crocieristiche, MSC e Costa Crociere, hanno iniziato a dirottare i loro ordini verso le navi a LNG, di cui le prime navigano già nel Mediterraneo. Alla luce di queste trasformazioni, nell'arco dei prossimi anni, nei porti italiani crescerà la richiesta di approvvigionamento di navi, di dimensioni sempre maggiori, alimentate a LNG: una sfida che viene proposta al nostro sistema portuale e logistico. Attualmente, per assenza di punti di approvvigionamento di LNG nei nostri porti, il nostro Paese è decisamente rimasto indietro rispetto al Nord Europa nell'offerta infrastrutturale dei depositi per lo stoccaggio e rifornimento di LNG. In tale ottica gli investimenti sulle infrastrutture dovranno essere strategici e mirati su infrastrutture necessarie per il fabbisogno nazionale, con un piano che tenga in considerazione il ciclo di vita della flotta armatoriale attualmente in esercizio nonché l'evoluzione del sistema navale e logistico integrato, ferrovia e gomma. Proprio il trasporto merci su gomma e quindi il mondo dell'autotrasporto si inseriscono a pieno titolo nella filiera potenzialmente interessata dal LNG.

La società IONIO FUEL S.r.l. intende realizzare all'interno dell'area industriale di Crotona, un Deposito costiero LNG (Liquefied Natural Gas) da 20.000 mc. Il progetto prevederà l'implementazione di una filiera per il trasporto del gas naturale liquido (GNL) a mezzo di navi metaniere sino al Deposito di ricezione per lo stoccaggio, e la successiva distribuzione mediante l'utilizzo di autocisterne e di imbarcazioni (LNG tankers). Il Deposito costiero di IONIO FUEL sarà caratterizzato da un Terminale di ricezione GNL Off- Shore per la connessione e lo scarico del GNL dalle navi metaniere, un complesso di tubazioni criogeniche per il trasporto del fluido sia nella zona d'impianto (area industriale C.O.R.A.P. della Provincia di Crotona) sia in quella Off-Shore (localizzata a circa 2,4 Km dalla costa) e un sistema di stoccaggio (18 serbatoi criogenici da 1.226 mc), pompaggio (9 gruppi di pompaggio) e rigassificazione (40 vaporizzatori ad aria ambiente (AAV) con capacità pari a 5.000 mc/h) di una parte del GNL stoccato, più una stazione per il filtraggio, la misura e l'odorizzazione del gas naturale per l'immissione nelle reti di trasporto.

Attraverso le baie di carico per le autocisterne si potrà trasportare il GNL su gomma sul territorio o rifornire le navi, attuando così le direttive europee sull'utilizzo del GNL come combustibile per le imbarcazioni.

L'impianto nasce con l'obiettivo di fornire un carburante a basso impatto ambientale quale metano inteso come carburante per il trasporto navale e commerciale.

L'opera prevede la realizzazione degli interventi infrastrutturali e impiantistici necessari a: consentire l'attracco delle navi metaniere e il trasferimento del prodotto liquido (LNG) dalle stesse ai serbatoi di stoccaggio attraverso tubazioni criogeniche; permettere la misura del LNG e consentirne la distribuzione attraverso operazioni di bunkering su imbarcazione ("terminal to ship") e autocisterne ("terminal to truck"). L'intervento nel suo complesso va interpretato non solo come occasione per dotare l'area industriale di Crotona e la sua Provincia di un *Deposito costiero LNG da 20.000 mc*, ma tale progetto farà parte di un più vasto intervento che in collaborazione con l'Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (STEMS – CNR di Napoli) ed il Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università Parthenope di Napoli, vedrà la realizzazione attraverso una start up innovativa del Gruppo la società LNGI S.r.l. di un impianto pilota "power to gas" in grado di produrre il metano biologico attraverso un processo di metanazione.

Tale processo attraverso l'anidride carbonica + 4 atomi di idrogeno darà luogo alla produzione di metano CH₄ che attraverso la liquefazione con l'azoto darà spazio al LNG biologico. L'iniziativa precede lo stoccaggio del suddetto LNG biologico nel Deposito di Crotona al fine di rifornire le navi metaniere fornendo loro un metano green a emissioni zero.

Entrambi gli interventi si inseriscono nel quadro più ampio della **riduzione delle emissioni di anidride carbonica** con un approccio trasversale conciliando l'esigenza di individuare nuove e più efficienti forme di conservazione dell'energia con la possibilità di produrre gas rinnovabili come idrogeno e metano biologico **al fine di generare LNG biologico** e si completeranno con un sistema di azioni e procedure mirate alla sensibilizzazione e l'informazione nel territorio di Crotona e Provincia.

Al fine di dare attuazione alla realizzazione del Deposito costiero, la società proponente nel presente Studio svilupperà **soltanto il Deposito costiero LNG**, rinviando ad uno studio successivo la trattazione dell'impianto power to gas.

Attraverso la strategia "20-20-20" prevista dal Protocollo di Kyoto tutti gli stati europei sono chiamati all'applicazione di misure per incentivare la produzione di energia da fonti rinnovabili, ridurre le emissioni di anidride carbonica e attivare politiche volte all'efficientamento e al risparmio energetico, perseguendo gli obiettivi di sostenibilità, competitività e sicurezza dell'approvvigionamento. Tale decisione è stata confermata nella XXI Conferenza delle Parti, svoltasi a Parigi nel 2015, che con decisione 1/CP21, ha adottato l'Accordo di Parigi che implementa il protocollo di Kyoto e fissa obiettivi più ambiziosi per gli stati dell'Unione Europea. In tale ottica, la Calabria si trova impegnata nel raggiungimento di obiettivi quali la continuità e la sicurezza della fornitura energetica con opportuni strumenti di pianificazione. A tale scopo la Giunta Regionale considera l'approvvigionamento di metano una fase strategica volta a sostenere la transizione energetica e al raggiungimento del phase-out del carbone entro il 2030. Pertanto, indica come una delle azioni prioritarie del PEARS quella di mettere in atto le condizioni idonee allo sviluppo di un sistema energetico che dia priorità alle fonti rinnovabili ed al risparmio energetico come mezzi per una maggior tutela ambientale, al fine di ridurre le emissioni inquinanti in atmosfera senza alterare significativamente il patrimonio naturale della Regione. L'importanza del Piano Energetico Ambientale Regionale, come strumento irrinunciabile per l'integrazione del fattore "energia" nella pianificazione del territorio, è inconfutabile in ordine al raggiungimento di tre obiettivi fondamentali: il risparmio energetico, l'impiego delle energie rinnovabili, l'eco-efficienza energetica.

In questo quadro, la realizzazione del Deposito costiero a Crotona risulta del tutto congruente con il perseguimento delle finalità di stimolo per l'imprenditorialità, di potenziamento dei sistemi produttivi locali e di impiego delle energie rinnovabili fatte proprie dal PEARS.

Il ruolo del GNL riveste notevole importanza anche rispetto al tema della riduzione delle emissioni delle navi, come espresso dal D.lgs. 257/2016 (Disciplina di attuazione della direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di una infrastruttura per i combustibili alternativi. (17G00005). L'art.6 comma 1 indica che entro il 31 dicembre 2025, nei porti marittimi dovrà essere realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il GNL per consentire la navigazione di navi adibite

alla navigazione interna o navi adibite alla navigazione marittima alimentate a GNL nella rete centrale della TEN-T. Inoltre, si prevedono forme di cooperazione con gli Stati membri confinanti per assicurare l'adeguata copertura della rete centrale della TEN-T.

In fine il surriscaldamento globale, attribuito dalla comunità scientifica alle emissioni antropiche di gas nell'atmosfera, ha innescato fenomeni che sono destinati a generare danni irreversibili per il Pianeta. Nel rapporto 2021 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) si rilevano, infatti, cambiamenti nel clima della Terra con gravi impatti su ambiente e biodiversità; sono descritti, però, anche scenari in cui se l'umanità riuscirà a ridurre le emissioni di gas climalteranti nei tempi previsti dagli Accordi di Parigi potrà tenere sotto controllo l'incremento di temperatura. I due recenti consessi internazionali del G20 di Roma e della COP26 di Glasgow testimoniano la ferma volontà dei Governi di proseguire il confronto sul cambiamento climatico, sull'assunzione di impegni e sull'individuazione, nel breve termine, di misure per un'efficace transizione ecologica. Impegni corroborati, oggi più di ieri, da consapevoli e incisive istanze dell'opinione pubblica. Tra i principali attori chiamati ad agire vi sono le imprese, i progettisti, cui è richiesto un riposizionamento, nel breve-medio termine, verso minori emissioni e investimenti in nuove infrastrutture e tecnologie per supportare la transizione energetica.

È in questa dinamica con l'adozione di nuove tecnologie e nuovi modelli che si renderà possibile una transizione capace di coniugare crescita, benessere economico, inclusione e sostenibilità ambientale.

1.2 PRINCIPALI ACRONIMI ED ABBREVIAZIONI

BOG	Boil Off Gas
DN	Diametro Nominale
AAV	Ambient Air Vaporizer
ESD	Emergency Shut Down
GN	Gas Naturale
GNL	Gas Naturale Liquefatto
LNG	Liquefied Natural Gas
MCI	Motore Combustione Interna
EDG	Generatore diesel di emergenza
MT	Media tensione
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione

1.3 APPROCCIO METODOLOGICO E NORMATIVO

Nella presente relazione si vanno ad identificare le principali operazioni messe in atto per la realizzazione dell'opera in progetto che determineranno la produzione di materiali terrigeni al fine di descrivere le opzioni gestionali applicate ai materiali provenienti dalle operazioni di scavo.

Le operazioni generanti i volumi di terre da scavo sono:

- Scavo a sezione ristretta

- Scavo a larga sezione

Dal 6 ottobre 2012 la gestione dei materiali da scavo come sottoprodotti è disciplinata dalle nuove regole dettate dal D.M. Ambiente del 10 agosto 2012 n. 161 (pubblicato in G.U. del 21 settembre 2012, n. 221).

La nuova disciplina sostituisce quella prevista dall'art. 186 del D.Lgs. 152/2006, conosciuto come "Codice ambientale", in virtù della delegificazione proposta dallo stesso codice.

L'art. 186 consentiva di inserire le terre e le rocce provenienti dagli scavi, purché con caratteristiche merceologiche ed ambientali idonee, nel campo dei sottoprodotti gestibili con uno specifico "progetto di utilizzo", fuori dal più oneroso regime dei rifiuti.

Sono sempre stati del tutto evidenti i benefici ambientali che derivano dall'utilizzo come sottoprodotto del materiale da scavo non inquinato, comportando un risparmio di risorse primarie, una limitazione degli interventi, spesso invasivi, per l'estrazione dei materiali (in primo luogo di sabbie e ghiaie) e la diminuzione di rifiuti inerti da portare a discarica.

Il nuovo decreto ministeriale stabilisce ora criteri e adempimenti burocratici per gestire le terre e le rocce da scavo, prevedendo un controllo rigido lungo la filiera che va dalla produzione (scavo) al riutilizzo e disciplinando la stessa gestione in maniera in qualche modo diversa dal precedente regime di cui all'art. 186.

Le nuove regole recate dal decreto riguardano il suolo ed il sottosuolo, compresi eventuali materiali di riporto in essi presenti, derivanti dalla realizzazione di opere di costruzione, demolizione (ad esclusione dell'abbattimento di edifici), recupero, restauro, ristrutturazione e manutenzione.

Nel dettaglio si tratta di terre e rocce provenienti da scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee, ecc.), dalla costruzione di opere infrastrutturali (gallerie, dighe, strade, ecc.) e dalla rimozione e dal livellamento di opere in terra. Sono assimilati a materiali gestibili come sottoprodotto i materiali litoidi e tutte le altre frazioni granulometriche provenienti da escavazioni effettuate negli alvei, sia dei corpi idrici superficiali, che del reticolo idrico scolante, in zone golenali dei corsi d'acqua, spiagge, fondali lacustri e marini; ed ancora sono assimilati i residui di lavorazione di materiali laidei (marmi, graniti, pietre), anche non connessi alla realizzazione di un'opera.

Purché la composizione media della massa non presenti concentrazioni di inquinanti superiori ai limiti massimi previsti dal regolamento, i materiali da scavo possono contenere anche calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per lo scavo meccanizzato.

Il nuovo decreto ammette dunque tra i materiali di scavo gestibili come sottoprodotti quelli che contengono materiali di riporto, utilizzati ad esempio per riempimenti del terreno. Questa previsione è la conseguenza diretta dell'art. 3 del D.L. 2/2012, che stabilisce che la nozione di suolo di cui all'art. 185 del D.Lgs. 152/2006 deve essere riferita anche alla matrice "materiali di riporto".

Secondo il decreto le condizioni per una legittima gestione dei materiali da scavo devono soddisfare i

seguenti criteri:

- devono essere generati dalla realizzazione di un'opera senza costituirne la finalità diretta;
- devono essere riutilizzati nella stessa opera o in opera diversa, oppure in processi produttivi in sostituzione della materia prima;
- devono essere riutilizzati senza trattamenti diversi della "normale pratica industriale";
- devono rispondere a precisi requisiti di qualità ambientale.

Per le quantità non riutilizzabili (Cls, e materiali plastici e ferrosi), che costituiscono rifiuto, si procederà, invece, all'allontanamento, classificazione e smaltimento, ai sensi della parte IV del D.Lgs. n. 152/2006, e s.m.i.

Verranno ipotizzati depositi temporanei di stoccaggio dei materiali, in maniera tale da prevederli interni alle aree interessate dalle lavorazioni, minimizzando gli eventuali flussi di movimento dei mezzi meccanici al di fuori del perimetro dei lavori.

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO

L'impianto sarà composto da 7 macro zone: un'area carico e scarico del GNL con bracci di carico localizzata nel Terminale Off-Shore a circa 5.800 metri di distanza dal Deposito costiero, in cui sono presenti i bracci di carico e scarico del GNL dalle navi, area stoccaggio e pompaggio GNL in cui sono localizzati serbatoi e pompe criogeniche, area vaporizzatori, area baie di carico delle autocisterne, area gestione BOG, area torcia e infine area di analizzazione, filtrazione, misura e odorizzazione del gas metano.

Il Deposito (a terra) avrà una capacità complessiva geometrica di 22.068 m³ complessivi di GNL, ottenuta mediante una soluzione modulare costituita da n. 18 serbatoi del tipo "Full Containment". I serbatoi avranno una capacità nominale di stoccaggio di 22.068 mc di GNL (1.226 mc per serbatoio) la capacità effettiva sarà invece inferiore 19.872 mc (90% di riempimento totale),

La capacità di movimentazione del Deposito è pari a 1.440.000 mc di GNL/anno.

Nel caso in esame l'entità dello stoccaggio dell'impianto è pari a 20.000 m³, corrispondenti a 9.600 tonnellate (considerando una massa volumetrica pari a 483 kg/m³), il Deposito ricade nel campo di applicazione del D.Lgs. 105 del 29 luglio 2015 (Attuazione della Direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose), in quanto supera il limite di soglia di 200 tonnellate, quale stabilimento di soglia superiore.

L'impianto è stato sottoposto alla procedura di cui all'art. 16 del D.Lgs. 105/2015, presentata in data settembre 2019 per l'ottenimento del Nulla Osta di Fattibilità (NOF) da parte del Comitato Tecnico Regionale della Calabria. Con Protocollo N 0011826 del 28/07/2020 la Società Ionio Fuel ha ottenuto il parere tecnico conclusivo (NOF) sul rapporto definitivo di sicurezza.

L'impianto nel suo complesso è concettualmente suddiviso in sintesi nelle seguenti aree funzionali:

- **Area Terminale Off-Shore** ovvero area di attracco navi metaniere e bettoline attrezzata per operazioni di carico-scarico e per il trasferimento del GNL da nave metaniera a stoccaggio e da stoccaggio verso bettoline; Nel Terminale saranno presenti le infrastrutture e i dispositivi per l'ormeggio delle metaniere / bettoline e tutti i dispositivi e le apparecchiature necessarie per il corretto trasferimento e la misurazione del GNL e del BOG (boil off gas) durante il trasferimento;
- **Area di interconnessione fra Terminale e area stoccaggio;** all'interno di una trincea a terra e marina, saranno posizionate le tubazioni criogeniche per il collegamento dell'area di attracco nave al terminal e tutti i sistemi ausiliari per il corretto funzionamento e gestione;
- **Area Deposito di stoccaggio** vero e proprio con serbatoi di stoccaggio del GNL e tutti i dispositivi accessori ed ausiliari necessari alla loro corretta gestione, una zona vaporizzatori ad aria e gestione BOG, una zona con motori a combustione interna, fabbricato con uffici-sala controllo per la supervisione e la gestione del Deposito, zona vaporizzatori, pensilina carico ATC, odorizzazione, misura fiscale, nonché il sistema di raccolta scarichi di emergenza (torcia di emergenza).

Di seguito si riportano le planimetrie generali del Deposito e del Terminale Off-Shore.

DEPOSITO COSTIERO GNL NEL COMUNE DI CROTONE
 RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE

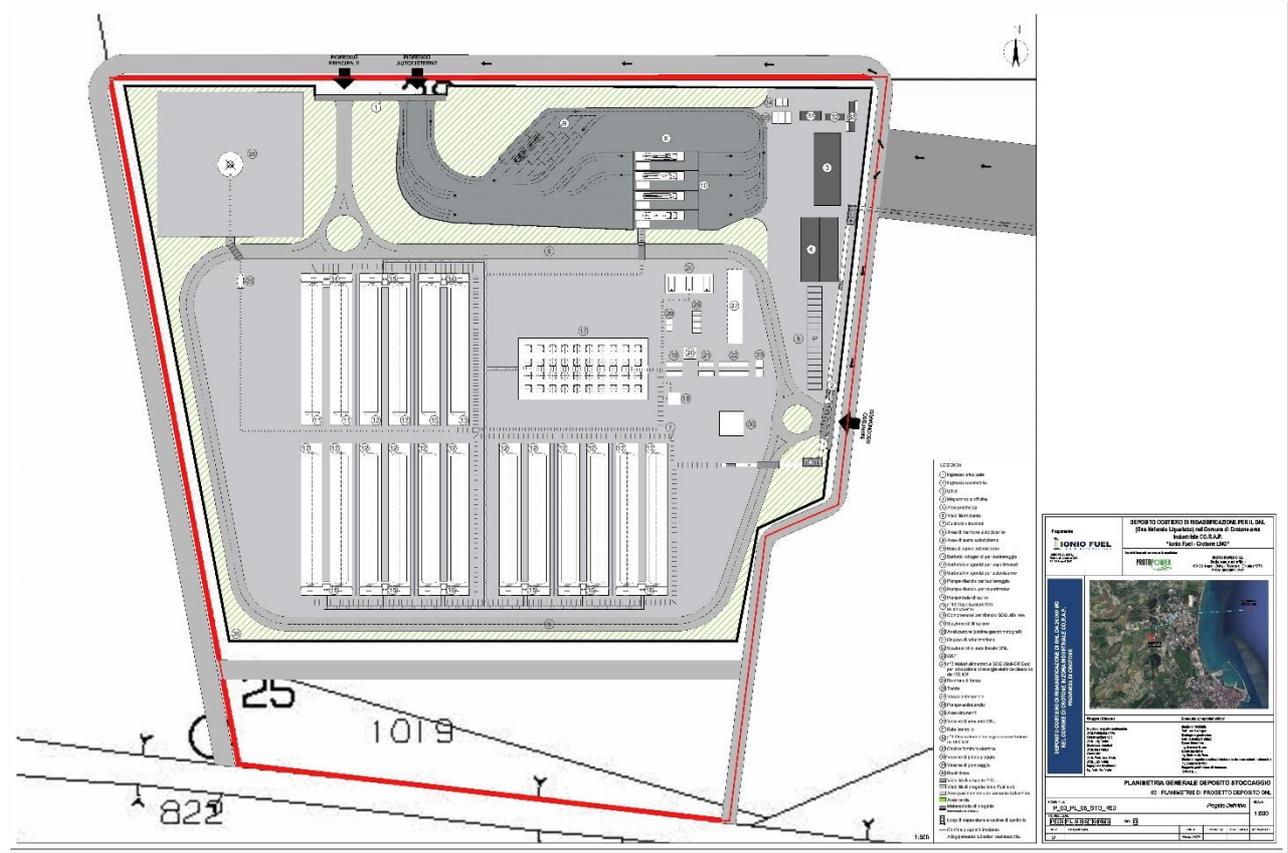


Figura 1 – P_03_PL_05_STO_R03- Planimetria generale Deposito di stoccaggio

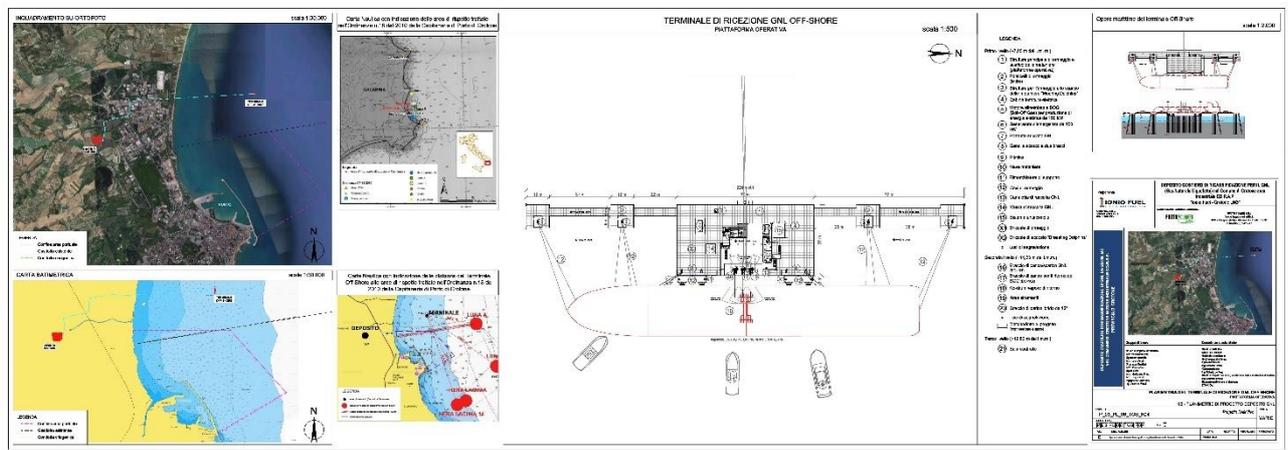


Figura 2 – P_03_PL_06_TOS_R04 - Planimetria generale del Terminale di ricezione GNL Off-Shore

2.1 INFORMAZIONI RELATIVE ALLE SOSTANZE UTILIZZATE

Le quantità massime effettive presenti in impianto delle sostanze elencate all'Allegato I del D.Lgs. 105/2015 sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 1 – Sostanze utilizzate e relative quantità

Sostanza	Nome Sostanza	D.Lgs. 105/2015		Quantità prevista [t]
		Colonna 2 [t]	Colonna 3 [t]	
18. Gas liquefatti infiammabili, categoria 1 o 2 (compreso GPL e Gas Naturale)	Gas Naturale Liquefatto (GNL)	50	200	10000
34. Prodotti petroliferi e combustibili alternativi	Gasolio	2500	25000	Inferiore a 5 tonn ovvero trascurabile in fase di NOF (< 2% limiti)

Sulla base dei quantitativi sopra riportati il DEPOSITO ricade sotto gli obblighi dell'art. 16 del D.Lgs. 105/2015 (oltre che degli articoli 13 e 14 dello stesso) per il superamento dei limiti previsti per la sostanza specificata al punto n.18. Gas liquefatti infiammabili, della parte 2 dell'Allegato 1.

2.2 BRACCI DI CARICO GNL E BOG

Il Terminale Off-Shore sarà dotato di braccio di carico e scarico del GNL. Lo scarico avrà ovviamente la funzione di portare il GNL al Deposito a terra. Le funzioni di carico invece saranno base per la creazione di un punto di bunkeraggio navale per il GNL.

La struttura principale di ormeggio e scarico delle metaniere costituente la piattaforma operativa di scarico del Terminale off-shore, posta ad una distanza di 5 m dalla linea di accosto, verrà realizzata in modo tale da essere strutturalmente indipendente dalle opere di accosto e ormeggio metaniere così che la nave non possa trasmetterle azioni.

La piattaforma di scarico è formata da tre piani:

- Primo piano, avente dimensioni in pianta di 70×37 m corredata da ponticelli di ormeggio di dimensioni cadauno di 76 × 12, posto ad una quota di +7.00 m sul l.m.m. così da assicurare un franco di 0.5 m tra la cresta dell'onda massima e l'intradosso delle travi dell'impalcato;
- Secondo piano, avente dimensioni in pianta 23.8×28.5 m, posto ad una quota di +14.00 sul l.m.m. e raggiungibile per mezzo di tre scale a struttura metallica;
- Terzo piano, avente dimensioni in pianta 4.30×12.50 m, posto ad una quota di +19.80 sul l.m.m. e raggiungibile per mezzo di una scala a struttura metallica;

Il piano inferiore della piattaforma di scarico, direttamente collegato a terra tramite il tratto di trincea marina criogenica (all'interno del quale vi saranno le condotte del GNL e del ritorno vapori in arrivo alla piattaforma, le condotte antincendio, il corrugato per il passaggio di cavi elettrici e di segnale e la tubazione criogenica per bunkeraggio navale del GNL) ospita i ponticelli di ormeggio, ganci a scocco, motore alimentato a BOG, generatore di emergenza, cabina fornitura elettrica, vasca di raccolta GNL.

Sul secondo piano sono posti:

- n.1 braccio di carico per il trasferimento del prodotto liquido GNL, avente diametro di 12”;

- n.1 braccio di carico per il ritorno della fase vapore, avente diametro di 6”;
- n.1 braccio di carico ibrido da 12”.

Il terzo livello ospita la Sala controllo da cui è visibile il manifold nave comprendente:

- pannello di controllo dei bracci di scarico e la relativa strumentazione;
- il sistema di comando sgancio di emergenza e sistema di monitoraggio sforzo sui cavi di ormeggio relativo ai ganci a scocco;
- telecomando monitori antincendio;
- sistemi antincendio;
- luci di segnalazione;
- sala strumenti;
- Ko-drum vapore di ritorno.

Sul secondo piano della piattaforma è collocato un cordolo in c.a. per delimitare l’area di pertinenza dei bracci di scarico. Tale area verrà inoltre realizzata, per mezzo di uno strato di finitura superiore in calcestruzzo, con una pendenza media di 1 su 100 in modo tale da convogliare eventuali perdite di GNL dai bracci di carico verso il perimetro e permettere lo scolo dell’acqua piovana.

Inoltre sulla piattaforma inferiore, parallelamente alla linea di accosto, è posto un canale di raccolta del GNL largo 3 m così da raccogliere eventuali rilasci di GNL dai bracci di scarico ed evitare che si riversino in mare. Il canale verrà realizzato in pendenza verso una vasca di raccolta posto sulla piattaforma.

Le strutture in c.a. del canale e della vasca di contenimento dei GNL verranno realizzate con calcestruzzo trattato al fine di ridurre l’evaporazione di GNL.

Le strutture in elevazione della piattaforma sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera o parzialmente prefabbricate, poggianti su pali tubolari in acciaio.

2.3 LINEE DI TRASFERIMENTO DEL GNL

Il GNL verrà trasportato dal Terminale Off-Shore al Deposito a terra tramite tubazioni criogeniche (VIP). Queste verranno alloggiare in una trincea interrata sia nel tratto marino che in quello interrato. All’interno della trincea a terra verranno installate le tubazioni per il GNL per il carico dei serbatoi, quelle per il BOG e quelle per il bunkeraggio, inoltre sarà presente la tubazione per la linea di spurgo direttamente connessa alla torcia. Verranno predisposti dei corrugati per il passaggio delle linee elettriche e cavi di segnale per la trasmissione dei dati di processo, tubazioni antincendio e tubazioni acqua potabile.

2.4 SERBATOI DI STOCCAGGIO GNL

I serbatoi saranno del tipo “*full containment*”, come indicato al *cap.6.3* della norma *UNI EN 1473 (Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) – Progettazione delle installazioni di terra)*, quindi composti da due gusci in acciaio austenitico e resiliente criogenico. I serbatoi saranno 18, disposti in 3 gruppi da 6, posizionati con l’asse maggiore parallelo, ad una distanza tra un serbatoio e l’altro di

6 m. Il volume complessivo dei 18 serbatoi è pari a 22.068 mc.

Il singolo serbatoio avrà un volume pari a 1.226 mc. I serbatoi saranno dotati di valvole di intercettazione e collegati a due a due al sistema di pompaggio per il rilancio del GNL verso: vaporizzatori, baie di carico e bracci di carico in Terminale Off-Shore.

2.5 VAPORIZZATORI PER LA RIGASSIFICAZIONE DEL GNL

Il Deposito avrà una capacità di rigassificazione di 100.000 mc/h. Ottenuta da un massimo di 20 vaporizzatori in funzione (lavorano alternati 20 a 20). I vaporizzatori aria ambiente AAV (Ambient Air Vaporizer) avranno una capacità di circa 5.000 mc/h ciascuno. Nell'ipotesi di 4 operazioni di scarico di GNL al mese da parte della Coral Methane (15.000 mc) la potenzialità di rigassificazione è pari a 432 milioni di metri cubi all'anno. Incrementando gli approdi a 8 al mese si raggiunge invece una capacità di 864 milioni di metri cubi all'anno. I vaporizzatori saranno dei parallelepipedi con pianta rettangolare, con un telaio in alluminio, nel quale sono attestati i tubi di acciaio, disposti a serpentina, che trasportano il GNL in pressione. Il calore dell'aria a temperatura ambiente verrà così ceduto al GNL per facilitarne l'ebollizione e raggiungere lo stato gassoso.

2.6 BAIE DI CARICO AUTOCISTERNE

Al fine di raggiungere altre zone della Calabria che non saranno allacciate alla rete di trasporto regionale o a quella dell'area vasta di Crotona, verrà predisposta una zona denominata "*Baie di Carico*" in cui le autocisterne criogeniche potranno effettuare il rifornimento. Vi saranno due serbatoi dedicati a tale servizio e due pompe a funzionamento alternato.

Le baie di carico per le autocisterne saranno collegate alle pompe dei serbatoi S203, S204, S205 e S206 tramite tubazioni criogeniche (VIP) da 8". Saranno installate anche le tubazioni da 6" (VIP) per la circolazione del BOG dalle autocisterne ai serbatoi.

Una ulteriore tubazione criogenica (VIP) consentirà il ricircolo del GNL, per il raffreddamento della tubazione di mandata, nelle fasi antecedenti allo scarico.

Il sistema di carico autocisterne LNG sarà costituito da uno skid autoportante preassemblato e precablato, comprensivo di interconnessioni piping, fitting, valvole, strumentazione, quadri elettrici, ecc. con installate a bordo le apparecchiature ed i componenti principali, necessari al corretto funzionamento del sistema. Il carico delle autocisterne avverrà tramite linea in acciaio DN 3" installata a bordo dello skid di caricamento, alimentato dalle relative pompe criogeniche associate. La capacità della pompa che alimenta il sistema è di 60m³/h.

Come detti i vapori di ritorno (BOG) saranno inviati verso i serbatoi di stoccaggio attraverso una linea dedicata. Il flusso di prodotto in trasferimento verso le autocisterne sarà regolato attraverso due valvole di controllo (una per la gestione del raffreddamento dell'autocisterna e una di regolazione della portata al carico), le cui portate di lavoro saranno impostate dall'operatore, in funzione delle caratteristiche dell'autocisterna da caricare e dalle condizioni in cui avviene il carico.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA

La baia di carico GNL alle autocisterne sarà costituita dai seguenti elementi principali:

- n°1 sistema di regolazione della portata di carico GNL liquido
- n°1 sistema di gestione dei vapori di ritorno (BOG)
- n°2 sistemi di misurazione (n°1 linea liquida e n°1 linea ritorno fase gas fiscale)
- n°1 stazione di carico costituita da tre bracci di carico, uno per liquido GNL, uno per il recupero vapori BOG e il terzo ibrido di riserva in caso di indisponibilità di uno dei due normalmente operativi, tutti dotati di valvola di emergenza a strappo
- n°1 pesa fiscale per contabilizzazione GNL.

Le rampe di carico delle autocisterne saranno separate da una serie di muri in cemento armato che si estendono per tutta la lunghezza delle stesse, I 3 muri in c.a., con spessore 30 cm, altezza 4m, e lunghezza 9.30, ciascuno, che andranno posizionati nella campata centrale delle pensiline di carico.

Ogni muro si estenderà tra i pilastri formati dalle travi HEA 300 che compongono la struttura portante della pensilina delle baie di carico. I muri avranno la funzione di impedire che qualsiasi tipo di fuori uscita di GNL/BOG possa creare pericoli per gli operatori della baia di carico adiacente. (Rif. Elaborato P_04_PD_03_BAI_R02).

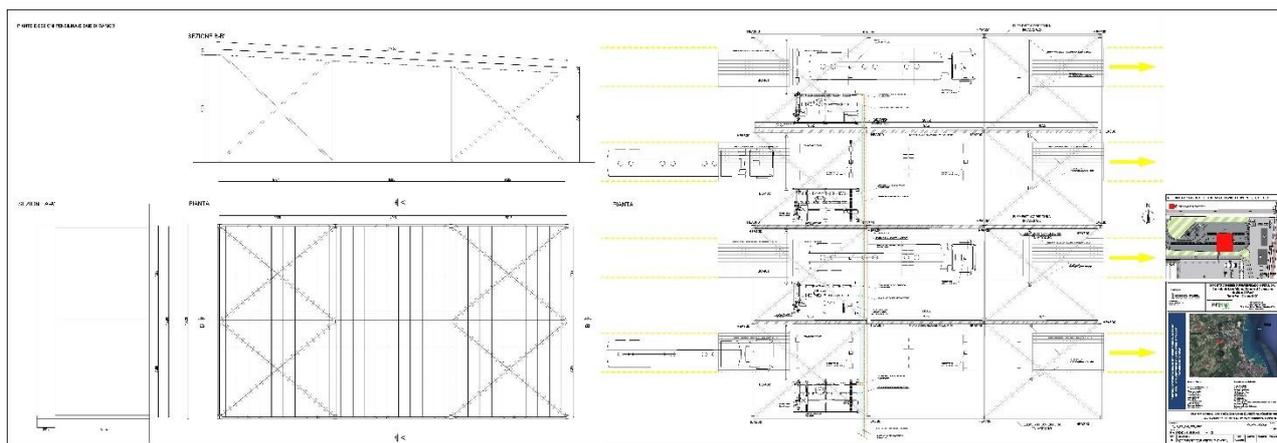


Figura 3 - Elaborato P_04_PD_03_BAI_R02 Baie di carico autocisterne

2.7 SISTEMI PER L'IMMISSIONE DEL GAS METANO NELLA RETE DI TRASPORTO

Il Gas naturale prima di essere immesso nella rete di trasporto dovrà attraversare lo “Skid” di filtrazione. Dopo la filtrazione verrà prelevato un campione per l’analisi che verrà effettuata nella “Cabina Cromatografi”. Successivamente verrà odorizzato ed immesso in rete.

L’odorizzazione non verrà fatta nel caso di immissione nel metanodotto regionale. Difatti, in tali casi, tale operazione viene normalmente fatta nelle cabine “Remi” a cura della società di trasporto.

Dopo l’odorizzazione si passa alla fase di misura fiscale, per la contabilizzazione dei volumi di metano immessa in rete. Infine si sono previsti dei gruppi di riduzione finale (GRF), per ottimizzare la pressione del gas prima della immissione nel metanodotto.

Si ricorda che la pressione del metanodotto potrà variare sensibilmente da 40 a 70 bar in funzione delle scelte

della società di trasporto legare alle portate di punta stagionali.

2.8 SISTEMA DI GESTIONE BOG

Il BOG è il gas che viene prodotto dal riscaldamento del GNL nelle fasi di travaso e di trasporto, nonché naturalmente all'interno delle tubazioni. Nei serbatoi di stoccaggio, il BOG aumenta la pressione interna, e quindi deve essere gestito nel modo corretto.

Il BOG in prima analisi sarà compresso e immesso in rete, oppure usato come combustibile per i motori alimentati a combustione interna, per produrre l'energia elettrica necessaria per il funzionamento nel Deposito.

Il Deposito è progettato per riutilizzare interamente il BOG prodotto, con l'obiettivo di non convogliare mai il BOG fino alla torcia, che entrerà in funzione solo in casi di emergenza.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

La presente relazione viene redatta ai sensi delle seguenti norme:

- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 – Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, sulla stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 – Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, sulla stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 – Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.
- Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.
- Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Delibera Giunta Regionale 30 marzo 2004, n. 15/31 - Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 – Norme in materia ambientale - Parte IV, Artt. 183, 184, 185 e 186 e Tabella 1 – Allegato 5 alla parte IV.
- Decreto Legislativo n. 4 del 16 Gennaio 2008 – Ulteriori disposizioni correttive ed

integrative del D.Lgs. 3 Aprile 2006 n. 152, recante norme in materia ambientale.

- Decreto Ministero dell’Ambiente n. 161 del 10 Agosto 2012 – Regolamento recante la disciplina dell’utilizzazione delle terre e rocce da scavo”;
- Deliberazione del Consiglio Regionale del 28/12/2001, n.115 e del D.L. 180/98 e ss. mm..
- Legge Regionale n. 35 del 19 ottobre 2009 – Parte Generale
- Legge Regionale n. 35 del 19 ottobre 2009 – Allegato 3 (Effetti di sito)
- Regolamento Regionale n. 7 del 28/06/2012 relativo alla LR 35/09 – art. 3

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area identificata per l'ubicazione dell'impianto è sita nel territorio del Comune di Crotona nella zona C.O.R.A.P. della Provincia. Il comune risulta confinante con i Comuni di Cutro, Isola di Capo Rizzuto, Scandale, Rocca di Neto, Strongoli.

L'area prescelta è caratterizzata pertanto dall'essere in zona facilmente accessibile dal punto di vista viario, vicino a strade di grande viabilità.

L'impianto disterà:

- 725 m dalla SS107
- 850 m dalla SS106
- 1660 m dalla SP52

Di seguito si riporta l'ortofoto con l'individuazione dell'area d'intervento.



Figura 4 - ORTOFOTO - Individuazione Area d'intervento

La superficie totale dell'intero lotto interessato dal progetto è di circa **6,7 Ha**, catastalmente individuata al **Foglio di Mappa n.25 – P.lla n.1015 (parte) e P.lla n. 1019 (parte)** nel vigente Catasto del Comune di Crotona, come si evince dallo Stralcio Planimetrico Catastale di seguito riportato.

DEPOSITO COSTIERO GNL NEL COMUNE DI CROTONE
RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE

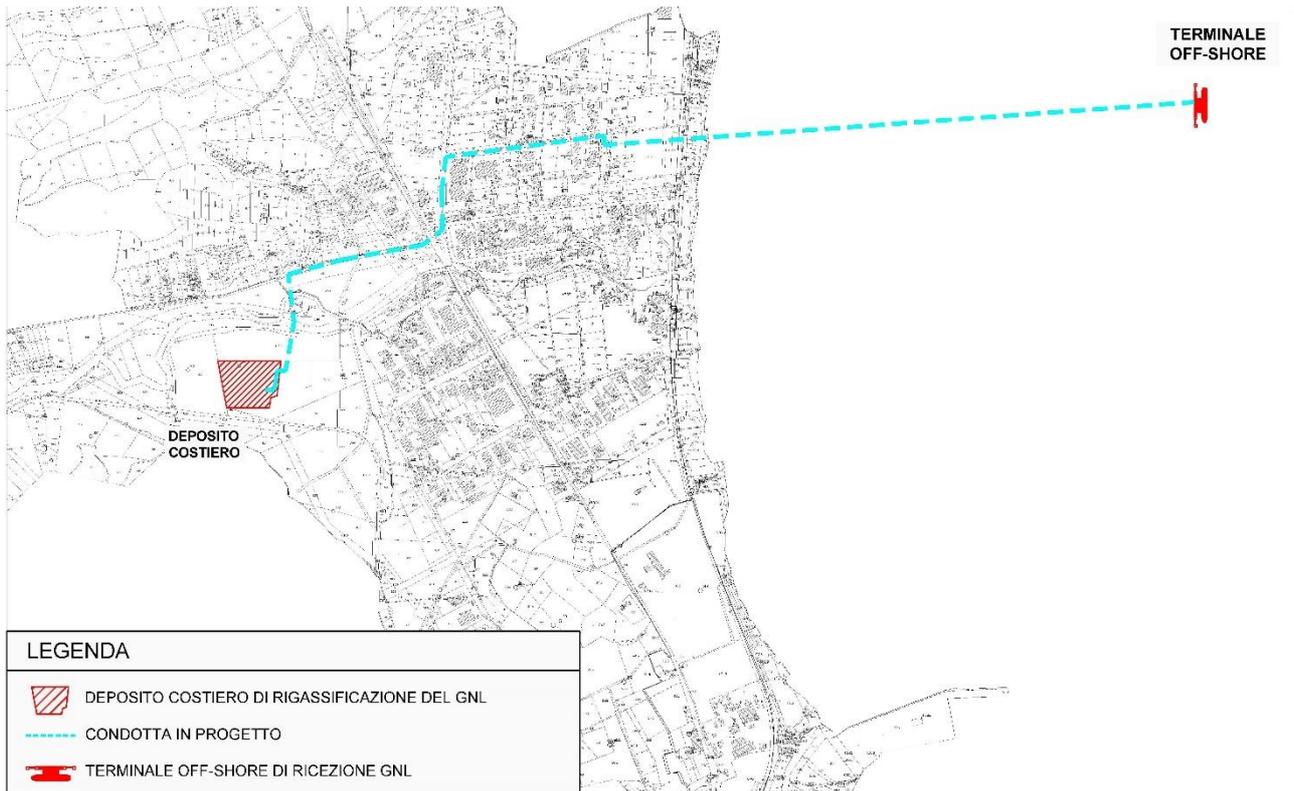


Figura 5 - PLANIMETRIA CATASTALE Comune di Crotona NTA Foglio 25 – P.IIa n. 1015 (parte) e P.IIa n. 1019 (parte) Individuazione Area d'intervento

5 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DELLE AREE DEL DEPOSITO COSTIERO

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO

5.1.1 GEOMORFOLOGIA

L'intervento oggetto di questo studio, è localizzato nella zona C.O.R.A.P. del comune di Crotona (KR) esso è situato al centro di un antico terrazzo morfologico su cui si dislocano buona parte dei centri abitati e delle realtà industriali del bacino crotonese. L'andamento morfometrico è infatti caratterizzato da ampie superfici pianeggianti inserite nella Formazione di San Mauro, intervallate da gradini esalti morfologici, modellati ed addolciti nelle forme ad assumere pendenze del 10 % circa, che seguono l'allineamento tipico degli antichi paleoalvei e corrispondenti superfici terrazzate spesso simmetriche ed ancora ben "leggibili". Il lento degradare a lievi balze verso il mar Ionio, ad est, è stato fortemente condizionato, nelle linee morfologiche principali, dai numerosi movimenti di terreno operati dall'uomo che hanno modificato in parte gli equilibri idrogeologici senza però determinare situazioni di dissesto di una certa rilevanza. La morfologia risulta quella tipica delle unità terrazzate del crotonese, la cui continuità viene interrotta a causa del lavoro erosivo degli agenti esogeni operato tra la fine del Pleistocene e l'Olocene, che hanno scoperto la formazione sottostante delle Argille di Cutro.

La realizzazione dell'intervento di progetto non determinerà particolari alterazioni dell'equilibrio morfologico evolutivo dell'area, interessando una zona dalla continuità morfologica garantita da linee piatte e non interrotte da discontinuità geomorfiche e/o comprese in settori caratterizzati da fenomeni di dissesto antichi o recenti. Di seguito una sequenza di foto panoramiche (giugno 2019) che mostrano la morfologia dell'area destinata alla realizzazione del Deposito Costiero di GNL.



Foto 1 - Morfologia dell'area d'intervento - Vista da Nord



Foto 2 - Morfologia dell'area d'intervento - Vista da Nord

Nell'area d'interesse affiorano estesamente le alluvioni fluviali del torrente Passovecchio caratterizzato da materiale a granulometria variabile. La variabilità granulometrica è funzione delle caratteristiche geologiche del bacino, delle dinamiche fluviali, nonché delle eventuali attività antropiche in alveo. La gran parte del bacino

idrografico è invece caratterizzato da formazioni sedimentarie plioleistoceniche. Si tratta di argille siltose di colore grigio azzurre con sottili intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose. Queste argille sono sormontate dalla formazione dei conglomerati e sabbie di colore bruno rossastri con intercalazioni lenticolari di calcare bioclastico, e piuttosto comuni sono intercalazioni arenacee e ghiaiose a cemento calcareo. L'analisi dei dati ottenuti dalle indagini eseguite per la fase progettuale preliminare, unitamente al rilievo geologico di superficie hanno permesso di definire il modello geologico dell'area interessata. Tale modello può essere sinteticamente rappresentato da un corpo costituito da materiale alluvionale ed eluviale di natura argilloso-limosa dello spessore (variabile da punto a punto) ma con valori massimi dell'ordine di 6-8 metri, sovrastante un substrato con spessore notevole costituito da argilla limosa.

Idrogeologia

L'idrogeologia dell'area in esame è regolata in massima parte dalle caratteristiche fisiche dei terreni e in particolare dal grado di permeabilità dei litotipi, oltre che dai rapporti giacitureali fra le varie formazioni affioranti in tutta l'area. I numerosi impluvi che dissecano l'area, ben canalizzati, alcuni sistemati artificialmente, tendono, nelle zone più interne, a sezionare la formazione di S. Mauro portando allo scoperto le argille sottostanti; in una situazione simile, con una esile copertura mediamente permeabile, con $10^{-1} < K < 1$ cm/sec, ed un complesso francamente poco permeabile, se non addirittura impermeabile alla base (argilla limosa, con $10^{-7} < K < 10^{-5}$ cm/sec) la situazione idrogeologica tende a configurarsi come piuttosto semplice, con un complesso tamponante per limite di permeabilità definito, mentre l'acquifero principale, superficiale, racchiude una falda freatica poco potente, talora effimera e non significativa. In tale situazione la piovosità media annua, seppur scarsa, intorno ai 600-700 mm annui, con una stagione secca e con deflussi idrici superficiali cospicui solo nel periodo primaverile, tende a formare una falda mediamente superficiale negli strati superiori della formazione argillosa che, possedendo buone qualità drenanti (porosità elevata per lo stato di costante imbibizione e degradazione meccanica); tale falda potrebbe subire anche oscillazioni temporanee, di tipo stagionale. La falda idrica più superficiale, che interessa direttamente il sito in esame, tende preferenzialmente al deflusso verticale; è desumibile come i deflussi idrici tendano alla verticalità nelle sabbie e conglomerati poco o mediamente compatte data l'elevata permeabilità che le caratterizza (10^{-1} cm/sec.), mentre ove sono presenti le frazioni siltose e/o argillose la permeabilità si abbassa (10^{-5} cm/sec.) e le linee di deflusso assumono un andamento tendente all'orizzontale. Si instaurano così le condizioni per la formazione di una falda a carattere temporaneo, superficiale, sviluppantesi in occasione dei mesi piovosi.

La falda, per tutte le valutazioni di tipo progettuale, può definirsi oscillante fino ad una profondità minima che non risale al di sopra dei - 3,5 m dal piano campagna. L'area in esame in corrispondenza della linea di costa la falda risulta molto superficiale.

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il sottosuolo dell'area da investigare, al di sotto del terreno di riporto è costituito da un deposito sedimentario alluvionale e argilloso. Successivamente saranno eseguite indagini geognostiche dirette e indirette per individuare la profondità esatta degli strati e i parametri medi fisico-meccanici dei terreni necessari per i lavori di realizzazione del deposito costiero.

STRATO A) Terreno vegetale (da 0,00 a 1,00 m. dal p.c)

Essi costituiscono la porzione più superficiale del sottosuolo dell'area in esame e si comportano come materiale detritico inglobato in un'abbondante matrice argilloso-sabbiosa. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche scadenti.

STRATO B) Deposito eluvio-colluviali sabbia limosa argillosa con ghiaia (da 1,00 m. a 6,00/8,00 m. dal p.c)

Lo spessore mediamente variabile da 5 m a 7 m è composto da n. 2 orizzonti di diverso stato di addensamento; in superficie per il primo metro prevale la presenza di sabbia con poca ghiaia, poco addensata mentre in profondità aumenta la frazione sabbiosa limosa con ciottoli eterometrici passando ad uno strato di medio addensamento. Lo strato presenta inoltre una spiccata variabilità litologica laterale per la presenza di livelli ghiaioso ciottolosi addensati. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche discrete. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,85 t/mc; peso unità di volume saturo (P_{uvs}) = 2,00 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 80 Kg/cmq; angolo d'attrito (F_i) = 30,0°; (c') = 0,17 kg/cmq; densità relativa (D_r) = 58 %; modulo di Young (E_y) = 170,00 Kg/cmq; modulo di Poisson (N_i) = 0.33; modulo di deformazione a taglio dinamico = 540 Kg/cmq, V_s = 200-240 m/s.

STRATO C) Formazione delle argille di Cutro – Limo argilloso sabbioso da poco a mediamente consistente (da 6,00/8,00 a 13,00/15,00 m. dal p.c)

Lo spessore rappresenta il terreno colluviale eroso a monte al cui interno si trovano occasionali clasti calcarenitici trasportati ed inglobati nell'erosione laminare; si presenta con una consistenza crescente con la profondità. Sia in profondità che lateralmente, si mantiene abbastanza omogeneo nelle sue caratteristiche geologicotecniche, presentando uno stato di consistenza medio. Al tetto, nello spessore a contatto con la sabbia soprastante può presentare una elevata umidità, specialmente per l'interazione con l'acqua d'infiltrazione; Lo strato si colloca nella fascia di terreno saturo/insaturo per la presenza di umidità stagionale (accumuli idrici modesti in occasione delle piogge); si presenta generalmente con un aumento della consistenza con la profondità. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche buone. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,60 t/mc; peso unità

di volume saturo (P_{uvs}) = 1,90 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 90 Kg/cm²; angolo d'attrito (F_i) = 26,0°; coesione non drenata (C_u) = 0,85 kg/cm²; densità relativa (D_r) = 60 %; modulo di Young (E_y) = 180,00 Kg/cm²; modulo di Poisson (N_i) = 0.33; modulo di deformazione a taglio dinamico = 620 Kg/cm², V_s = 280-340 m/s.

STRATO D) Formazione delle argille di Cutro – Argilla limosa da molto consistente a estremamente dura (da 13,00/15,00 a 30,00 m. dal p.c)

Il litotipo presenta le caratteristiche granulometriche delle argille limose e costituisce uno spessore di terreno estremamente compatto sul quale si sono sovrapposti in trasgressione i sedimenti recenti. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche ottime. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,70 t/mc; peso unità di volume saturo (P_{uvs}) = 2,00 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 120 Kg/cm²; angolo d'attrito (F_i) = 27,0°; coesione non drenata (C_u) = 1,70 kg/cm²; densità relativa (D_r) = 68 %; modulo di Young (E_y) = 220,00 Kg/cm²; modulo di Poisson (N_i) = 0.31; modulo di deformazione a taglio dinamico = 820 Kg/cm², V_s = 400-440 m/s.

5.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la verifica diretta della successione stratigrafica e dello stato di consistenza dei terreni si rende necessaria una campagna di indagini geognostiche.

Le operazioni di sondaggio e di indagini geognostiche interesseranno gran parte dell'area di sviluppo dell'intervento, in special modo in corrispondenza dei serbatoi criogenici, della torcia e dei vaporizzatori.

Piano delle indagini

Nel rispetto delle norme vigenti, come supporto imprescindibile alla fase progettuale esecutiva e sulla base sia dei dati disponibili utilizzati per la parametrizzazione preliminare del sottosuolo, si rende necessaria l'esecuzione di una campagna geognostica la quale, ai fini che interessano e considerato il modello geologico - idrogeologico esaminato, è opportuno che si espliciti mediante sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche continue, pozzetti geognostici e analisi di laboratorio. In particolare lungo tutto lo sviluppo dell'opera prevista, si prevede l'esecuzione della seguente campagna di indagini e prove:

- N 2 carotaggi ad andamento verticale eseguiti a rotazione a distruzione di nucleo, del diametro 85 – 145 mm, per profondità comprese tra 0,00 a 30,00 m.
- N 2 prelievi di campioni indisturbati compatibilmente con la natura dei terreni, nel corso di sondaggi a rotazione, impiegando campionatore a pareti sottili spinto a pressione, diametro minimo mm 80. Profondità di circa 3,00/4,00 m.
- N 3 Prove Penetrometriche dinamiche continue eseguite con Penetrometro dinamico superpesante (DPSH) 63-200 Pagani: massa battente da 60 kg, con dispositivo di sganciamento automatico, altezza di caduta cm 75, compreso profilo penetrometrico ed elaborazione dati – per profondità comprese tra 0,00 e 20,00 m (indicate con il bollino blu in figura 13).
- N. 2 prove penetrometrica statiche eseguite con Penetrometro dinamico superpesante (CPT) 63-200 Pagani con punta meccanica, compreso profilo penetrometrico e elaborazione dati – per profondità comprese tra 0,00 e 20,00 m (indicate con il bollino blu in figura 13).
- N. 1 Prova sismica Masw fino alla prova di 30 m (indicate con il bollino rosso in figura 13).
- N 2 Analisi Geotecniche di Laboratorio: apertura provino, descrizione, caratteristiche fisiche generali “contenuto nat. in acqua, densità secca e naturale, peso specifico dei granuli, porosità ed indice dei vuoti, grado di saturazione.
- • N 2 Analisi Geotecniche di Laboratorio: analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione.
- N 2 Analisi Geotecniche di Laboratorio: limiti di Atterberg “Limite liquido e plastico, limite di ritiro”.
- • N 2 Analisi Geotecniche di Laboratorio: prova di taglio diretto.

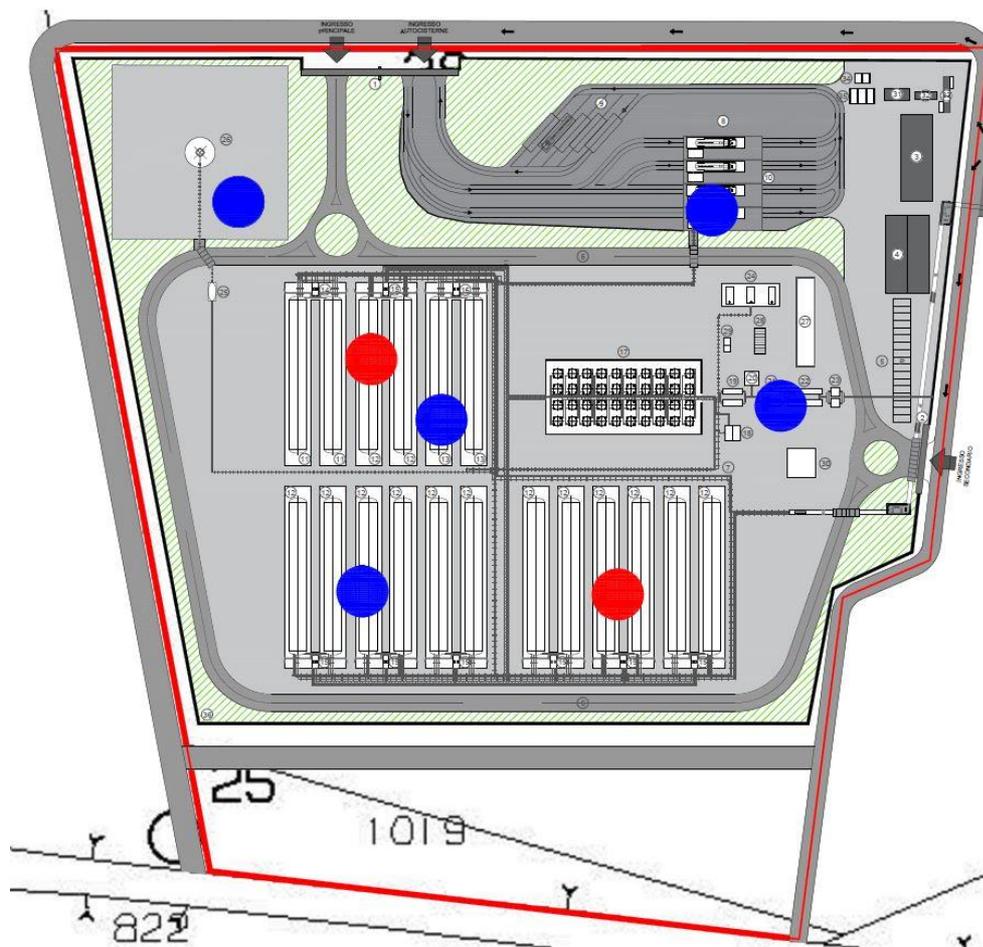


Figura 7 - Stralcio della planimetria indagini geognostiche previste.

Legenda: Bollino blu: DPSH prova penetrometrica alla profondità di 20 m; Bollino rosso: immagine sismica Masw fino alla profondità di 30 m.

I sondaggi devono seguire per quanto possibile le seguenti modalità esecutive:

- Le verticali di perforazione costituiscono elemento di vulnerabilità in quanto pongono potenzialmente in comunicazione matrici ambientali in genere nettamente separate. E' da evitare l'utilizzo di qualunque sostanza in grado di compromettere la rappresentatività, dal punto di vista chimico, dei campioni di terreno prelevati. Pertanto gli strumenti e le attrezzature impiegate nelle diverse operazioni devono essere caratterizzati da modalità costruttive e materiali tali da non comportare nessuna contaminazione o variazione delle caratteristiche chimico-fisiche delle matrici ambientali indagate;
- dovrà essere verificata la messa a punto ed il corretto funzionamento dei macchinari, degli impianti e di tutte le attrezzature da utilizzare per l'indagine, prima dell'uso effettivo sul sito, in modo da evitare la perdita di lubrificanti, carburanti e altre sostanze durante le fasi di perforazione e campionamento;
- Particolare cautela sarà necessaria nei primi metri di avanzamento per evitare la perforazione di eventuali fusti interrati.

- Il carotaggio dovrà avvenire a secco, fin quando possibile, ed a bassa velocità.
Qualora dovesse risultare indispensabile per l'avanzamento l'utilizzo del fluido di perforazione, dovrà essere usata acqua pulita, eventualmente additivata con polimeri biodegradabili;
- l'estrusione della carota dovrà avvenire a secco.
- prima dell'inizio della perforazione il carotiere, le aste ed i rivestimenti metallici dovranno essere accuratamente lavati con acqua potabile, utilizzando l'idropulitrice ad acqua calda ed alta pressione;
- analogo procedimento sarà da applicare ad ogni manovra di carotaggio, rimuovendo completamente, dall'esterno e dall'interno dell'utensile, qualsiasi residuo di materiale; l'acqua e la condensa presenti sulle pareti dell'utensile devono poi evaporare naturalmente o, quando ciò non avviene, essere asciugate con carta da filtro pulita.

6 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA AMBIENTALE MARINO

6.1 AMBIENTE MARINO E COSTIERO

Il tratto di costa antistante il terminale off-shore, di ricezione del GNL, appartiene alla sub-unità fisiografica indicata con il n. 14 nella figura seguente, tale sub-unità, che si estende dal porto di Crotona fino alla foce del fiume Neto, a Nord, è sostanzialmente costituita da ampie spiagge di lunghezza superiore ai 50 metri con qualche breve presenza di tratti di spiaggia media e ristretta.

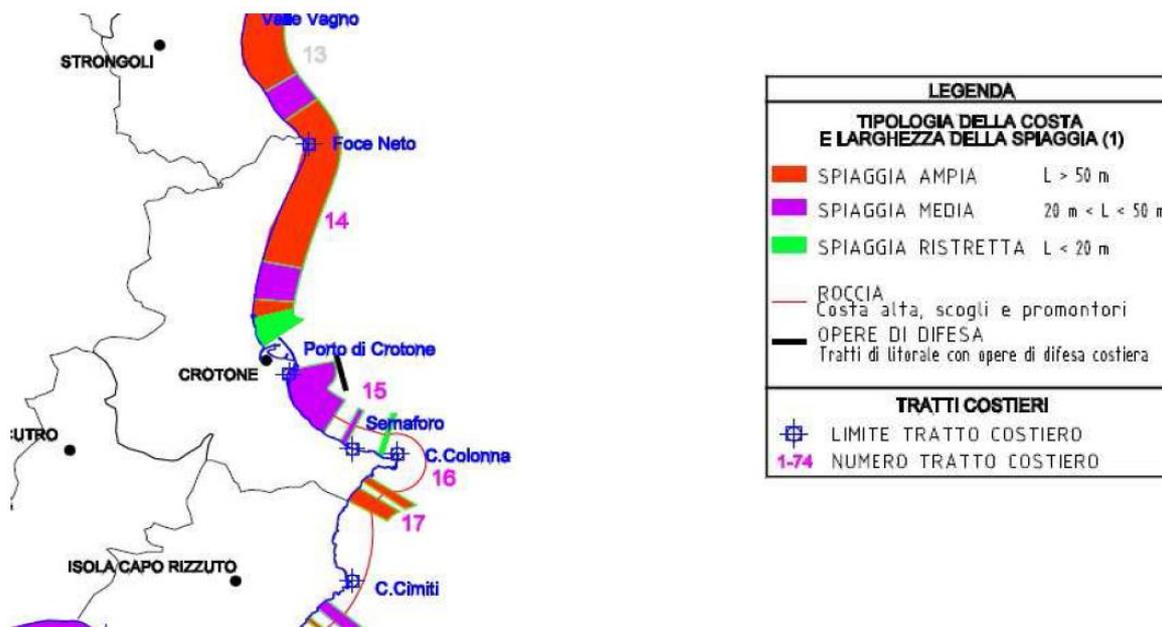


Figura 8 - Tipologia della costa e delle spiagge (da Indagine Conoscitiva, 2003).

La sedimentologia è, invece, rappresentata dalla figura che segue dalla quale è possibile evincere le seguenti caratteristiche:

- l'apporto solido da parte dei corsi d'acqua che sfociano nei tratti è di materiale fine;
- il materiale sedimentato nelle aree in giallo è di tipo sabbioso.



Figura 9 - Sedimentologia

I dati granulometrici disponibili e relativi a campioni prelevati dalla battigia alla batimetrica -7 (Indagini lungo il litorale tra Rocca Imperiale e Capo Colonna - Società per le ricerche marine s.n.c., 1993) riferiscono le seguenti caratteristiche:

- dalla battigia fino a 2 m di profondità, le sabbie sono grossolane con $D_{50} = 0,8 - 1,4$ mm;
- dalla batimetrica -2 m alla -3 m, le sabbie degradano a medie con $D_{50} = 0,25 - 0,30$ mm;
- dalla batimetrica -3 m fino -7 m, sono presenti sabbie fini con $D_{50} = 0,15 - 0,20$ mm.

DEPOSITO COSTIERO GNL NEL COMUNE DI CROTONE
 RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE

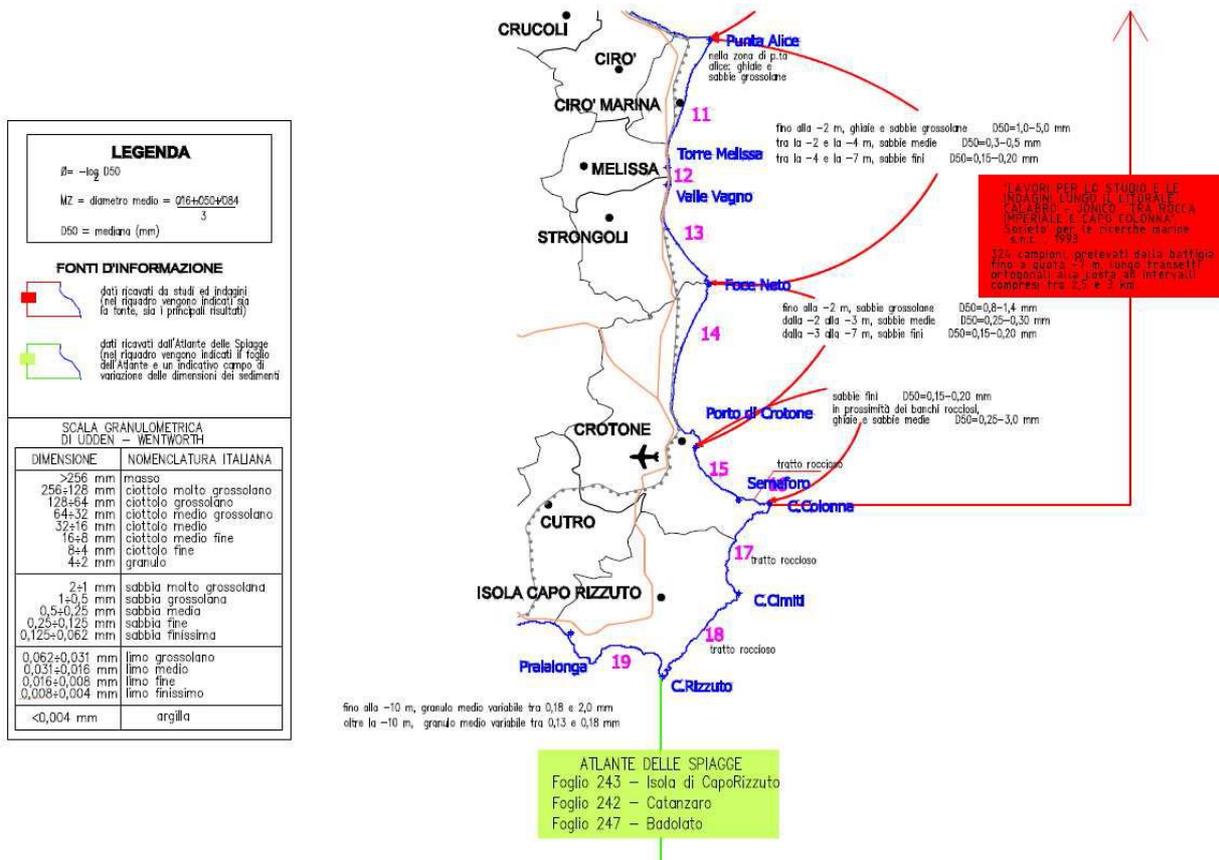


Figura 10 – Dati granulometrici

Per quanto riguarda il trasporto solido, dalla seguente figura è possibile desumere come esso assuma segno positivo, in base alle convenzioni adottate, nel solo tratto immediatamente limitrofo alla Foce del Fiume Neto (70.000 m3 annui).

La direzione netta del trasporto solido potenziale è sostanzialmente Sud - Nord, con inversione a Nord - Sud nelle vicinanze della foce del Neto.

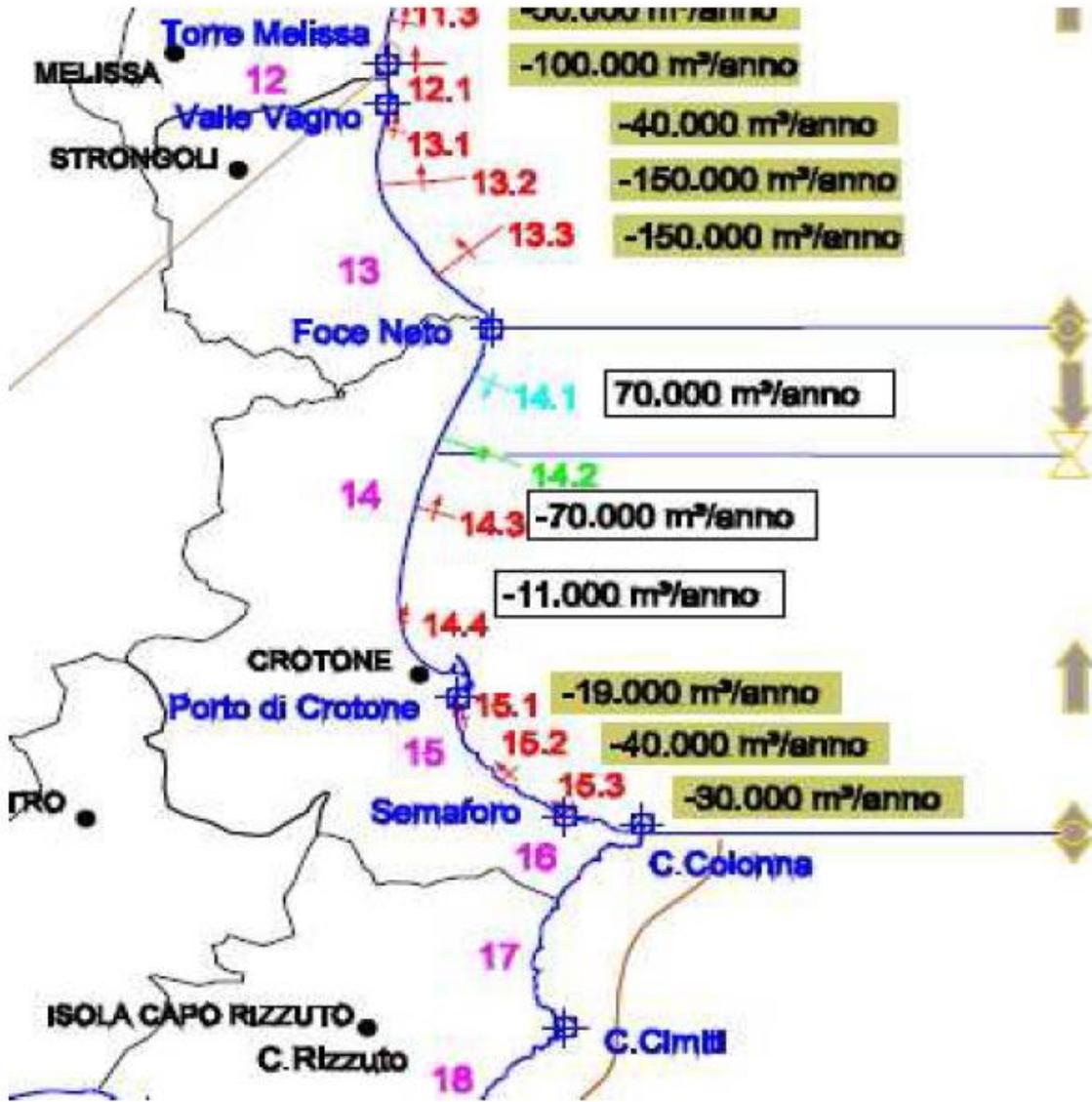


Figura 11 – Trasporto solido

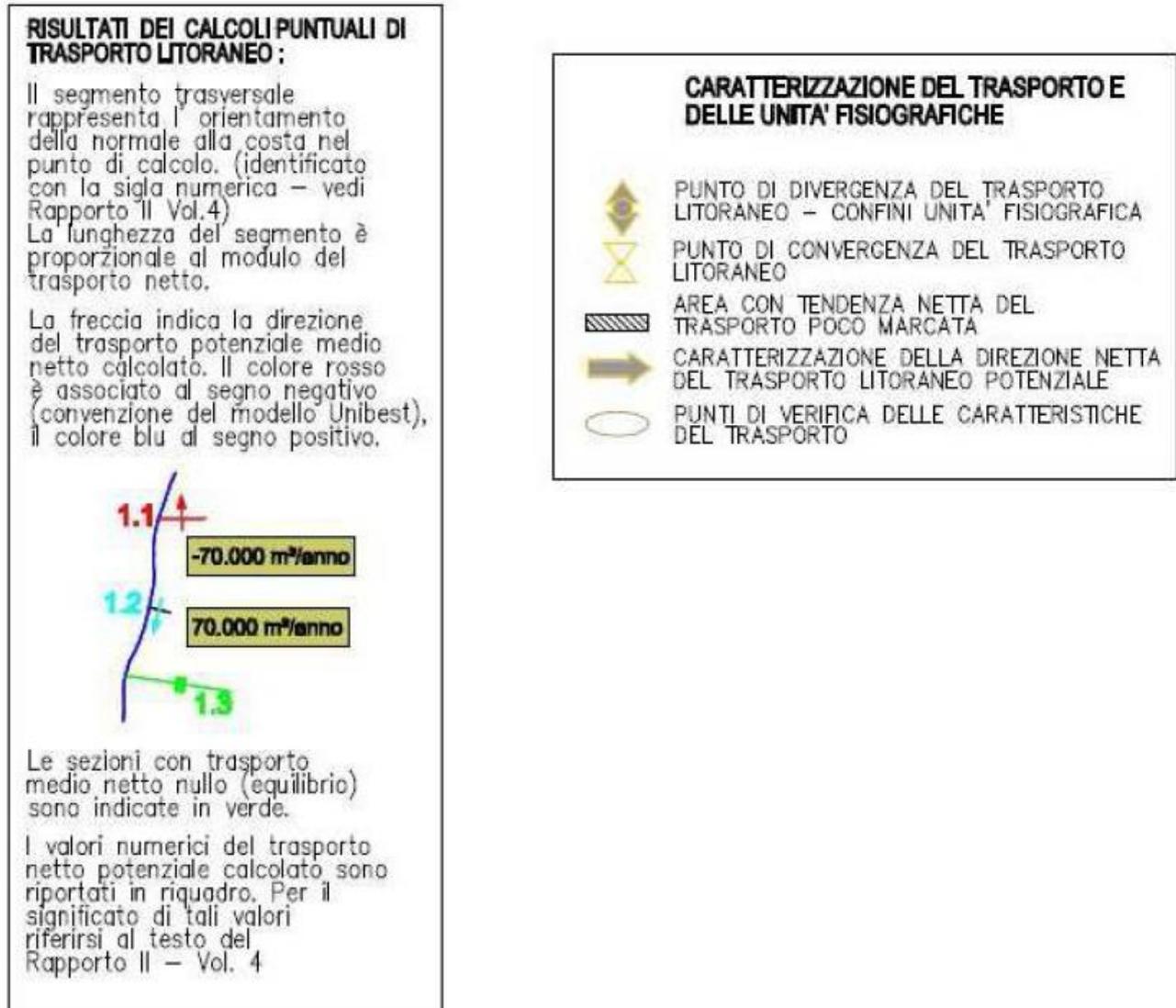


Figura 12 – Legenda relative alla Figura 11

6.2 SUOLO E SOTTOSUOLO

L'area interessata dal Terminale Off-Shore si colloca nel Mar Ionio, a circa 1,5 km dalla costa calabrese del comune di Crotona.

Questo settore del Mediterraneo centrale è circondato da catene montuose che rappresentano il limite Africa-Europa; si ergono infatti gli Appennini a ovest, le Alpi Meridionali a nord e la catena Dinarico-Ellenica a est, mentre verso sud invece si colloca il Bacino Ionico.

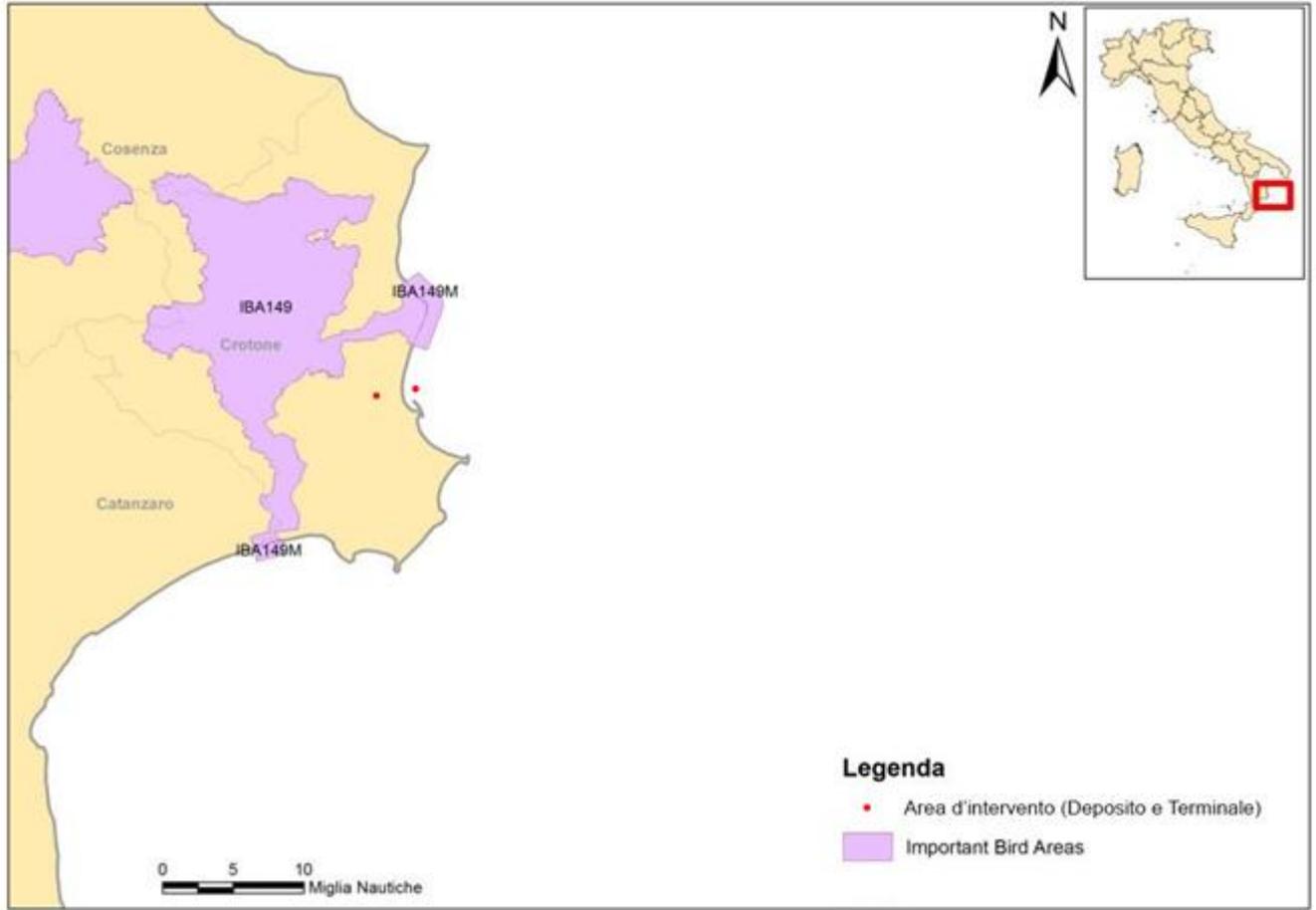


Figura 13 - Localizzazione dell'area interessata dal Deposito Costiero e dal Terminale Off-Shore

6.2.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E BATIMETRICHE

Dal punto di vista batimetrico, l'area in oggetto si colloca nel bacino di Crotona e mostra delle profondità moderate, fino ai -15 m.

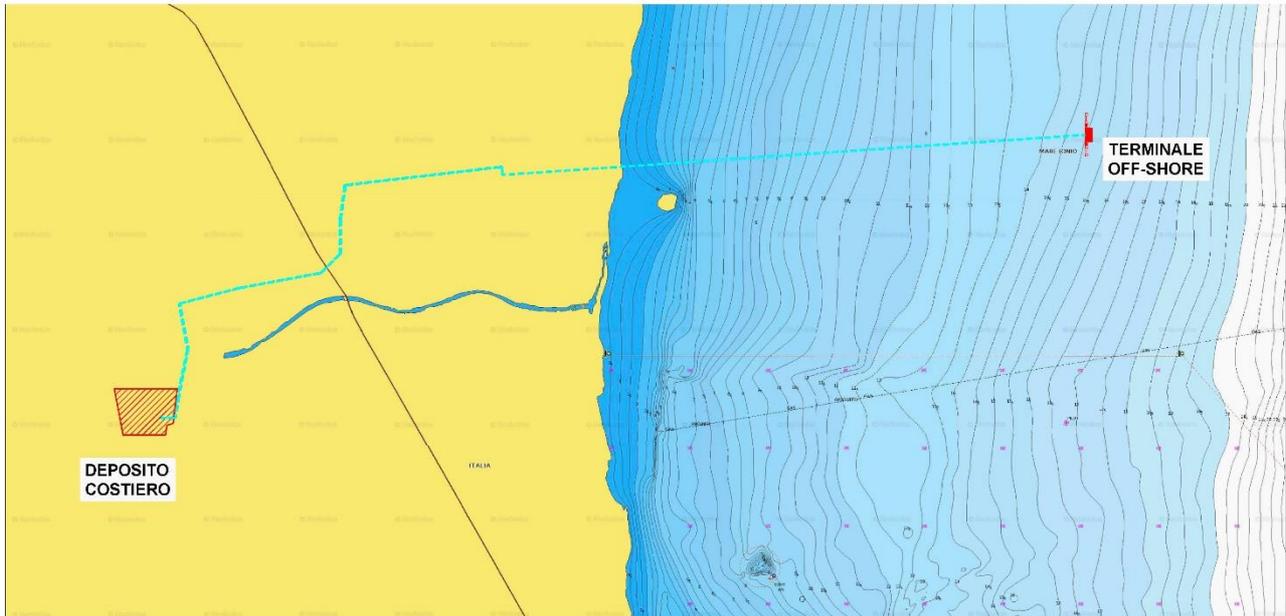


Figura 14 - Ubicazione del Terminale Off-Shore con indicazione della batimetria

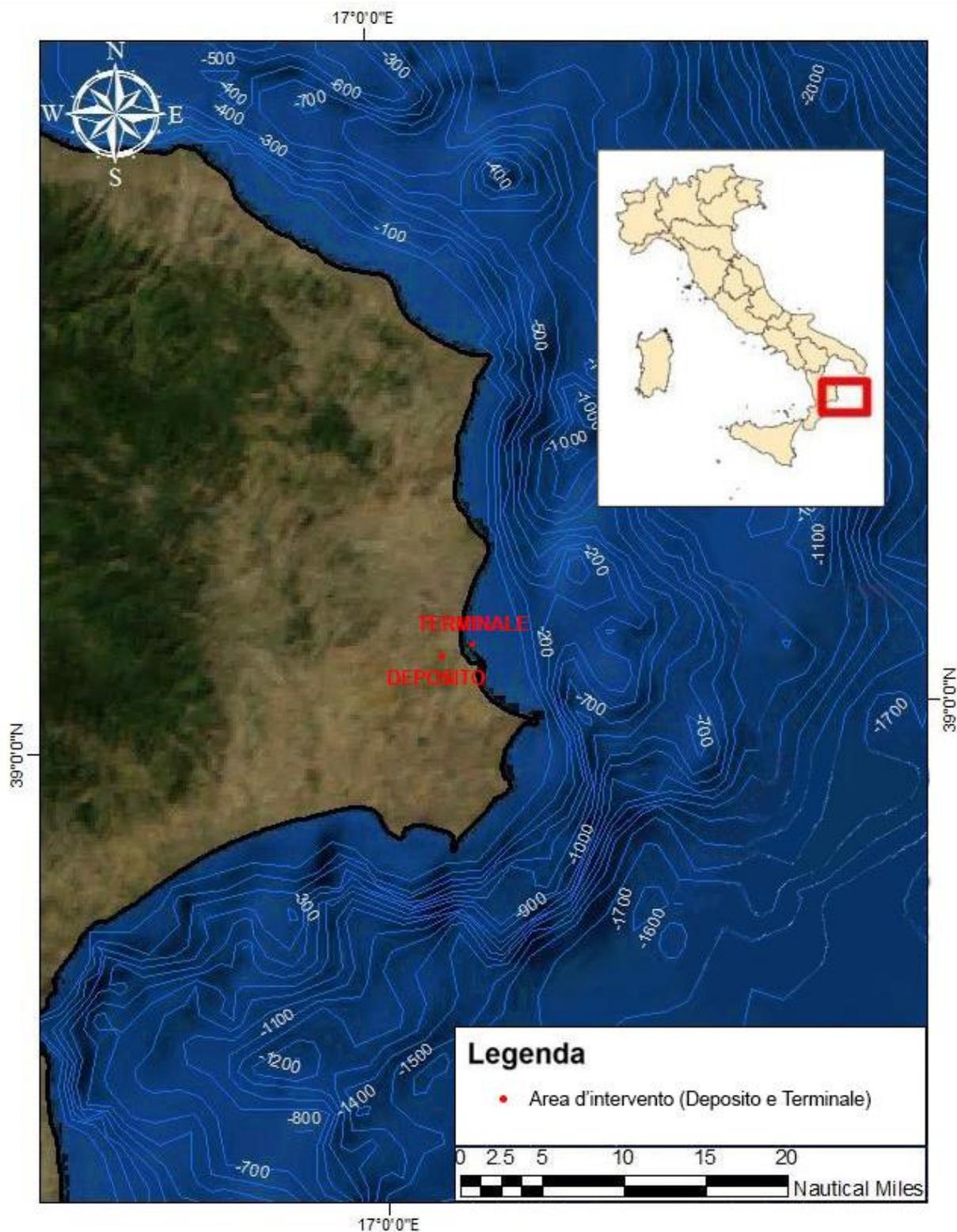


Figura 15 - Batimetria

La morfologia del fondale non presenta particolari asperità, con un incremento della profondità verso Est piuttosto regolare, il cui andamento riflette grossomodo il profilo costiero.

Il fondale prossimo alla costa (sino alla profondità di circa 150 m) è caratterizzato dalla presenza di un substrato roccioso localmente coperto da sabbie a componente essenzialmente terrigena. In ambiente di spiaggia sommersa le sabbie presentano invece una composizione al 60% terrigena ed al 40% bioclastica. Verso il largo

la componente bioclastica aumenta sino a diventare predominante. Oltre i 150 m di profondità tali sabbie sono ricoperte da sabbie fini, limi ed argille limose.

6.2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Dal punto di vista dell'inquadramento geologico-regionale, l'area interessata dal Terminale Off-Shore ricade nella porzione centrale della Catena Appenninica meridionale. Il dominio appenninico è caratterizzato da un sistema di faglie e sovrascorrimenti che si è generato dall'interazione di sedimenti appartenenti sia a domini di placca continentale europea sia a quelli africani. L'attuale assetto geologico-strutturale rappresenta il risultato dell'orogenesi del Mediterraneo avvenuta durante la collisione continentale del Neogene – Quaternario tra l'Africa con la placca Adria o promontorio Apulo e la placca Europea (Viti et al., 2011). Il promontorio Apulo viene considerato a volte come una microplacca che ha un ruolo importante nell'evoluzione generale del mar Mediterraneo (Channell et al., 1979).

La complessità della storia evolutiva dell'area mediterranea è stata influenzata principalmente dalla fase di *rifting* avvenuta dopo l'orogenesi Varisica. Durante il Mesozoico è possibile osservare lo sviluppo di estese piattaforme carbonatiche diffuse nelle aree oceaniche della Tetide e lungo i margini continentali passivi. Durante il tardo Mesozoico (Cretacico), l'allora regime estensionale subì un'inversione tettonica, con il conseguente sviluppo di margini continentali e la formazione di diverse zone di subduzione (Figura 16). L'instaurarsi del regime compressivo condusse alla chiusura ed alla consunzione della litosfera oceanica della Tetide ed alla conseguente collisione dei margini continentali (Carminati e Doglioni, 2004).

La composizione eterogenea della crosta continentale e quella oceanica, la densità e lo spessore ereditato dal *rifting* Mesozoico, sono i fattori principali che controllano la posizione, la distribuzione e l'evoluzione delle attuali zone di subduzione.

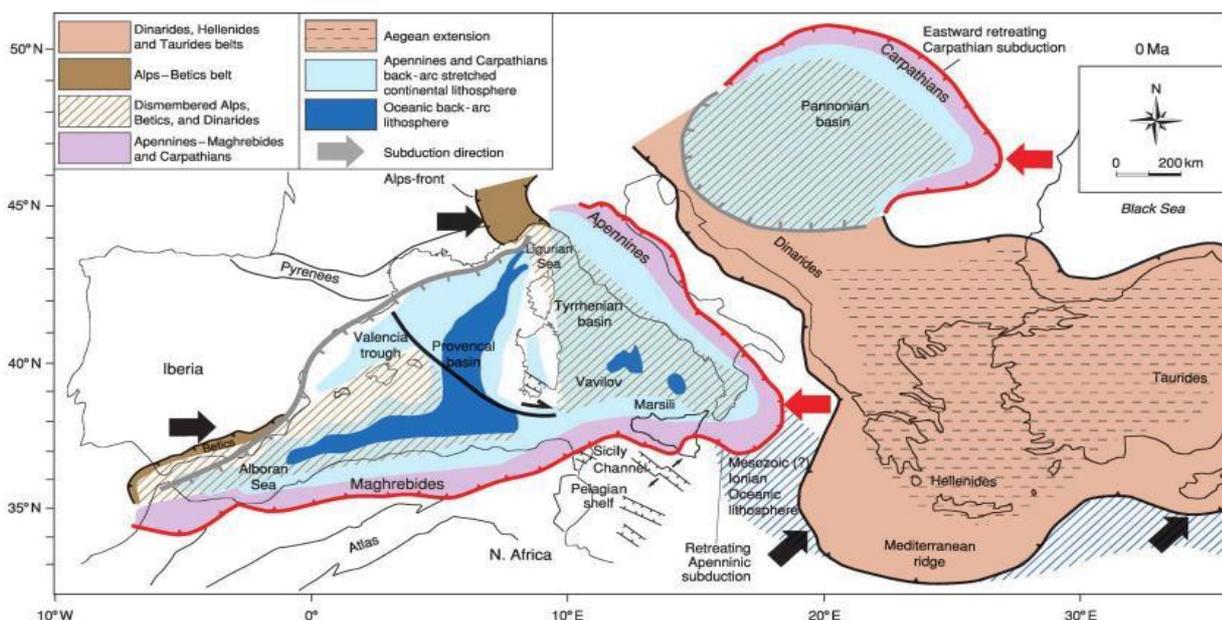


Figura 16 - Quadro geodinamico attuale. Si possono osservare quattro zone di subduzione: zona Appennino-Maghrebide da ovest verso est; zona dei Carpazi da ovest verso est; zona Dinarica-Greco-Taurica direzione nord-est; zona Alpina in direzione sud-est (fonte: Carminati e Doglioni, 2004)

Il bacino del Mediterraneo è stato considerato e continua ad essere un collettore di sedimenti provenienti dall'erosione dei continenti e degli orogeni prossimi al bacino. Oltre ad essere un raccogliitore di sedimenti, è stato un bacino evaporitico, che durante il Messiniano si prosciugò più volte, provocando un aumento della salinità e conseguente deposizione di sequenze evaporitiche.

Il moto relativo tra l'Africa e l'Europa a partire dal Neogene è ancora in discussione, ma la maggior parte delle ricostruzioni mostrano direzioni di movimento relativo tra il nord-ovest e nord-est. Dati spaziali geodetici confermano questi movimenti, in cui la placca Africana ha una componente N-S di relativa convergenza verso la placca Europea di circa 5 millimetri all'anno (dati dalle banche dati NASA relativi ai recenti movimenti globali della placche tettoniche dal sito sideshow.jpl.nasa.gov/80/mbh/series.html). L'attuale campo di stress è principalmente legato alla rotazione in senso antiorario dell'Italia, che si sta chiudendo nel mar Adriatico tra l'Appennino e la catena delle Dinaridi. Questa convergenza è evidente dai vettori GPS (Devoti et al., 2008) e anche dai meccanismi focali dei terremoti (Herak et al., 1995; Herak et al., 2005). I vari terremoti dell'area centro-mediterranea presentano per lo più un campo di sollecitazione orientato NE-SW (Herak et al., 2005).

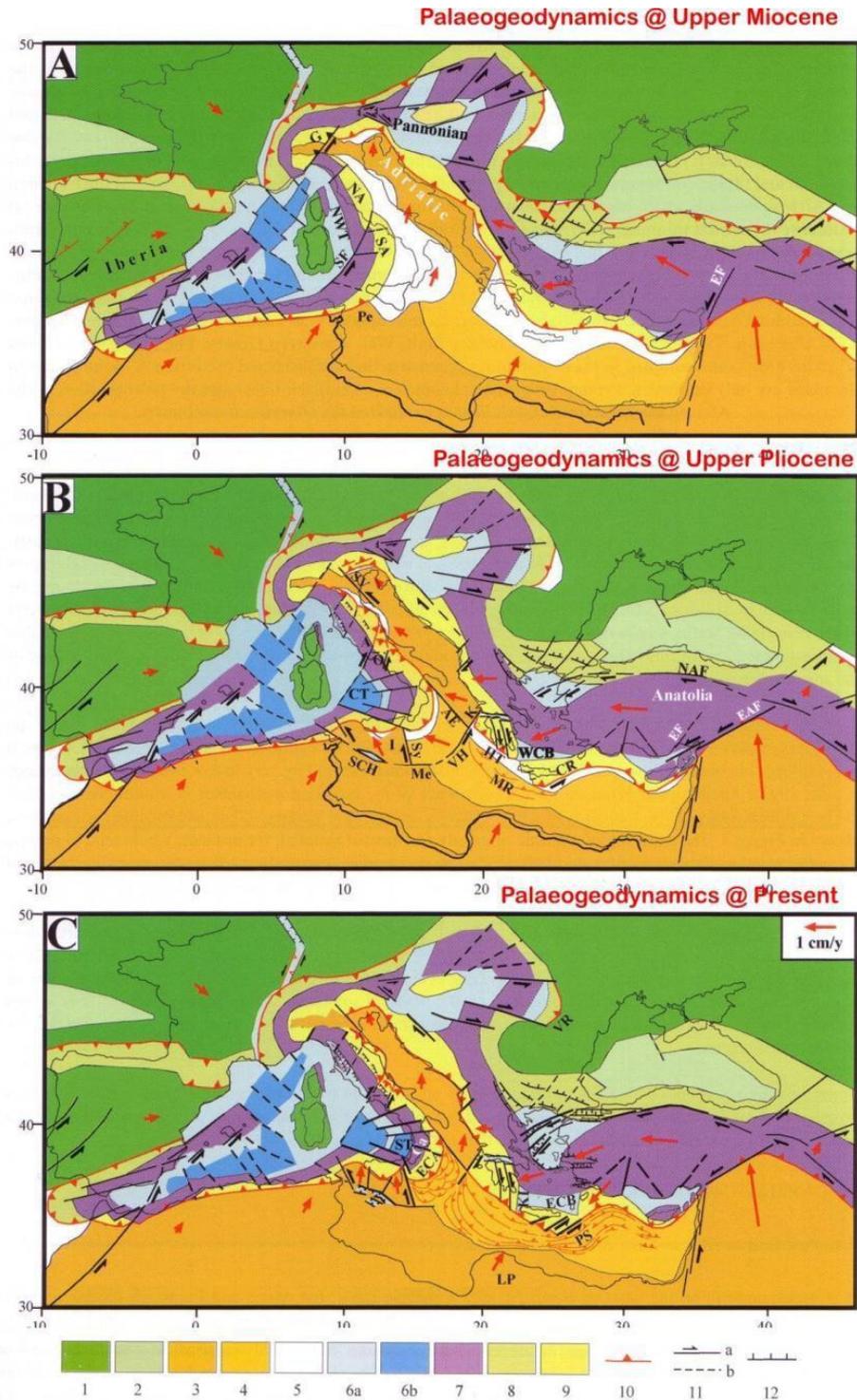


Figura 17 - Evoluzione paleodinamica dell'area mediterranea dal Miocene superiore al presente (fonte: Mantovani, 2005, in: Finetti, 2005)

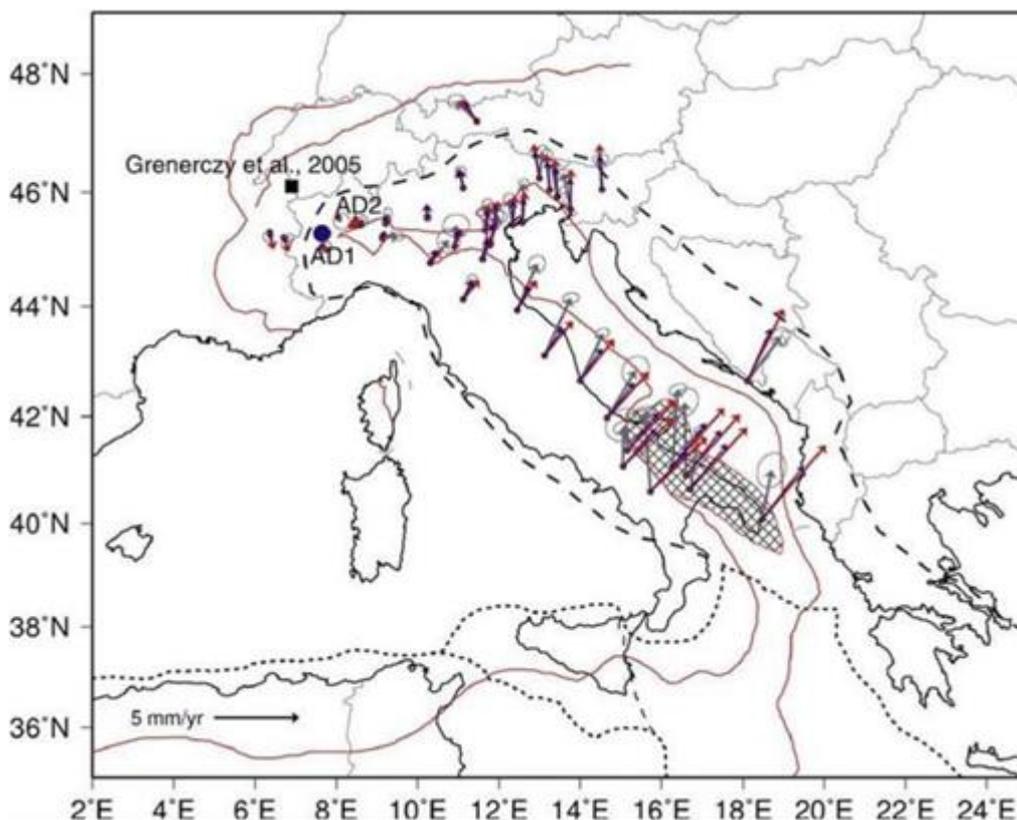


Figura 18 - Vettori GPS che mostrano la deriva della penisola italiana verso nord-est (fonte: Devoti et al., 2008)

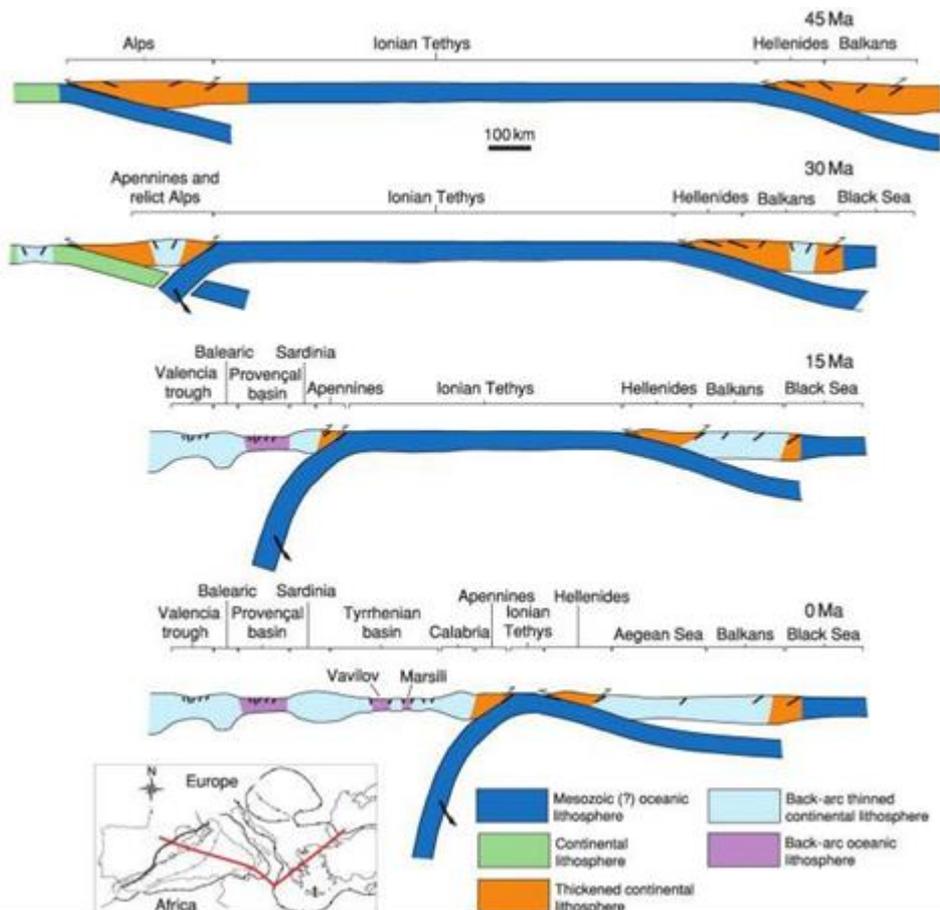


Figura 19 - Evoluzione delle tre principali zone di subduzione nel Mediterraneo negli ultimi 45 milioni di anni:

subduzione Alpina, subduzione Appenninica e subduzione Dinarica-Ellenide (fonte: Carminati e Doglioni, 2004)

Il bacino del Mediterraneo può essere diviso in tre sottobacini: Occidentale, Centrale e Orientale. Il Mediterraneo Occidentale è il più giovane, con meno di 30 Milioni di anni, mentre l'area Centrale e Orientale rappresentano i relitti dell'antico oceano Mesozoico-Cenozoico della Tetide.

Diverse anomalie gravimetriche sono state registrate in tutta l'area mediterranea con picchi positivi nelle aree più profonde (il bacino Provenzale, mar Tirreno e Ionio), dovute al sollevamento del Mantello in seguito a fasi estensionali, mentre anomalie negative risultano presenti lungo le zone di subduzione (Carminati e Doglioni, 2004).

6.2.3 PANORAMA GEOLOGICO LOCALE

Il sistema Arco Calabro-Peloritano rappresenta un segmento di catena fortemente arcuato della fascia orogenica perimediterranea posto tra la catena appenninica (NW-SE) e la catena siciliano-maghrebide ad andamento E-W. Tale struttura rappresenta un elemento di discontinuità nello sviluppo, da Nord a Sud, della Catena Appennino-Maghrebide.

La "Linea di Sangineto" rappresenta il limite settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano. Questo lineamento non è costituito da una linea di demarcazione ben definita e si colloca in prossimità del confine tra Calabria e Basilicata (con orientamento grossomodo NE-SW). Esso ha rivestito un ruolo centrale nella costruzione della catena fin dal Miocene inferiore (Amodio Morelli et al., 1976). La natura di tale faglia è stata interpretata come trascorrente sinistra da molti autori, sulla base di considerazioni geodinamiche generali legate alla traslazione verso est dei terreni cristallini dell'Arco, anche se Ghisetti e Vezzani (1983) riportano movimenti trascorrenti destri.

La "Linea di Taormina", invece, rappresenta il limite meridionale di questa struttura e mostra, in Sicilia, le unità dell'Arco Calabro sovrascorse lungo una direttrice orientata NW-SE sulle unità Sicilidi. Tale elemento strutturale viene interpretato come faglia trascorrente destra che rappresenta un'antica "cicatrice" non più attiva durante le fasi tettoniche plio-pleistoceniche (Amodio Morelli et al., 1976).

La "linea di Sangineto" e la "linea di Taormina" rappresentano lineamenti tettonici a carattere regionale che separano i domini prevalentemente carbonatici da quelli metamorfici. Dal un punto di vista litologico, l'Arco Calabro è prevalentemente costituito da rocce metamorfiche alpine ed erciniche, denominate Complesso del Basamento Calabrese. Al di sotto di queste unità sono presenti unità carbonatiche Mesozoiche che compaiono in piccole finestre tettoniche. I contatti tra le unità di basamento sono caratterizzati da sovrascorrimenti con superfici a basso angolo, successivamente ripresi da sistemi di faglie ad alto angolo.

L'arco Calabro-Peloritano viene tuttavia interpretato come un frammento di crosta continentale appartenente alla catena Alpina, costituito da una serie di coltri cristalline d'età paleozoica accavallate sia su unità oceaniche mesozoiche sia su unità terrigene e carbonatiche dell'Appennino meridionale.

Il settore di avampaese che borda la catena comprende il blocco Apulo a nord, che fa parte della placca Adriatica, ed il Blocco Ibleo a sud, che è a sua volta un promontorio della placca Africana. Tra questi due domini, è presente il Bacino Ionico, che è stato probabilmente generato a causa di processi di oceanizzazione

o *rifting* durante il Giurassico e successivamente è stato subdotto al disotto dell'Arco. Le aree di retroarco sono rappresentate dal bacino occidentale del Mediterraneo, sviluppatosi nell'Oligocene– Miocene inferiore e dal bacino Tirrenico, formatosi durante il Miocene medio-Pleistocene. Caratteristiche dell'attuale zona di retroarco sono la frequente presenza di terremoti profondi, relativi alla subduzione che genera l'arco vulcanico attivo delle Isole Eolie e di un elevato flusso di calore, che indica una piena attività della subduzione.

L'evoluzione di questo settore del Mediterraneo centrale è caratterizzata dalla migrazione dell'Arco Calabro verso i quadranti sud-orientali a partire dall'Eocene, con il sovrascorrimento sul margine settentrionale della placca Africana e sui suoi promontori più o meno indipendenti.

Sono presenti sequenze terrigene eoceniche, oligoceniche e del Miocene inferiore in forma di scaglie tettoniche lungo le fasce di sovrascorrimento comprese tra queste unità di basamento e come cunei tettonici lungo le principali zone di faglia ad alto angolo. Numerose sequenze sedimentarie tardo neogeniche coprono queste unità di basamento con numerose discordanze angolari di età varia. Tutte queste unità sono dissecate da un complesso sistema di faglie ad alto angolo, che possono essere raggruppate in vari set, in parte collegati a sistemi tettonici trascorrenti. La natura di questi sistemi di faglie ha agevolato lo sviluppo dei sovrascorrimenti localizzati tra le unità sedimentarie neogeniche e le rocce di basamento, sia con strutture a fiore positive che con sovrascorrimenti a basso angolo.

Dal punto di vista strutturale può essere accettato lo schema secondo cui la struttura geologica Calabro-Peloritana risulta caratterizzata da un complesso di sovrascorrimenti a basso angolo, attraversato da faglie ad alto angolo ad andamento obliquo.

La storia evolutiva dell'Arco Calabro vede durante il Triassico-Giurassico-Cretacico l'apertura della Mesogea o Neotetide, con la creazione di aree bacinali profonde che separano differenti piattaforme carbonatiche. Da nord-ovest a sud-est, i vari domini sono rappresentati da: placca Europa, bacino Ligure-Piemontese, Placca Appenninica (piattaforma o bacini intrapiattaforma), Bacino Lagonegrese, Placca Adriatica in dominio di piattaforma (ad esempio il blocco Apulo) e settori bacinali intrapiattaforma, per poi andare in aree bacinali come il Bacino Ionico-Blocco Ibleo.

Durante il Tardo Cretaceo-Paleogene si assiste alla progressiva chiusura di parti del dominio di Mesogea (deformazione Alpina), che termina con la fase deformativa Alpina tardo eocenica.

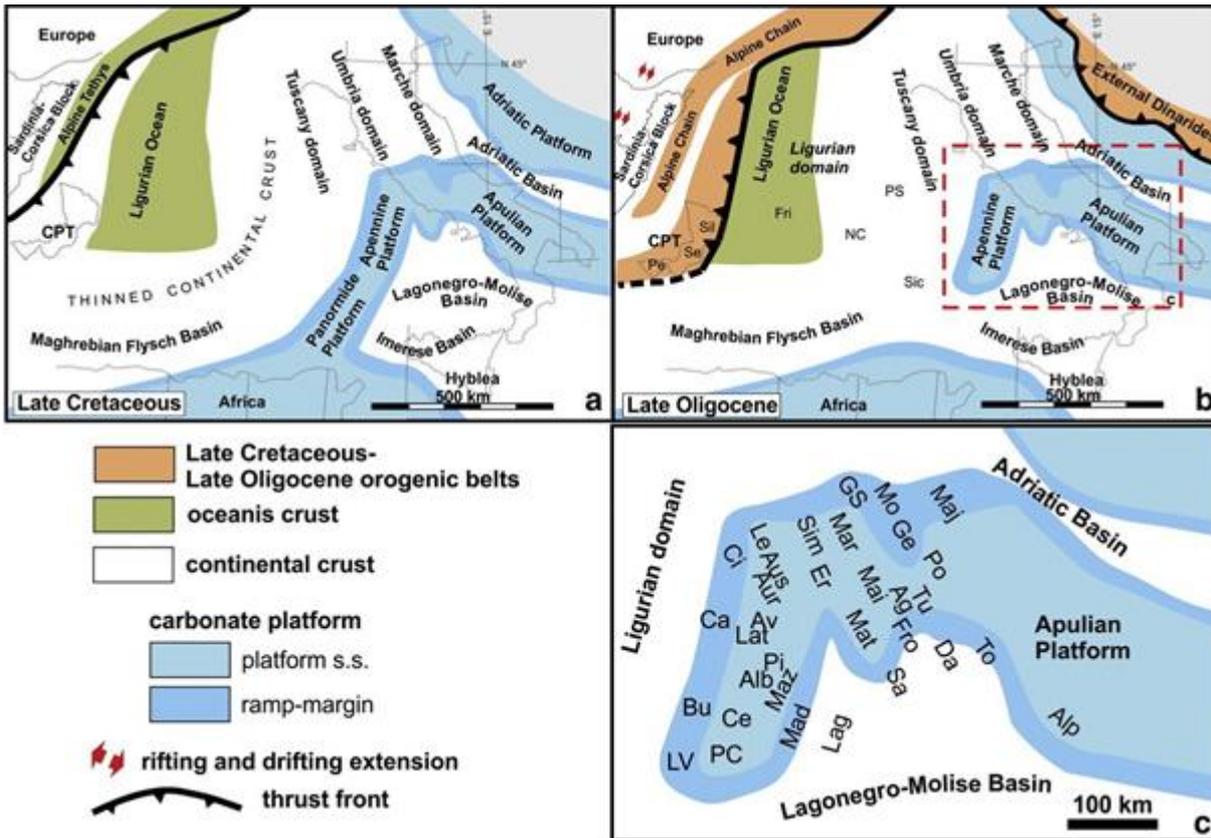


Figura 20 - Ricostruzione paleogeografica del Mediterraneo centro-occidentale; CPT – Arco Calabro-Peloritano (fonte: Handy et al., 2010; Michard et al., 2002; Patacca e Scandone, 2007 modificato da Vitale, 2013)

Tra l'Oligocene e il Miocene inferiore (Figura 21) ha inizio la deriva delle microplacche di Corsica e Sardegna verso sud-est che provoca l'apertura dei bacini di retroarco del Mediterraneo Occidentale, mentre termina la subduzione dei resti di crosta oceanica di Mesogea al di sotto della Placca Europea.

La stessa deriva continua poi per il Miocene medio fino all'attuale deriva intermittente dell'Arco Calabro verso i quadranti sud-orientali, con l'apertura del bacino di retroarco del Tirreno.

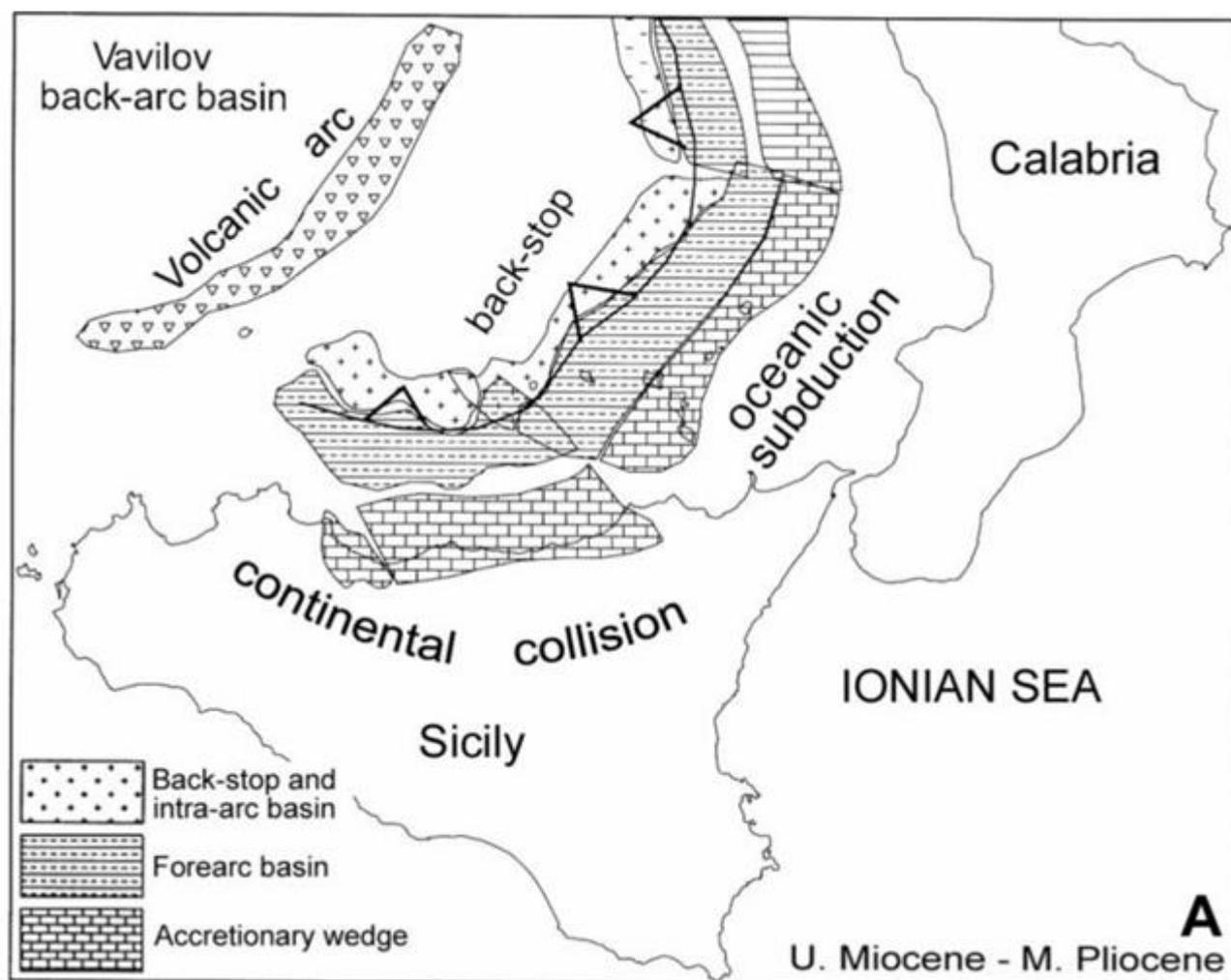


Figura 21 - Evoluzione paleogeografica del sistema arco Calabro-Peloritano nel Miocene superiore - Pliocene Medio (fonte: Vitale e Ciarcia, 2013)

Durante il Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (Figura 22), mentre strutture contrazionali continuano a formarsi al fronte e lungo l'asse della catena, e al retro di essa si apre il bacino Tirrenico, i settori interni dell'Arco Calabro-Peloritano collassano a causa dell'attivazione di faglie normali con direzioni sia longitudinali che trasversali rispetto all'arco, il quale viene frammentato in alti strutturali e bacini sedimentari (Ghisetti, 1979; Monaco et al., 1996; Catalano et al., 1996; Lentini et al., 1994). Le stesse faglie longitudinali generano i bacini del Mesima e di Gioia Tauro in Calabria sud-orientale, quello di Barcellona in Sicilia nord-orientale e quello dello Stretto di Messina tra la Calabria e la Sicilia. In particolare, le faglie bordiere del bacino dello Stretto di Messina mostrano chiara evidenza di attività sin-sedimentaria durante la deposizione marina plio-pleistocenica (Monaco et al., 1996).

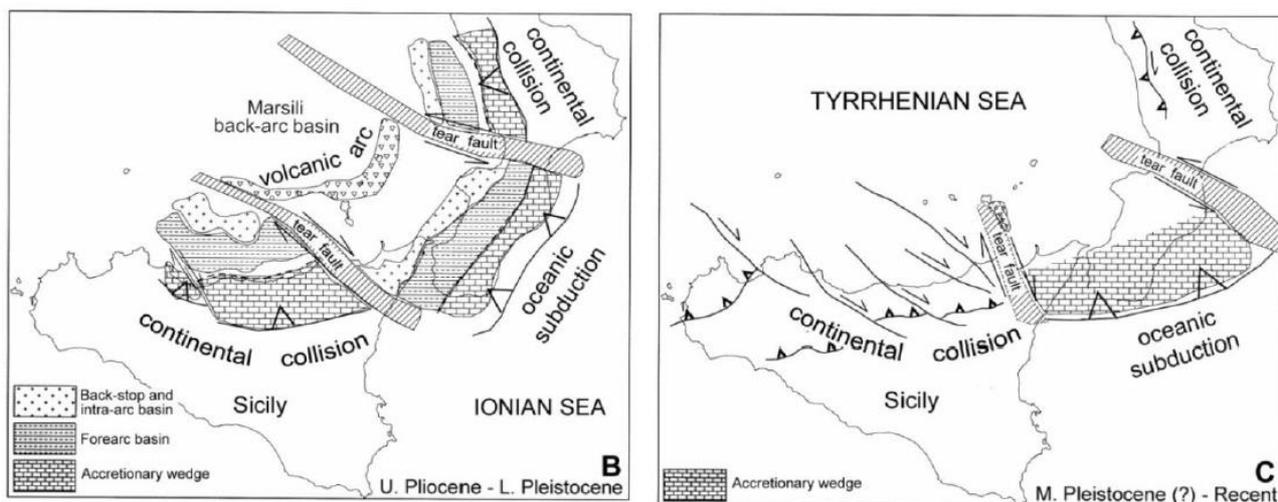


Figura 22 - Ricostruzione Paleogeografica del sistema di avan-arco. (B) Rollback della crosta continentale Africana che causa il collasso del margine Tirrenico verso nord e l'accavallamento della crosta Africana. L'arretramento della linea di subduzione provoca la segmentazione del sistema di avanfossa, guidato da faglie di trasferimento. (C) A partire dal Pleistocene medio, si registra l'attivazione del sistema di faglie Ganzirri-Scilla (ENE-WSW) (Guarnieri e Carbone, 2003). Evoluzione paleogeografica dal tardo Tortoniano al presente (fonte: Vitale e Ciarcia, 2013)

Nell'Arco Calabro-Peloritano, il forte sollevamento tardo-quaternario ha accompagnato un'importante variazione nel regime tettonico correlata con l'arresto o rallentamento del processo di subduzione dello Ionio sotto il dominio Tirrenico. Questo processo ha probabilmente innescato anche la formazione, a partire dal Pleistocene medio, di un *rifting* incipiente dalla costa ionica della Sicilia al settore tirrenico della Calabria, attraverso lo Stretto di Messina. La zona in estensione è costituita da numerosi segmenti di faglia normale ed è marcata da vulcanismo attivo e da forte sismicità crostale che produce terremoti con meccanismi focali prevalentemente normali.

Con il nome di "basamento calabro" si considera l'unione di tutte le unità deformate che costituiscono il basamento su cui si sono depositate le unità trasgressive neogeniche tra il Miocene medio (Langhiano) e l'attuale. Come tale, il "basamento" comprende unità metamorfiche e cristalline, unità di piattaforma carbonatica, unità terrigene, metamorfiche e non. La maggior parte delle unità di basamento affioranti si compone tuttavia di complessi metamorfici ercinici e alpini, con associate sequenze sedimentarie eoceniche e neogeniche inferiori. Lungo il lato interno dell'Arco Calabro, carbonati di piattaforma, simili alle unità alloctone degli Appennini affiorano all'interno di finestre tettoniche al di sotto del basamento.

Molte sono le ipotesi avanzate per spiegare il complesso assetto geologico dell'Arco Calabro tra cui le quattro principali sono:

- Spesso elemento crostale;
- Sottile basamento;
- Semplice sovrascorrimento;
- Basamento alloctono.

La prima ipotesi prevede che la Sila costituisca una zona con uno spesso elemento crostale di basamento che

separa due catene e che si sovrappone alla crosta oceanica ionica. La seconda ipotesi propone che il basamento sia sottile ma molto esteso e si sovrapponga ad una piattaforma carbonatica “Appenninica” o “Apulo-Adriatico-Ionica”. La terza soluzione considera le unità di basamento come un’unità semplicemente sovrascorsa all’interno della catena est-vergente che costituisce la transizione tra gli Appennini e le Maghrebidi. Come quarta e ultima ipotesi (Van Dijk et al., 2000) si considera, infine, il basamento come parte di un’unità alloctona sub-orizzontale che si sovrappone ad una catena già deformata e strutturata e che viene a sua volta incorporata nella deformazione.

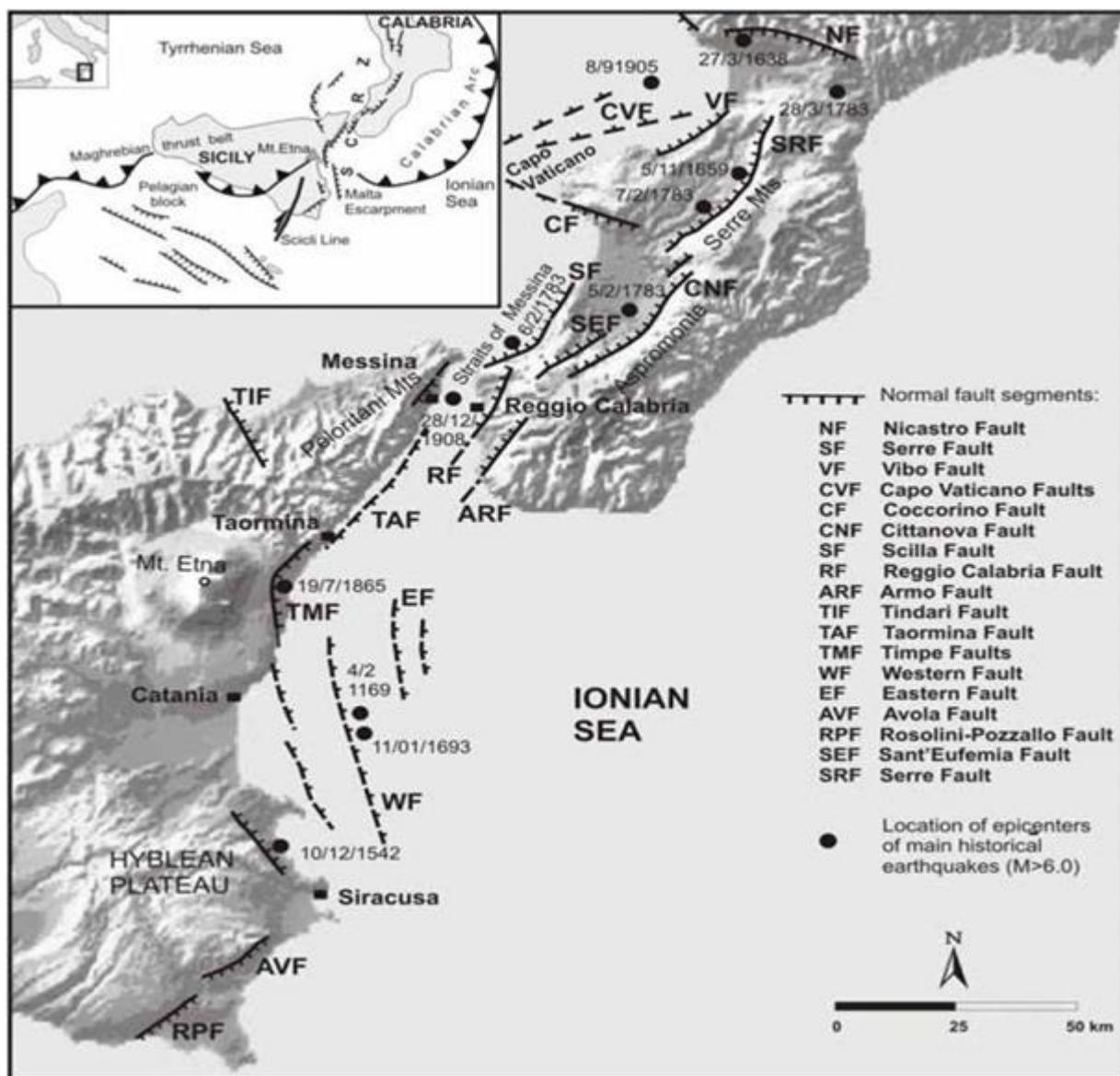


Figura 23 - Carta morfotettonica della Calabria meridionale e Sicilia orientale. È possibile osservare la distribuzione dei numerosi segmenti di faglie normali (fonte: Monaco et al., 2007)

La provenienza delle unità che compongono il basamento è un capitolo ancora aperto e ad oggi non esiste unanimità di pensiero: sono state infatti proposte origini europee “interne” (da nord-ovest), origini africane “esterne” (sud-est) o addirittura legate a microplacche “intermedie”.

La provenienza delle unità del basamento viene considerata in base alla giacitura regionale dello stesso (Figura 24):

- Assumendo un'immersione verso nord-est con vergenza africana la provenienza è europea;
- Assumendo un'immersione verso sud-est con vergenza europea la provenienza è africana.

Altri argomenti che descrivono il basamento sono il fatto che la successione di basamento diventa più completa verso sud-est ed il fatto che il grado di metamorfismo di pressione aumenta verso nord.

L'analisi di questo sistema orogenetico nel suo piccolo può in parte contribuire significativamente alla ricostruzione della complessa storia deformativa delle catene montuose del Mediterraneo centrale.

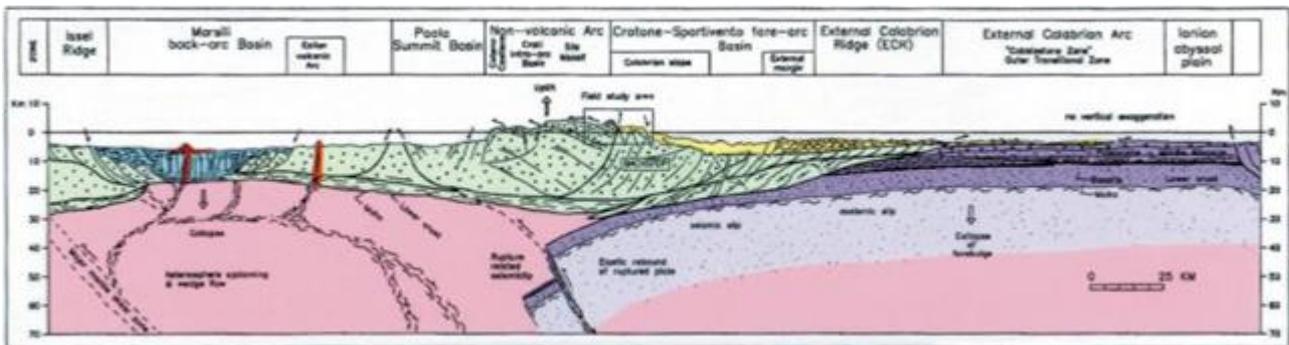


Figura 24 - Sezione geologica crostale che attraversa la Calabria (fonte: Van Dijk et al., 2000)

La costruzione dell'edificio si realizza in due fasi verificatesi fra il Cretaceo superiore e l'Oligocene inferiore in un complesso a falde alpine e metamorfismo delle coltri cristalline che comprende unità ofiolitifere di crosta oceanica. Nel Miocene inferiore si ha il loro sovrascorrimento in toto sulla catena appenninica (Dietrich et al., 1972). La costruzione dell'edificio a falde nella sua forma attuale si completerebbe nel Tortoniano-Messiniano. L'arco Calabro-Peloritano può essere suddiviso in due settori: settentrionale e meridionale, caratterizzati da una storia evolutiva pre-Tortoniana differente. Tali settori vengono a contatto lungo un ipotetico lineamento tettonico orientato grossomodo ENE-WNW che da Capo Vaticano si estende fino a Soverato (Tortorici et al., 1995).

Nella parte settentrionale la geologia è caratterizzata dalla sovrapposizione di una serie di unità cristalline, derivanti dalla deformazione di domini continentali e oceanici, con polarità europea. Queste unità risultano sovrascorse sui terreni carbonatici di piattaforma delle unità appenniniche. Le unità carbonatiche affiorano in finestre tettoniche fino all'altezza della stretta di Catanzaro. I complessi alpini comprendono cinque unità di cui le due più profonde sono unità di ofioliti appartenenti a domini di crosta oceanica, mentre le rimanenti sono porzioni di crosta continentale.

Al di sopra delle unità alloctone e sui depositi terrigeni sin-orogenetici, giacciono sedimenti sia marini che continentali, riferibili a più cicli tettono-sedimentari e correlabili con le diverse fasi del progressivo smembramento della catena.

Dal punto di vista cinematico, invece, i limiti dell'Arco Calabro vengono, dagli autori, identificati con la Linea del Pollino al margine settentrionale e con la Linea Tindari-Giardini a quello meridionale sono interpretati come due grandi "binari" litosferici a scorrimento rispettivamente sinistro e destro che hanno consentito di guidare l'espansione tortoniano-pleiocenica del bacino tirrenico e lo scorrimento verso E-SE dell'Arco rispetto

alle aree stabili siciliana-africana ed appenninica-adriatica (Patacca et al., 1989).

La Linea Tindari-Giardini, o Linea di Vulcano, invece, viene interpretata come una faglia trascorrente con cinematica destra, identificata con la Linea di Taormina attiva durante le fasi tettoniche plio-pleistoceniche (Finetti et al., 1996).

Il settore settentrionale è caratterizzato da una deformazione che inizia nel Cretaceo superiore, che porta alla costruzione della Catena Alpina e continua fino alla completa costruzione della Catena Appenninica. La parte settentrionale dell'Arco rappresenterebbe la porzione più meridionale della Catena Appenninica.

La Sila e la Catena Costiera sono costituite da un edificio a falde formate da sequenze ofiolitiche mesozoiche, rocce di basamento cristallino di età da pre-ercinica ad ercinica intrusa da plutoniti tardo-erciniche. Le rocce del basamento cristallino hanno subito una lunga e complessa evoluzione che le ha viste coinvolte sia nelle orogenesi pre-Alpine sia in quella Alpina, quando sono state separate dalla parte meridionale della placca Iberica ed impilate, a partire dall'Oligocene superiore, sulla placca Adria.

L'edificio a falde della Calabria settentrionale, in letteratura, viene suddiviso in tre elementi principali in cui sono state distinte differenti "Unità tettonometamorfiche" (Amodio Morelli et al., 1976; Scandone, 1982; (Figura 25).

Il primo elemento (più profondo) della successione è formato da rocce carbonatiche di età mesozoica e dal relativo basamento Paleozoico di basso grado, la cui appartenenza al paleomargine Africano o Europeo è ancora dibattuta (Alvarez, 1976; Dewey et al., 1989). Quest'elemento è stato coinvolto nel Miocene inferiore nella collisione tra la placca Iberica e quella Africana ed attualmente costituisce la catena appenninica Africa-vergente.

Un altro elemento si trova in termini tettonostratigrafici in una posizione intermedia, ed è composto da due Unità ofiolitiche/ofiolitifere mesozoiche che rappresentano i resti dell'oceano neo-Tetideo (Lanzafame et al., 1979; Guerrera et al., 1993). Queste Unità sono state coinvolte nei processi di subduzione seguiti da collisione continente-continente. I dati strutturali e stratigrafici (Alvarez, 1976; Cello, 1996) indicano che questi processi sono stati attivi durante il pre-Luteziano con polarità europea e con una direzione di trasporto tettonico verso W-NW.

Infine, l'ultimo elemento, localizzato in posizione geometricamente più elevata, è costituito da una sezione continua di crosta continentale strutturatasi in età tardo-Ercinica con relative coperture sedimentarie Mesozoiche (Unità di Longobucco), interessata da deformazioni esclusivamente fragili a partire da 23 milioni di anni. Non esiste accordo generale sul significato e sulla posizione paleogeografia di questo elemento.

Secondo differenti interpretazioni è possibile:

- Si tratti del margine Europeo della Neo-Tetide (Ogniben, 1973; Dewey et al., 1989; Knott, 1987, 1994);
- Si tratti di una parte del dominio Austroalpino della placca Africana (Haccard et al., 1972; Alvarez, 1976; Amodio Morelli et al., 1976; Scandone, 1979, 1982; Bonardi et al., 1988);
- Sia il basamento e copertura di un microcontinente posto tra i continenti Europeo e Africano (Guerrera et al., 1993; Cello et al., 1996);

- Sia il prodotto dell'accrezione di tre microzolle crostali.

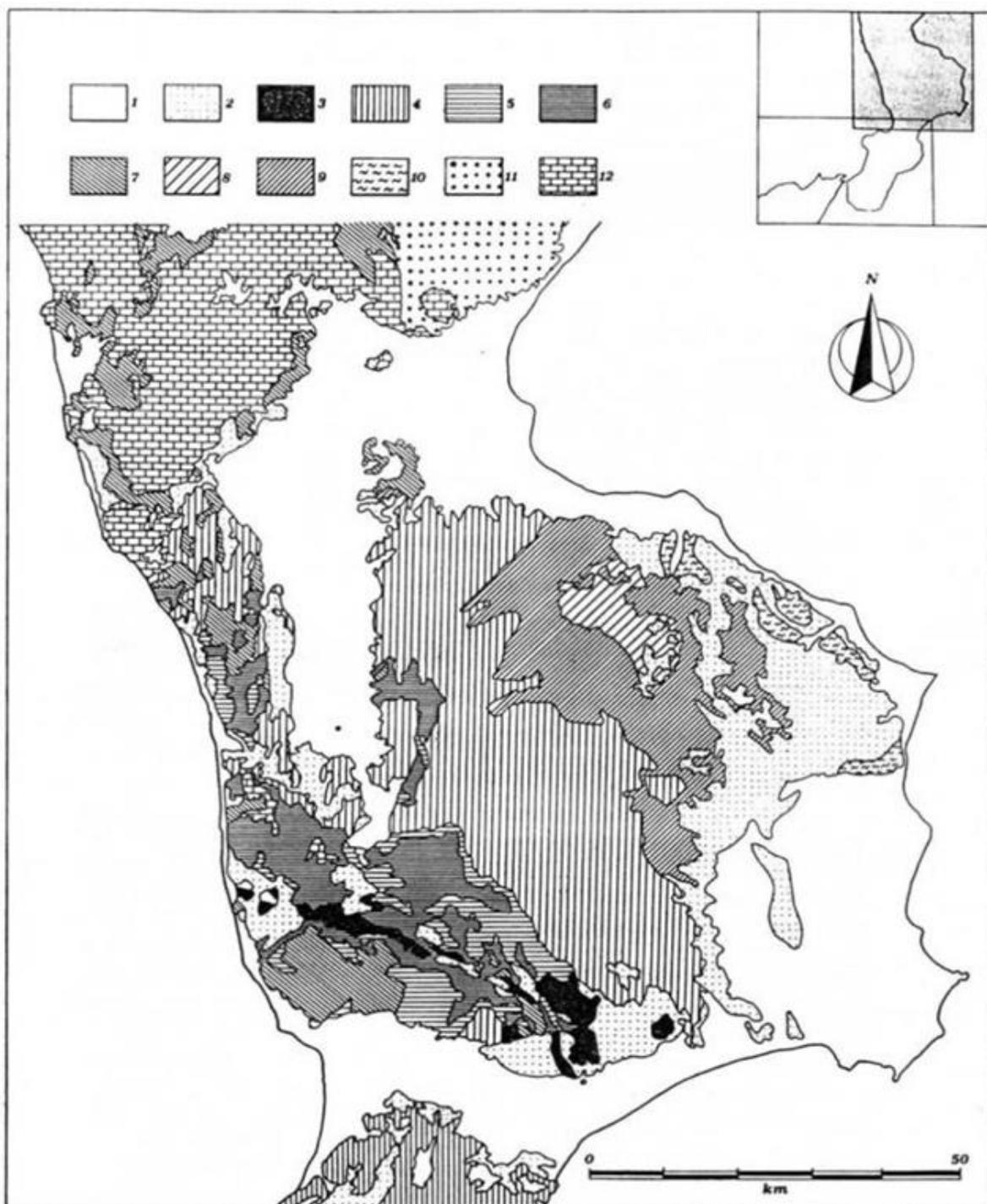


Figura 25 - Schema geologico-strutturale del settore settentrionale dell'Arco Calabro; 1 = sequenze medio-suprapliocenico-pleistoceniche; 2 = sequenze tortoniano-infraplioceniche; 3 = Unità di Stilo; 4 = Unità di Polia-Copanello; 5 = Unità di Castagna; 6 = Unità di Bagni; 7 = Unità ofiolitifere (Unità del Frido + Unità ofiolitifera superiore); 8 = Unità di Longobucco, basamento; 9 = Unità di Longobucco, copertura; 10 = Unità sicilidi; 11 = Unità del Cilento; 12 = Unità carbonatiche della catena appenninica (fonte: Tortorici, 1982)

Relazioni tra Catena Appenninica e Arco Calabro

L'analisi tra le diverse unità stratigrafico-strutturali e le relazioni tra la catena Appenninica e l'Arco Calabro, è stata in gran parte eseguita attraverso l'interpretazione di lunghe linee sismiche condotte negli anni a carattere regionale.

La linea “CROP M-5” illustra, infatti, i termini di passaggio tra un’area fortemente deformata tipica di Catena ed una decisamente meno, procedendo verso est. La linea si sviluppa, in direzione NE-SW, dal settore meridionale della dorsale pugliese-salentina fino alle coste orientali calabresi (Merlini et al., 2000;_Figura 27).

Dalle interpretazioni degli stessi autori si riconoscono, procedendo verso ovest, i caratteri peculiari dei tre domini: un avampaese costituito dalla dorsale Apula, un’avanfossa sottoalimentata nella fossa di Taranto e un prisma di accrezione attivo frontale.

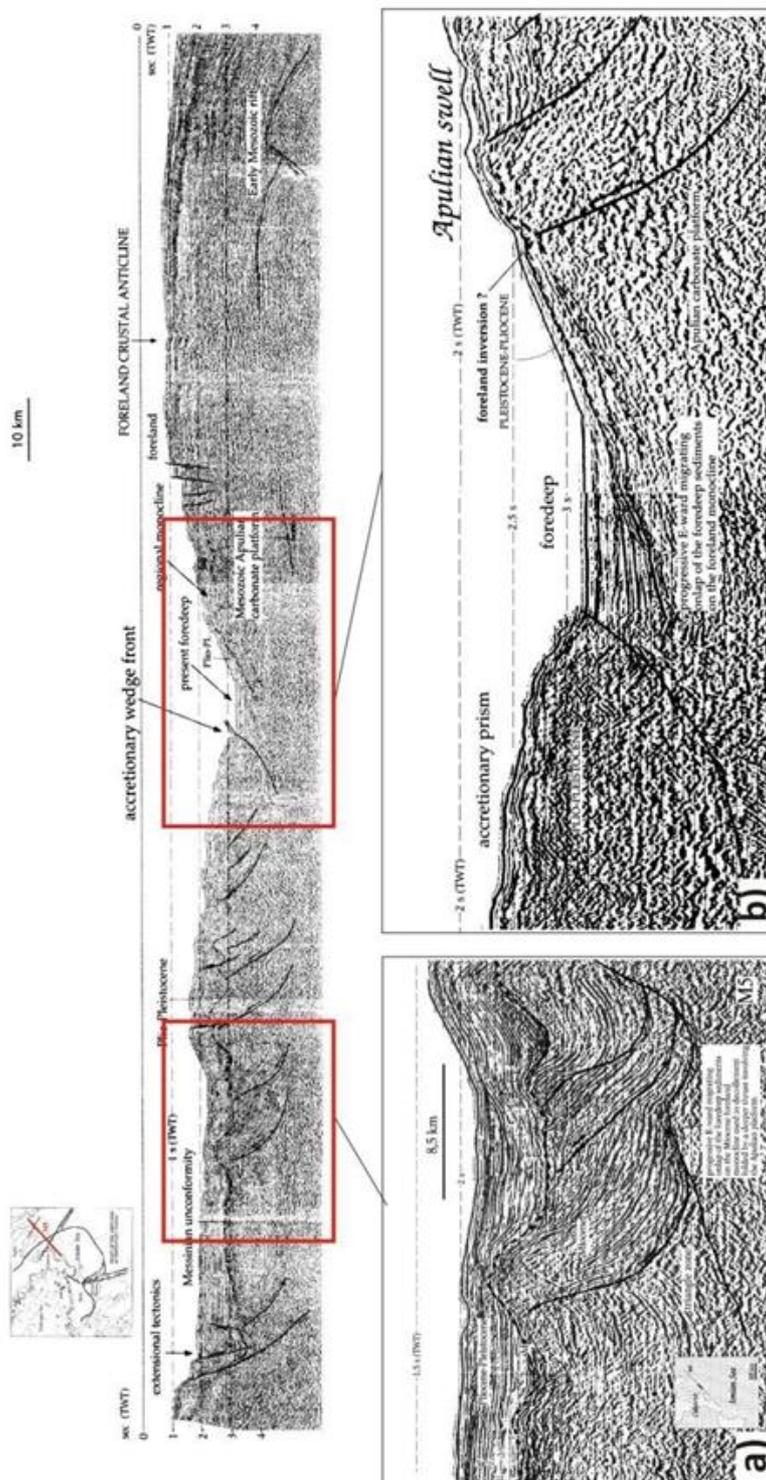


Figura 27 - Linea sismica regionale “CROP M-5” nello Ionio lungo l’intero sviluppo della Catena Appenninica; a) settore di Catena; b) settore di Avanfossa e Avampaese (fonte: Merlini et al., 2000)

Nel riquadro in Figura 27(a) è messa in evidenza la zona di catena, con la presenza di frequenti strutture a triangolo nel prisma di accrezione e di precedenti depositi di avanfossa incorporati nel prisma; il tutto si presenta deformato e ricoperto da sedimenti di bacini satellite.

Dalla sezione sismica di Figura 27 si osserva un tratto dell’anticlinale crostale-litosferica larga 100 chilometri

che costituisce l'avampaese, che passa poi gradualmente verso ovest al settore di avanfossa dove è presente sia il margine del cuneo di accrezione sia una monoclinale regionale inclinata di circa 8° (Figura 27 b).

Il complesso Calabro-Lucano è stato interpretato nel suo insieme come il resto di un cuneo di accrezione legato ai processi di subduzione paleogenica della crosta oceanica della Neotetide al di sotto del dominio calabro (Knott, 1987; 1994). L'età delle diverse *litofacies* permette di riferire questa unità litostratigrafica al Giurassico Superiore-Oligocene.

In termini evolutivi, le diverse unità tettoniche affioranti nell'Appennino Calabro-Lucano mostrano una serie di strutture che hanno registrato in modo completo l'intera storia deformativa legata alla convergenza Africa-Europa la quale, a partire dal Cretaceo Superiore, ha portato alla costruzione della catena Appenninica. L'intera area presenta una geometria a *duplex*, con un *thrust* di tetto che delimita le falde alloctone d'origine neotetidea (Unità Sicilide e nord-Calabrese) in ricoprimento su una serie di unità del paleomargine Apulo distaccate tramite un *thrust* di letto dal relativo basamento.

La storia evolutiva e deformativa può essere riassunta in quattro stadi principali (Monaco e Tortorici, 1996):

1. In partenza, le unità nord-Calabrese e Sicilide rappresentano rispettivamente porzioni interne ed esterne di un cuneo d'accrezione cretaceo-paleogenico apulo-vergente legato alla subduzione dell'oceano Neotetideo al di sotto del margine calabride. I *thrust* indicano una generale direzione di trasporto verso l'attuale NE e pieghe asimmetriche di varie dimensioni con orientazioni attorno a $N120-130^\circ E$ e vergenza verso NE. Tutti gli eventi deformativi sono datati in un arco di tempo che va dal Cretaceo Superiore al Miocene inferiore.
2. Successivamente, le strutture alterano gli originari rapporti stratigrafici tra terreni ofiolitiferi, Argille Varicolori inferiori e relative coperture terrigene oligo-mioceniche. Queste hanno causato la sovrapposizione, con vergenza NE, del complesso Calabro-Lucano sulla formazione del Saraceno e l'accavallamento retrovergente dell'Unità Sicilide sull'Unità Nord-Calabrese. Le pieghe hanno assi $N130-140^\circ E$ e piani assiali di poco immergenti verso SW. Verso l'alto stratigrafico altre strutture tipo pieghe *kink bands* mostrano assi asimmetrici orientati $N120-140^\circ E$, i cui piani sono immergenti di $60-80^\circ$ verso SW. Le strutture di questo stadio deformano le coperture terrigene tardo oligoceniche-inframioceniche delle Unità Sicilide e nord-calabrese. Il *thrust* basale del cuneo d'accrezione si è invece propagato verso le aree frontali della catena interessando anche sedimenti intrapleistocenici (Agip, 1977; Mostardini & Merlini, 1986; Cello et al. 1989).
3. Durante il terzo stadio, si formano le strutture di raccorciamento più recenti presenti nella regione. Queste sono faglie trascorrenti sinistre orientate WNW-ESE che interessano il substrato carbonatico e i terreni alloctoni sovrastanti. Tali strutture sono costituite da diversi segmenti e formano un'intera fascia deformativa con lineamenti le cui geometrie sono strettamente controllate dalle litologie coinvolte e dalle strutture preesistenti.
4. Nell'ultimo e quarto stadio si possono collocare le morfologie che meglio chiariscono i rapporti tra i diversi domini tettonici presenti nella regione. Questo stadio risulta caratterizzato da un'estensione orientata NE-SW che provoca l'attivazione di faglie normali orientate NW-SE. Le strutture recenti del settore settentrionale dell'Arco Calabro sono invece rappresentate da faglie normali tardo- quaternarie sismogenetiche, caratterizzate da assi tensili orientati WNW-ESE (Tortorici et al., 1995).

In questo modo è stato possibile ricostruire i principali stadi evolutivi del settore meridionale della catena Appenninica a partire dalle prime fasi della chiusura oceanica della Tetide fino agli ultimi stadi della collisione continentale.

Le strutture presenti testimoniano un'evoluzione di processi avvenuti in modo graduale con un costante trasporto tettonico verso l'attuale NNE permettendo di escludere, per questo settore appenninico, la presenza di una catena Eoalpina a vergenza europea, coinvolta successivamente nella costruzione dell'orogene appenninico Africa-vergente.

Nel dettaglio, le unità nord-calabrese e Sicilide forniscono dati sullo stadio di chiusura oceanica e sulle prime fasi della collisione continentale (Monaco et al., 1998; Catalano et al., 2004). Le caratteristiche strutturali di queste unità suggeriscono come esse abbiano subito una deformazione progressiva, a differenti livelli crostali, da collegare a processi di subduzione prossimali ad un margine continentale. Le strutture più antiche (primo stadio) sono legate a processi sviluppatasi sulla porzione più superficiale del cuneo di accrezione tra il Cretaceo Superiore-Eocene e l'Oligocene superiore. La deformazione del cuneo di accrezione ha generato la formazione di un *mélange* nel complesso Calabro-Lucano. Nei bacini più o meno profondi delimitati dagli alti strutturali del cuneo di accrezione sarebbe avvenuta la sedimentazione di successioni torbiditiche.

Gli eventi deformativi successivi (secondo stadio) sarebbero avvenuti in regime di collisione continentale con la formazione di una serie di pieghe e scaglie tettoniche a vergenza nord-orientale, delimitate da sovrascorrimenti sviluppatasi a partire da un unico *thrust* migrante verso i domini più esterni dell'avampaese Apulo, progressivamente tra il Miocene medio ed il Pleistocene inferiore.

Le strutture del terzo stadio si sarebbero sviluppate durante l'ultima fase dei processi collisionali nel Pleistocene medio. Durante questa fase un ruolo di primaria importanza sembra essere stato svolto dal forte spessore crostale, che avrebbe inibito l'ulteriore propagazione verso zone più esterne del sistema a *thrust*, favorendo invece l'attivazione di strutture trascorrenti.

Le fasi estensionali finali chiuderebbero, a partire dal Pleistocene medio (Westaway, 1993; Hippolyte et al., 1994), il ciclo orogenetico accomodando le deformazioni legate al sollevamento finale della catena.

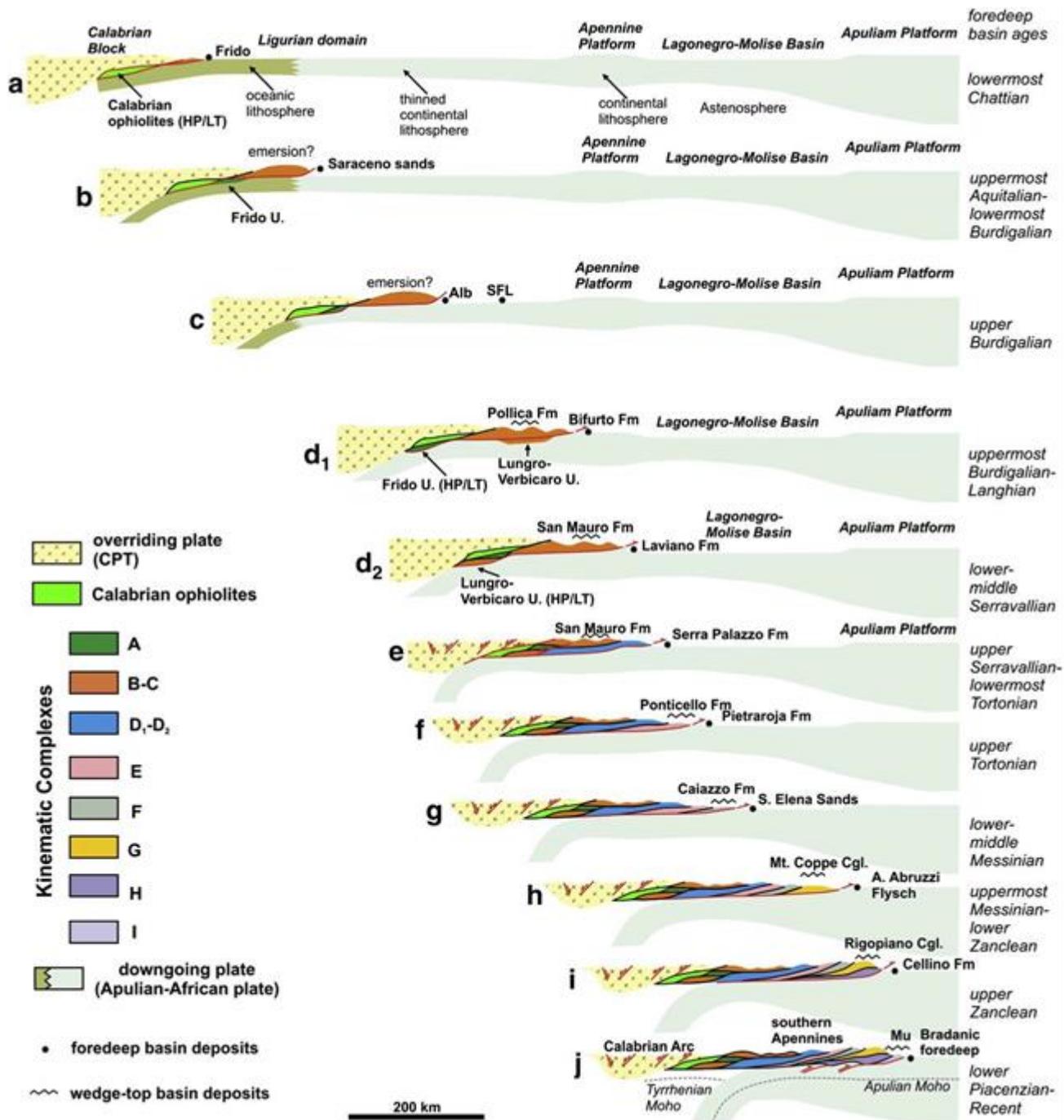


Figura 28 - Evoluzione tettonica del sistema Appenninico meridionale e dell'arco Calabro dal tardo Oligocene all'attuale (fonte: Vitale e Ciarcia, 2013)

6.2.3.1 STRATIGRAFIA DELL'AREA

L'area individuata per il posizionamento del Terminale Off-Shore di ricezione del GNL si trova nel Mar Ionio, più precisamente nel bacino di Crotona a ridosso delle coste della Calabria. In questo settore si è sviluppata ed è tuttora in atto un'evoluzione geodinamica importante data, come descritto, dalle collisioni tra le placche di Africa e Adria e/o dal promontorio Apulo e la placca Europea (Viti et al., 2011).

A caratterizzare l'area del Bacino di Crotona, nella regione Calabria, è il sistema Calabro-Peloritano, delimitato dalla linea di Sangineto a nord e da quella di Taormina a sud, rappresentante l'unità alloctona

dell'intero settore in oggetto.

Dal punto di vista stratigrafico, al fine di avere un quadro chiaro e completo sull'area in studio, verranno illustrate le sequenze sedimentarie schematiche principali presenti nei diversi domini citati (Figura 4.18) ed in seguito saranno descritte in modo più dettagliato quelle presenti nell'*off-shore* di Crotona.

Il dominio Calabro-Lucano nel suo insieme mostra caratteristiche di *mélange* (Hsu, 1968), formato da una successione pelitico-calcareo-arenacea, non metamorfica. All'interno di questa unità sono state individuate unità differenti, con contatti generalmente tettonizzati, costituite da sequenze ofiolitiche con la relativa copertura pelagica, lembi di successioni terrigene riferibili alla formazione Crete Nere (sequenza di argilliti nere, tipo *black shale*), oltre a livelli di calcari siliciferi e di vulcanoclastiti a detrito andesitico.

Queste unità affiorano estesamente nel settore sud-occidentale del foglio "Trebisacce" dove con un contatto tettonico poggiano sull'Unità del Pollino in discordanza stratigrafica dalle successioni torbiditiche delle formazioni del Saraceno e di Albidona. Poco ad ovest dell'area del Foglio "Trebisacce", il complesso Calabro-Lucano è ricoperto tettonicamente dalla Sottounità del Frido, mentre nel settore centro-occidentale sovrascorre sulla formazione del Saraceno, lungo un contatto che si estende dal Timpone Rotondella a Serra di Paola.

Si riconosce inoltre un'alternanza pelitico-calcareo-arenacea corrispondente alla porzione non metamorfica del *Flysch* argillitico-quarzoso-calcareo. La successione stratigrafica non è facilmente ricostruibile a causa della caoticità legata sia ai processi tettonici che ai fenomeni gravitativi superficiali che caratterizzano l'intero Appennino Calabro-Lucano. Si tratta di un'alternanza di prevalenti argilliti scagliettate grigio-brune o verdastre con intercalati livelli torbiditici spessi da pochi centimetri al metro di quarzosiltiti e arenarie quarzose a granulometria generalmente fine di colore grigio-verde, di calcilutiti e calcisiltiti gradate risedimentate, di colore grigiastro.

Sono presenti livelli di *slumps*, potenti fino a 10 metri, costituiti da alternanze di marne grigio-verdi ed arenarie gradate a granulometria medio-fine. La successione terrigena, caratterizzata da un discreto spessore degli strati calcarei ed arenacei, è riferibile nel complesso ad un ambiente di fossa prossimale a margini continentali (Dickinson e Seely, 1979), come suggerito pure dalla composizione delle arenarie, classificabili come quarzareniti e subarcosi (Critelli, 1991; Critelli e Monaco, 1993).

Il complesso Calabro-Lucano mostra la presenza di ofioliti che conservano talora l'originaria copertura sedimentaria (Vezzani, 1968; Lanzafame et al., 1978). Le ofioliti si presentano come gabbri eufotidi, basalti a *pillow* e breccie di *pillow*, rare serpentiniti, con sporadici resti dell'originaria copertura sedimentaria. I blocchi ofiolitici ed i sedimenti adiacenti sono accomunati dal fatto che le ofioliti calabro-lucane rappresentano frammenti dell'originaria crosta oceanica della Tetide giurassica, costituendo pertanto la base dell'intera successione del complesso Calabro-Lucano.

I termini effusivi della successione ofiolitica (lave a *pillow* e breccie di *pillow*) sono i litotipi più comuni, affioranti in quasi tutte le località con spessori di alcuni metri. I *pillow* hanno dimensioni variabili dal decimetro fino a circa 2 metri e sono cementati da una matrice ialoclastica a granulometria medio-grossolana. Le breccie, costituite da elementi tra il centimetro e il decimetro di colore nero-rossastro, sono invece cementate da una matrice costituita da ialoclastiti e da materiale sedimentario marnoso-calcareo che riempie anche tasche

lenticolari di dimensioni decimetriche. Talora, questi livelli effusivi sono interessati da filoni, spessi fino a 1 metro, di diabasi afirici di colore verdastro.

I gabbri di tipo eufotide e mostrano tracce di stratificazione composizionale data da un'alternanza di orizzonti più o meno ricchi in cristalli di pirosseno. Negli affioramenti più integri sono inoltre attraversati da un sistema di filoni decimetrici di diabasi a grana fine contenenti fenocristalli di plagioclasio (Lanzafame et al., 1978).

Resti dell'originaria copertura sono associati alle rocce ofiolitiche in quasi tutti gli affioramenti. Sono costituiti da radiolariti rosse e verdi, sottilmente stratificate, perfettamente correlabili con quelle affioranti a Timpa delle Murge dove si presentano in perfetto contatto stratigrafico sui basalti a *pillow*. Le radiolariti sono state datate Oxfordiano (Marcucci et al., 1987).

La Formazione di Timpa delle Murge evidenzia come la deposizione supragiurassica sia avvenuta in un ambiente a bassissimo tasso di sedimentazione, probabilmente un *plateau* oceanico (Ben Avraham e Nur, 1982), in seguito invaso dai depositi terrigeni del complesso Calabro-Lucano.

La *litofacies* a calcari siliciferi stratificati forma corpi di estensione variabile da pochi metri a qualche centinaio di metri affioranti lungo tutto il crinale dei Colli Spinapulce, in contatto generalmente tettonizzato con l'alternanza pelitico-calcareo-arenacea. Si tratta di calcilutiti e calcisiltiti marnose silicizzate grigio-biancastre, a grana finissima e frattura concoide, in strati da 10 centimetri a mezzo metro, con sottili interstrati di argilliti grigiastre.

Il complesso Calabro-Lucano è stato interpretato, nel suo insieme, come il resto di un cuneo di accrezione legato ai processi di subduzione paleogenica della crosta oceanica della Neotetide al di sotto del dominio calabro (Knott, 1987; 1994). L'età delle diverse *litofacies* permette di riferire questa unità litostratigrafica al Giurassico Superiore-Oligocene.

Bacino di Crotona

Concentrandosi nell'area del Bacino di Crotona, in prossimità del quale sono presenti anche i due pozzi presi in considerazione per meglio descrivere la stratigrafia *off-shore*, si nota che il bacino è strutturalmente formato da un esteso sistema di *semigraben* a ribassamento orientale ed una geometria tipo *piggy-back*. Si configura come un bacino interposto tra l'altopiano della Sila ed il sistema dei *thrust* esterni che compongono il cuneo di accrezione attivo nell'*off-shore* ionico (Figura 29).

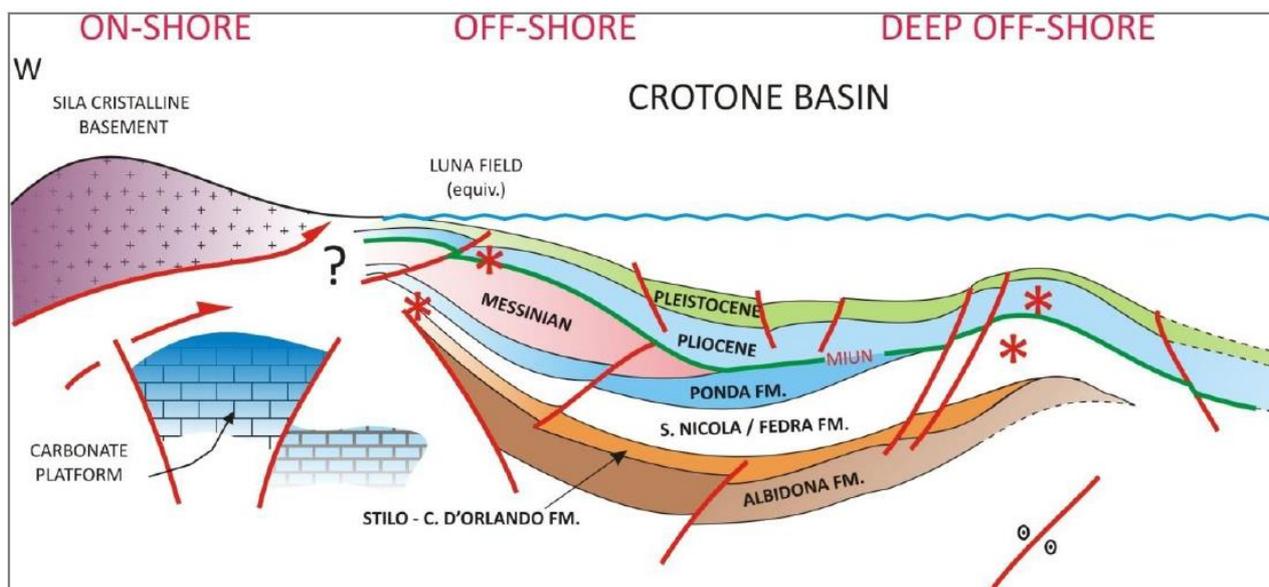


Figura 29 - Sezione stratigrafica del Bacino di Crotona (con le relative formazioni presenti; in rosso le faglie e in asterisco i principali target)

La continuità dei depositi del Bacino è interrotta da un imponente sistema di faglie trascorrenti E-W in corrispondenza della dorsale di San Nicola dell'Alto, attive con rigetti di molte centinaia di metri dopo il Messiniano e ancora nel Pleistocene. A sud di tale struttura affiorano i terreni più recenti (Messiniano-Pleistocenici) mentre nel settore orientale sono rappresentati i depositi più profondi (Serravalliano-Messiniani).

A grande scala, la successione stratigrafica è composta da una serie di cunei detritici formati da materiale cristallino e metamorfico alimentato dall'area silana, che sfumano progressivamente, procedendo verso le coste ioniche, in successioni arenacee e calcarenitiche, quindi marnoso-calcaree ed infine pelitiche nei settori orientali. Le diverse sequenze sedimentarie sono separate da evidenti superfici di non-conformità che passano, procedendo verso il mare aperto, in alternanze di depositi arenacei e pelitico-marnosi.

Le sequenze deposizionali riconoscibili nel Bacino possono essere distinte in due gruppi principali, il primo, pre-Tortoniano ed il secondo del Tortoniano-Messiniano inferiore. Il primo è caratterizzato da potenti sequenze di depositi terrigeni, derivati da eventi di alta energia gravitativa (torbiditi, olistoliti), controllati da movimenti rapidi di subsidenza tettonica e da un'abbondante produzione di materiale da parte della catena. Il secondo, separato dal primo da un'importante fase erosiva, è invece caratterizzato da bassi tassi di sedimentazione di tipo terrigeno e dalla dominanza di *facies* organogene.

Ulteriori depositi presenti, relativi al Messiniano, sono quelli evaporitici, distribuiti in questo arco di tempo in tutto il Mar Mediterraneo come risultato di continui cicli di evaporazione dello stesso, causa l'abbassamento del livello marino e quindi chiusura dello Stretto di Gibilterra (Foglio 561, San Giovanni in Fiore, Progetto CARG).

La successione che sembra essere presente nell'*off-shore* del Bacino di Crotona è la seguente:

- Formazione di Albidona (Eocene): costituita da torbiditi distali ben cementate;
- Formazione di Stilo-Capo D'Orlando (Oligocene-Miocene inferiore): nella parte inferiore sono

presenti conglomerati fluviali/alluvionali, arenarie e marne, mentre nella parte superiore sono registrate torbiditi conglomeratiche e arenarie;

- Formazione di Fedra (Langhiano): depositi deltaici poligenici e grossolani;
- Formazione di San Nicola (Serravalliano): arenarie grossolane di ambiente marino tipo shallow su depositi di debris flow caotici e argilliti di ambiente distale. Si registra un fining-upward oltre i 2000 metri.
- Gruppo del Ponda (Serravalliano superiore-Tortoniano inferiore): argilliti con torbiditi di granulometria arenacea.

Oltre a queste unità sedimentarie si distinguono inoltre:

- Depositi Pre-Evaporitici (Messiniano inferiore): formati da torbiditi e depositi gessosi;
- Depositi Evaporitici (Messiniano medio-superiore): costituiti da depositi clastici ed evaporitici;
- Depositi Post-Evaporitici (Messiniano superiore): con arenarie di ambiente deltaico e argilliti.

Come ultima Formazione, datata Pliocene inferiore-Pleistocene, si trovano le Argilliti di Crotona, composte da conglomerati, torbiditi arenacee e argilliti.

7 GESTIONE DELLE MATERIE

7.1 SUDDIVISIONE DEI VOLUMI DI SCAVO

I volumi di scavo risultano come prodotto di tre tipologie principali di movimento terre:

- Scavi a sezione obbligata;
- Scavo a larga sezione;
- Trivellazione pali di Fondazione serbatoi;

Gli scavi a sezione obbligata comprendono tutte le operazioni relative all'adeguamento ed alla realizzazione delle condotte previste in progetto.

I quantitativi sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 2 – Riepilogo dei volumi relativi alle operazioni di scavo a sezione obbligata

SCAVI A SEZIONE OBBLIGATA	Volume (mc)
Rete acque meteoriche	1.973,89
Rete elettrica	1.338,68
Impianto di illuminazione	43,86
Rete idrica impianto	32,88
Rete fognaria impianto	65,74
Rete idrica industriale	56,04
Canaletta recupero GNL	76,44
Totale	3.587,53

Gli scavi a larga sezione comprendono gli ingenti movimenti terre derivanti dalla realizzazione delle opere fondazionali previste e dallo scavo della trincea per il passaggio delle tubazioni criogeniche.

Tabella 3 - Riepilogo dei volumi relativi agli scavi a larga sezione.

SCAVI A LARGA SEZIONE	Volume (mc)
Fondazioni serbatoi	2.646,00
Vasche	684,50
Opere edili	1.071,95
Fondazione torcia	13,50
Rete acque meteoriche (pozzetti)	728,00
Impianto di illuminazione (fondazioni pali e pozzetti)	18,00
Viabilità interna all'impianto	2.654,06
Trincea rete criogenica (condotta terrestre)	13.600,00
Totale	21.416,01

Le trivellazioni necessarie per la realizzazione dei pali gettati in opera nella realizzazione delle fondazioni dei serbatoi di stoccaggio del GNL comporteranno la produzione di materiali eterogenei comprendenti, terreno vegetale e sabbie mediamente addensate, nei riporti dei primi metri di scavo (da 0,00 a 2,20 m), oltre a sedimenti limo-argillosi da depositi eluvio-colluviali, che ricoprono nella parte sommitale la formazione argillosa “Argille marnose di Cutro”, caratterizzanti i materiali profondi presenti nel settore in esame.

Tabella 4 - Riepilogo del volume relativo alle opere di trivellazione per la realizzazione dei pali di Fondazione dei serbatoi di stoccaggio

<i>TRIVELLAZIONE PALI DI FONDAZIONE</i>	<i>Volume (mc)</i>
SCAVI A LARGA SEZIONE	423,90
	423,90

Il bilancio dei movimenti terre, esposto nel Quadro di Riferimento Progettuale riporta i seguenti risultati

Tabella 5 - Riepilogo dei volumi relativi agli scavi e al movimento terre

<i>SCAVI MOVIMENTO TERRE</i>	<i>mc</i>
FONDAZIONE SERBATOI	2.646,00
TRIVELLAZIONE PER PALI DI FONDAZIONE	423,90
VASCHE	684,50
OPERE EDILI	1.071,95
VIABILITÀ INTERNA	2.654,06
FONDAZIONE TORCIA	13,50
RETE RACCOLTA ACQUE METEORICHE	2.701,89
RETE ELETTRICA	1.338,68
ILLUMINAZIONE	61,86
RETE IDRICA IMPIANTO	32,88
RETE FOGNARIA IMPIANTO	65,74
RETE INDUSTRIALE	56,04
CANALETTA RECUPERO GNL	76,44
TRINCEA RETE CRIOGENICA	13.600,0
	25.427,44

7.2 SUDDIVISIONE DEI MATERIALI E PROCESSI DI PRODUZIONE E IMPIEGO

In fase di realizzazione delle opere, nelle operazioni di scavo potranno essere asportati:

- terreno vegetale nei riporti dei primi metri di scavo (da 0,00 a 1,50 m);
- sabbie mediamente addensate, nei riporti dei primi metri di scavo (da 1,50 a 2,20 m);
- sedimenti limo-argillosi da depositi eluvio-colluviali, che ricoprono nella parte sommitale la formazione argillosa “Argille marnose di Cutro”, caratterizzanti i materiali profondi presenti nel settore in esame. Potrebbero essere interessati dai movimenti-terre relativi alle opere di trivellazione necessarie per la realizzazione dei pali di fondazione dei serbatoi di stoccaggio del GNL.

Non si prevede il riutilizzo dei materiali provenienti dagli scavi.

Tutti i materiali residui dalle operazioni di scavo e demolizione verranno trasportati nell'area di deposito prevista all'interno del cantiere e stoccata in un apposito settore contrassegnato dal codice CER di appartenenza.

La figura sottostante mostra il layout di cantiere, come riportato negli elaborati progettuali.

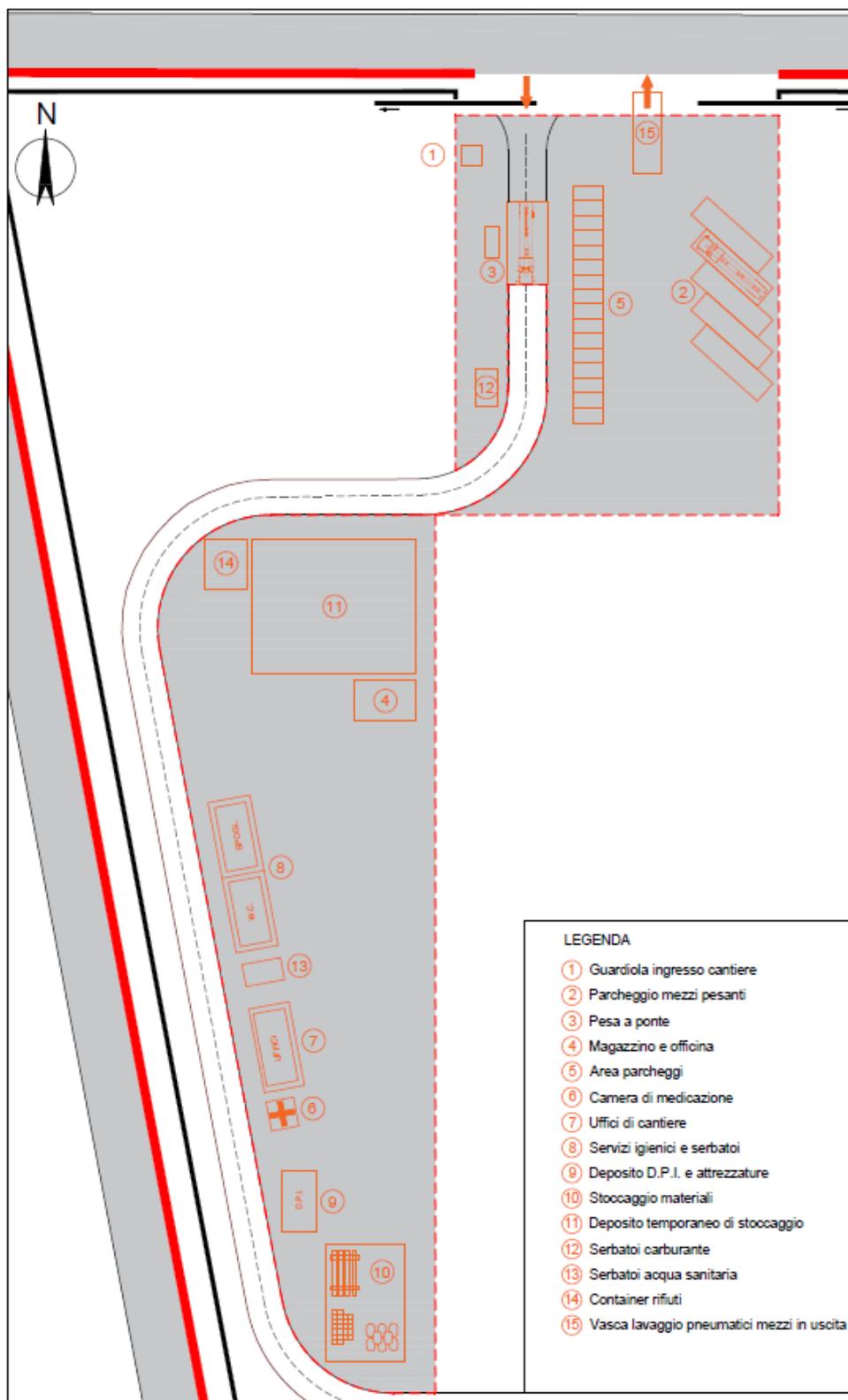


Figura 30 – Area di cantiere e suddivisione delle aree logistiche

7.3 INDIVIDUAZIONE DEI PERCORSI E MODALITÀ E TIPOLOGIA DI TRASPORTO

Preventivamente al trasporto del materiale da scavo, deve essere inviata all'Autorità competente una comunicazione attestante le generalità della stazione appaltante, della ditta appaltatrice dei lavori di scavo/intervento, della ditta che trasporta il materiale della ditta che riceve il materiale e/del luogo di destinazione, targa del mezzo utilizzato, sito di provenienza, data e ora del carico, quantità e tipologia del materiale trasportato.

7.4 DESCRIZIONE DEI FABBISOGNI DI MATERIALI DA APPROVVIGIONARE DA CAVA

Le tipologie di scavo a sezione ristretta previsti nell'ambito delle lavorazioni sono schematizzati nella figura sottostante.

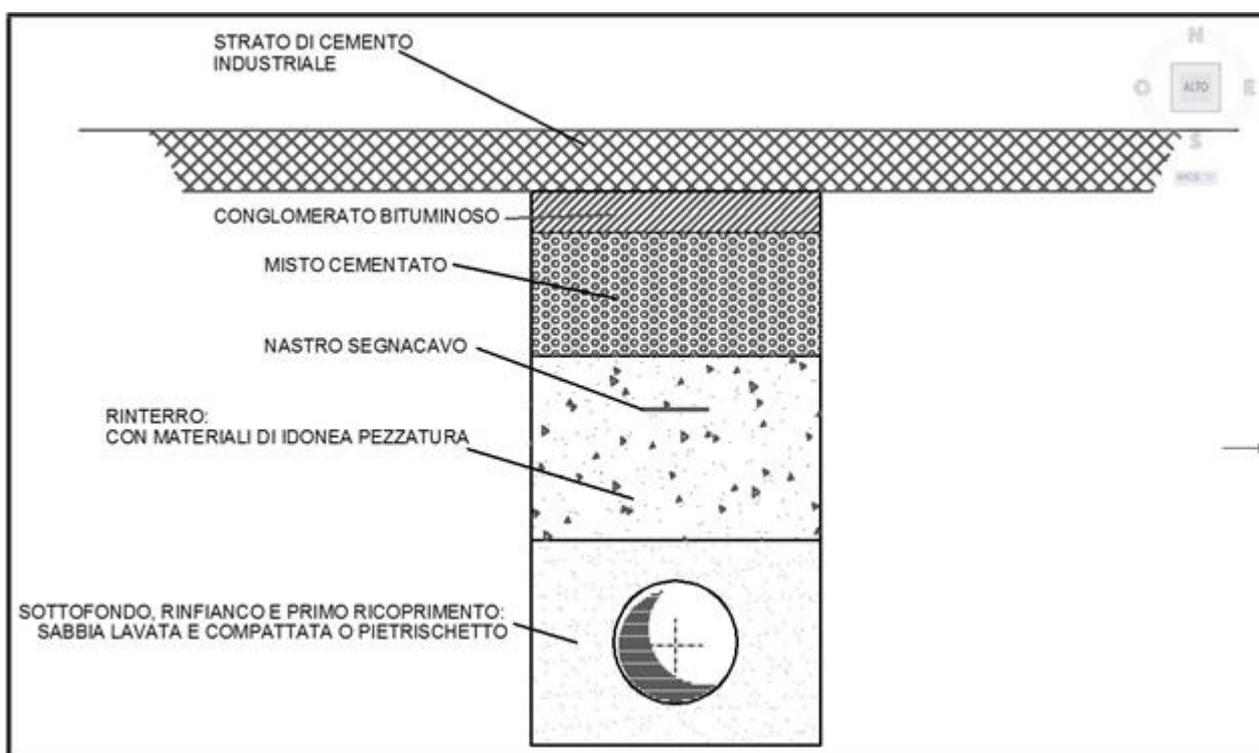


Figura 31 - Sezione rappresentante la tipologia di ripristino di uno scavo all'interno dell'are di impianto.

Dal basso verso l'alto il rinterro dei cavi necessiterà di:

Sabbia

La sabbia verrà utilizzata per la realizzazione dello strato avvolgente le condotte. Dovrà essere approvvigionata da cava.

Rinterro con materiale di idonea pezzatura

Il materiale di idonea pezzatura verrà approvvigionato da cava per la realizzazione dello strato di rinterro da posare al di sopra dello strato di sabbia avvolgente le condotte.

La parte superficiale del ripristino verrà realizzata attraverso la posa di misto cementato, conglomerato

bituminoso e il cemento industriale.

La tabella seguente riassume i materiali occorrenti nel rinterro dei cavi:

Tabella 6 – Tabella riepilogativa dei materiali occorrenti per il rinterro dei cavi.

<i>MATERIALI OCCORRENTI</i>	<i>Sabbia mc</i>	<i>Rinterro mc</i>	<i>Misto stabilizzato mc</i>
Rete raccolta acque meteoriche	789,86	404,33	235,05
Rete elettrica	371,58	365,09	365,09
Rete idrica impianto	11,25	9,38	13,13
Rete fognaria impianto	22,05	18,9	28,35
Rete idrica industriale	19,11	16,38	24,57
Viabilità interna	-	-	3.981,08
Totale	1.213,85	814,08	4.647,27

7.5 DESCRIZIONE DEGLI ESUBERI DI MATERIALE PROVENIENTE DAGLI SCAVI

La tabella sottostante riassume il bilancio relativo ai volumi di materiali provenienti dalle attività di movimento terre da conferire a discarica o ad idoneo impianto di trattamento.

Tabella 7 - Riepilogo bilancio movimenti-terre.

<i>RIEPILOGO SCAVI MOVIMENTI-TERRE</i>	<i>Volume mc</i>
Scavi per sezioni obbligate	3.587,53
Scavi a larga sezione	21.416,01
Trivellaizone pali di fondazione	423,90
Totale	25.427,44

7.6 VOLUMI DI SCAVO DELLA CONDOTTA MARINA

Unitamente alle opere civili necessarie per la realizzazione del Deposito Costiero di rigassificazione posizionato a terra, si renderanno necessarie delle opere a mare per la costruzione della condotta marina per il trasferimento del GNL dal Terminale Off-Shore alla costa ionica, che si svilupperà in linea retta per circa 2,4 km, dalla costa fino al Terminale Off-Shore in modo da minimizzare il percorso e i conseguenti costi associati.

Si prevede di realizzare (rif.

Figura 32) quattro cunicoli mediante tecnica TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata):

- 1 foro TOC con diametro di circa 400 mm per il passaggio della tubazione dell'acqua potabile e di quella di protezione dei corrugati in PEAD per cavi elettrici e di segnale;
- 3 fori TOC di circa 550 mm per il passaggio: i primi due delle due tubazioni criogeniche di tipo VIP e il terzo per la tubazione tipo VIP gestione BOG e tubazione criogenica tipo VIP bunkeraggio navale GNL.

La scelta progettuale circa la posa delle condotte mediante tecnologia TOC, incontra numerosi vantaggi in relazione della specificità del sito e all'operatività di impianto. In particolare:

- riduce al minimo i volumi di scavo necessari alla realizzazione dell'opera e relative gestioni e smaltimenti, rispetto a soluzioni costruttive alternative, come ad esempio il micro tunnel e la posa in trincea;
- minimizzare le interferenze con le aree di pubblico utilizzo.

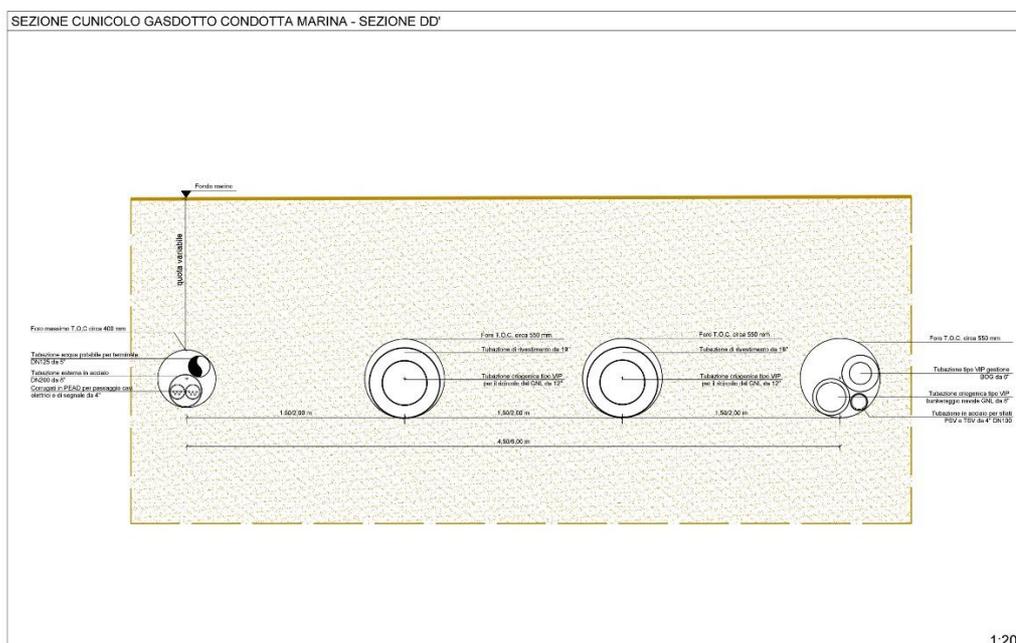


Figura 32 - Sezione trasversale di passaggio tubazioni a mare – Condotta a mare

La tabella sottostante riporta il volume stimato di materiali, detriti, provenienti dalla trivellazione, separati dai fanghi di perforazione a mezzo Vibrovagli e centrifughe, da conferire a discarica o ad idoneo impianto di trattamento.

Tabella 8 - Stima del volume relativo all'opera di trivellazione per la realizzazione della condotta marina

<i>TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA</i>	<i>Volume (mc)</i>
TRIVELLAZIONE A LARGA SEZIONE	3.850
	3.850

Nei pressi del foro di ingresso alla perforazione è individuata un'area cantiere (Area Rig) la quale, opportunamente recintata e custodita, ospiterà tutti i materiali e le attrezzature necessarie per l'esecuzione dei lavori, nonché i mezzi d'opera di cui l'impresa si serve per l'esecuzione delle opere.

Il cantiere RIG prevede le vasche per stoccaggio provvisorio della bentonite.

SCHEMA CIRCUITO FLUIDO DI PERFORAZIONE

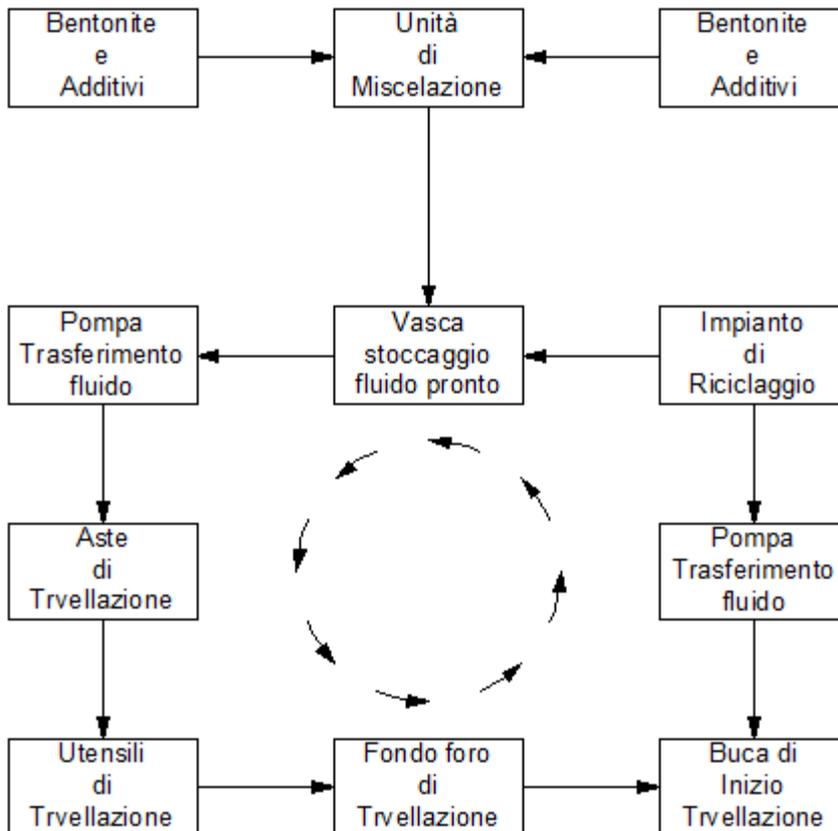


Figura 33: schema flusso fango bentonico

7.7 IPOTESI DI APPROVVIGIONAMENTO/CONFERIMENTO PROPOSTA

Per quanto riguarda le esigenze di cantiere relative a:

- approvvigionamento dei materiali necessari per le lavorazioni previste;
- conferimento dei materiali in esubero dalle operazioni di movimento terre;
- conferimento dei prodotti delle operazioni di demolizione.

sarà necessario individuare uno o più siti in grado di soddisfare tutte le esigenze in questione.

Le tipologie di rifiuti derivanti dagli interventi in progetto sono contraddistinte dai seguenti codici CER:

Tabella 9 – Descrizione delle tipologie di rifiuti non pericolosi conferibili.

CER	Descrizione tipologia	Operazioni di recupero
170904	Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 170901, 170902 e 170903	R13 – R5
170107	Miscugli oscurie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 170106	R13 – R5
170101	cemento	R13 – R5
170102	mattoni	R13 – R5
101311	rifiuti della produzione di materiali compositi a base di cemento, diversi da quelli di cui alle voci 101309 e 101310	R13 – R5
170302	miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 170301	R13 – R5
170504	Terre e rocce diverse da quelle di cui alla voce 170503	R13 – R5

Si è calcolato che per il trasporto dei materiali residui dalle operazioni di scavo (23.427,44 mc), saranno necessari circa 848 viaggi con autocarri da 30 mc.

Il rientro di parte dei mezzi necessari previsti avverrà con i mezzi carichi di materiali occorrenti per le lavorazioni di cantiere (sabbia, misto cementato, terreno vegetale, etc.).

È prevista la tracciabilità GPS per ogni mezzo di trasporto dei materiali all'esterno dell'area di cantiere.