

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
 PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
 NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - LUIPIAE MARIS
 35 WTG – 525 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

Progettazione e SIA



Indagini ambientali e studi specialistici



Studio misure di mitigazione e compensazione



supervisione scientifica



1. ELABORATI GENERALI

R.1.3.2 Relazione geologica offshore

| REV. | DATA | DESCRIZIONE |
|------|------|-------------|
| | | |
| | | |
| | | |



INDICE

| | | |
|------------|--|----------|
| 1 | DATI BIBLIOGRAFICI E INTEPRETAZIONE PRELIMINARE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SITO | 1 |
| 1.1 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA OFFSHORE | 1 |
| 1.2 | ASSETTO STRATIGRAFICO E TIPOLOGIA DI SEDIMENTI | 3 |
| 2 | BIBLIOGRAFIA E REFERENZE | 9 |

1 DATI BIBLIOGRAFICI E INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SITO

1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA OFFSHORE

L'inquadramento geologico e tettonico del Mare Adriatico è conseguente alla subduzione della Placca Africana al di sotto della Placca Eurasiatica, e alla progressiva chiusura del Mediterraneo. Il Mare Adriatico e il settore settentrionale del Mare Ionio si trovano al di sopra della Placca Apula, che affiora sulla Penisola Pugliese. Questa placca è costituita da una successione spessa circa 6 km di rocce carbonatiche neritiche del Mesozoico – Paleocene (251 - 55.8 milioni di anni fa), a cui si sovrappongono parzialmente depositi marini principalmente terrigeni risalenti al Cenozoico (da 65.6 milioni di anni fa ad oggi).

L'origine della storia geologica del Mare Adriatico risale all'inizio del Mesozoico (65.5 – 251 milioni di anni fa), quando la regione Adriatica era probabilmente ancora collegata al continente Africano e formava un bacino embrionico marginale della Mesogea. La chiusura della Tetide, concomitante con l'apertura dell'Atlantico, ha dato origine a fasi compressive e tensionali successive alla fine del Giurassico (145.5 milioni di anni fa).

L'evoluzione dal Bacino Adriatico Meridionale durante il Cenozoico (da 65.6 milioni di anni fa ad oggi) riflette la riattivazione e l'inversione di faglie estensive risalenti al Mesozoico (Minisini et al., 2006).

Durante il Quaternario (da 2.6 milioni di anni fa ad oggi), l'Adriatico Meridionale è stato soggetto a sollevamento e deformazione. Negli ultimi 500.000 anni si è verificata una sovrapposizione composita di sequenze regressive deposizionali (progradazionali). Queste sequenze si sono formate principalmente nel corso di lunghi intervalli di abbassamento del livello medio mare e sono delimitate all'estremità superiore da superfici erosive che interessano tutta la piattaforma (Minisini et al., 2006).

In sintesi, l'assetto geologico dell'area di progetto comprende rocce deformate carbonatiche e clastiche risalenti al Mesozoico – Cenozoico, a cui si sovrappongono sedimenti relativamente indeformati del Plio-Quaternario. In particolare, la natura e la configurazione dei sedimenti del Plio-Quaternario sono state fortemente influenzate dai cambiamenti del livello marino.

Dati geofisici disponibili per il lato occidentale del Mare Adriatico consentono di tracciare le variazioni del livello del mare all'interno della sequenza stratigrafica dei sedimenti. Le fluttuazioni del livello del mare durante gli ultimi 450 ka appaiono in cicli di circa 100 ka, associati ai principali eventi glaciali e interglaciali. Tali fluttuazioni indicano segni di trasgressione, regressione e terrazzamenti, nonché di movimento dei sedimenti associato alla tettonica dell'area ed a grandi movimenti di massa (Trincardi et al., 2004).

Il contributo di sedimenti al mare Adriatico proviene principalmente dal versante occidentale, in particolare dal fiume Po e dai fiumi Appenninici. I sedimenti fangosi distribuiti dai fiumi sono poi redistribuiti dalla corrente prevalente di senso antiorario, e gran parte di essi si accumula sul cuneo sedimentario presente lungo la costa italiana (Cattaneo et al, 2007).

Evidenze di riflettori sismici irregolari e/o oscuramento acustico possibilmente correlati a deformazione dei sedimenti e/o ai depositi di frana, sono osservati all'interno della sequenza deposizionale del tardo Quaternario. La sequenza deposizionale meno profonda (s1 mostrata in Figura 1) include sedimenti progradanti ben stratificati, mentre spostandosi verso la piattaforma esterna è presente una "unità regressiva forzata distale" osservabile sia a nord che a sud del promontorio del Gargano (Figura 1). Quest'ultima unità si trova sopra un riflettore basale ad alta impedenza con una forma leggermente concava, la cui superficie limite superiore si fonde verso terra con la non-conformità erosiva "ES1". I dati sismici suggeriscono che la litologia dei sedimenti costituenti l'unità regressiva 'distale' è prevalentemente di natura fangosa, e leggermente più grossolana rispetto alle unità sopra e sotto, e include possibilmente letti sottili di limi, sabbie fini e ciottoli sparsi sulla superficie superiore (Ridente e Trincardi, 2002). L'unità regressiva distale ha una

geometria interna complessa, rispetto ai pacchetti di riflettori piano-paralleli presenti al di sopra ed al di sotto, costituita principalmente da riflettori sismici contorti e localmente immersi verso terra (Figura 1). Ulteriori sequenze deposizionali sono osservate a profondità maggiori, divise da ulteriori superfici erosive (ES2 e ES3).

Argnani et al. (1993) forniscono una panoramica del modello macro-stratigrafico dell'area, evidenziando che lo spessore complessivo dei sedimenti plio-quadernari lungo la piattaforma esterna è di diverse centinaia di metri (evidenziato in giallo chiaro in Figura 2). Questi sedimenti sono formazioni risalenti al Miocene, e costituite da marne, carbonati, rocce calcaree ed evaporiti.

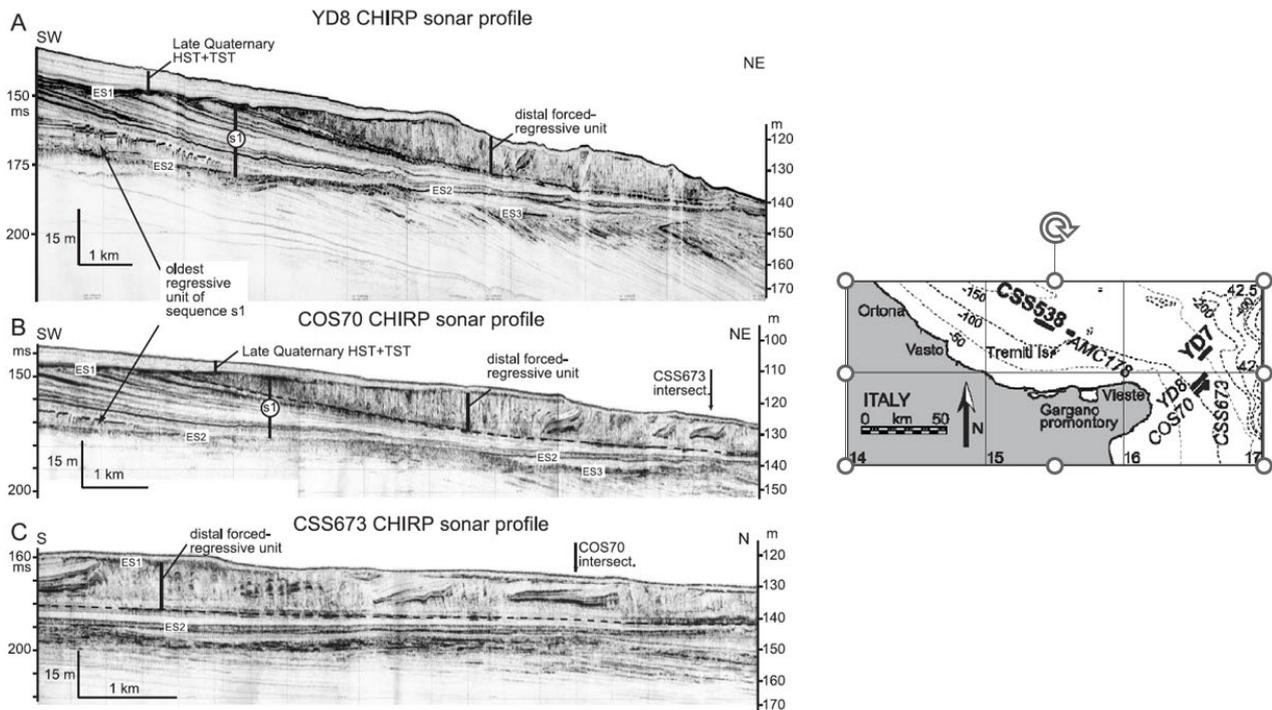


Figure 1: Stratigrafia tipica del cuneo sedimentario lungo la costa Ovest del Mare Adriatico al largo del Gargano (Trincardi et al., 2004)

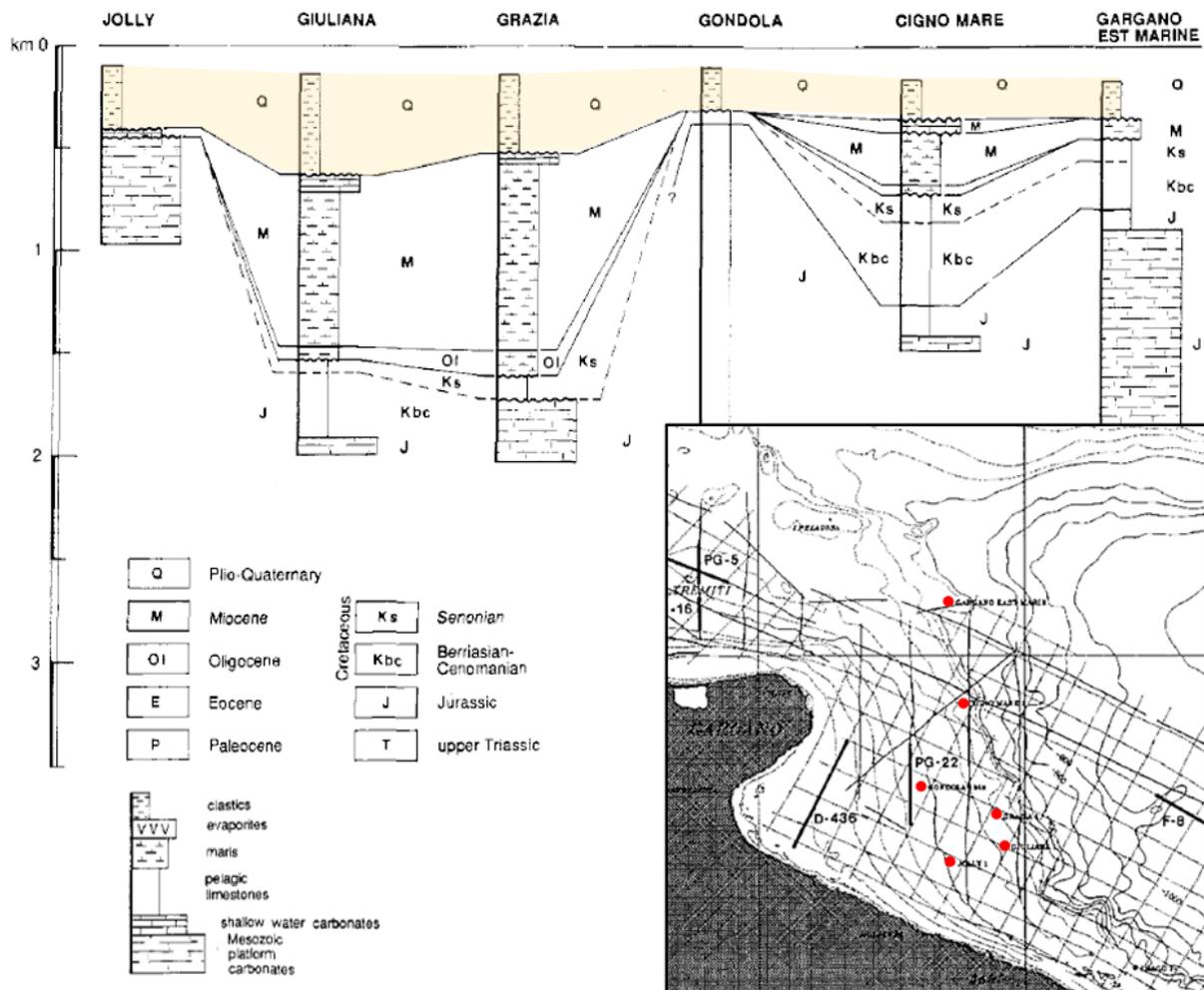


Figure 2: Ricostruzione di una sezione stratigrafica profonda in direzione S-N dell'area ad Est del Gargano (Argnani et al., 1993).

1.2 ASSETTO STRATIGRAFICO E TIPOLOGIA DI SEDIMENTI

Al fine di ipotizzare l'assetto stratigrafico e la tipologia di sedimenti attesi nell'area del progetto Lupiae Maris, le informazioni derivanti dalle prospezioni geofisiche mediante sub-bottom profiler (descritte al capitolo 3) sono state confrontate e complementate con le seguenti fonti di informazione:

- Letteratura scientifica
- Database EMODnet – "European Marine Observation and Data Network"
- Progetto ViDEPI – "Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia"
- Dati relativi alle indagini ambientali (Geoambiente Srl, 2023)

Sulla base dei dati EMODnet, i sedimenti superficiali del fondale marino nell'area di progetto si classificano secondo la classificazione di Folk (1980) come "fango sabbioso", diventando "sabbia" lungo la porzione sotto costa della rotta del cavo di esportazione (Figura 3).

Come discusso in dettaglio al Capitolo 3, l'interpretazione dei dati del sub-bottom profiler ha permesso l'identificazione di un unico orizzonte, il quale è stato mappato all'interno dell'intera area di progetto, nonché lungo il percorso del cavo di esportazione. Questo orizzonte viene interpretato come la base della copertura di sedimenti sciolti al di sopra di un 'substrato sismico' presumibilmente costituito da sedimenti stratificati più competenti, e di varia natura.

Si osserva che la copertura di sedimenti al di sopra dell'orizzonte mappato varia tra 0 e 5 metri all'interno dell'area di progetto, mentre valori fino a 10 metri di spessore sono mappati lungo porzioni del percorso del cavo di esportazione, dove si osservano anche aree caratterizzate da substrato potenzialmente affiorante nella parte sotto costa.

Una possibile interpretazione del riflettore mappato è che quest'ultimo rappresenti i sedimenti più giovani depositati durante l'Olocene, sovrastanti le sequenze deposizionali più antiche associate alla trasgressione e alla regressione della linea di costa legate alle variazioni del livello medio mare. Questa interpretazione è considerata compatibile con la sequenza stratigrafica osservata in altre aree del margine occidentale Sud-Adriatico, come confermato anche dalla stratificazione in leggera pendenza osservata al di sotto dell'orizzonte mappato, che ricorda quella riscontrata all'interno del cuneo sedimentario al largo del promontorio del Gargano, e dovuta a deposizione trasgressiva (Figura 1).

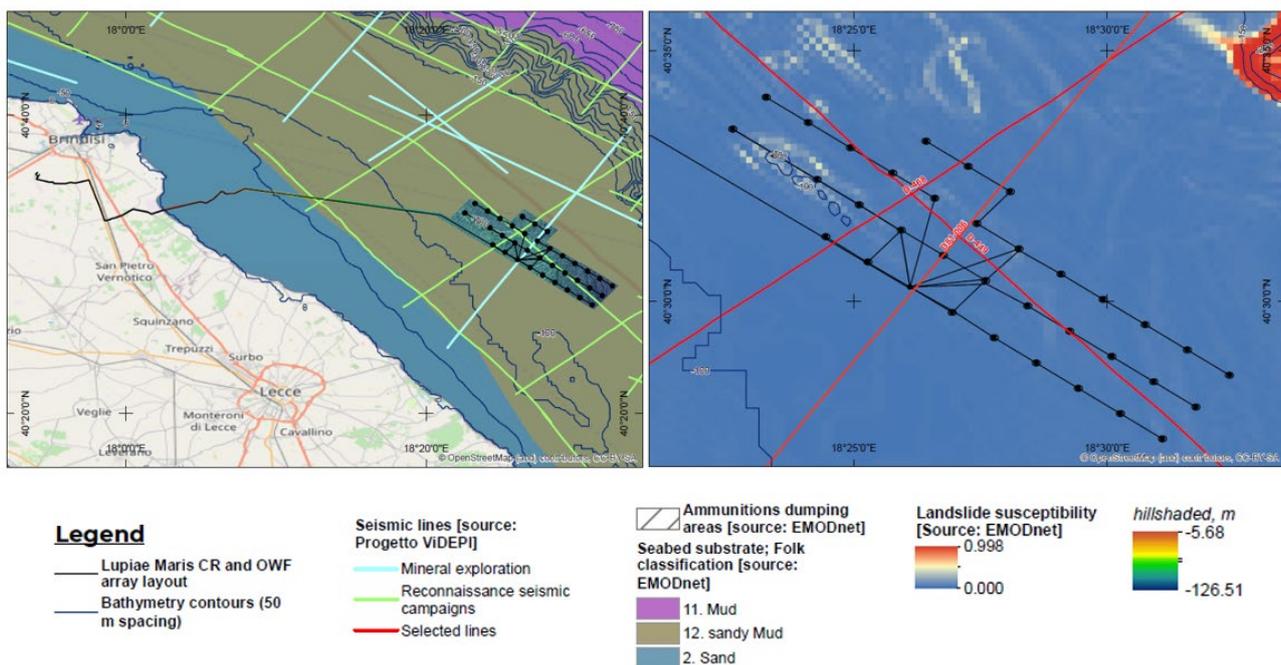


Figure 3: Mappatura dei sedimenti superficiali (Fonte EmodNET) e linee sismiche VIDEPI.

A più grande scala, la letteratura scientifica suggerisce la presenza di un significativo cuneo sedimentario lungo la costa occidentale dell'Adriatico meridionale. L'interpretazione dei dati geofisici profondi per l'esplorazione di idrocarburi riportati nel database VIDEPI, indica che nell'area di progetto è effettivamente prevista una copertura sedimentaria di diverse centinaia di metri di potenza. Un'interpretazione ipotetica (assumendo una velocità media di propagazione delle onde sismiche di 2000 m/s) dell'interfaccia del substrato roccioso per le linee D-467, D-468 e D81-006 è fornita in Figura 4.

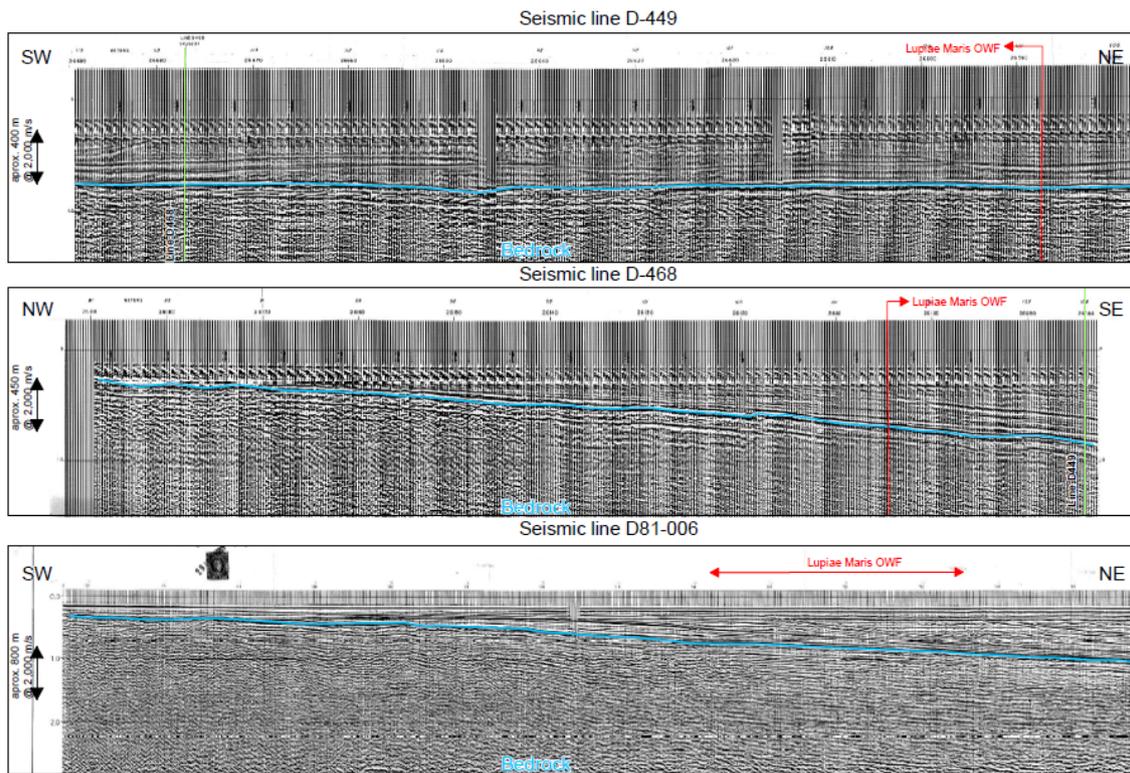


Figure 4: Interpretazione dei dati sismici VIDEPI disponibili in corrispondenza dell'area di progetto.

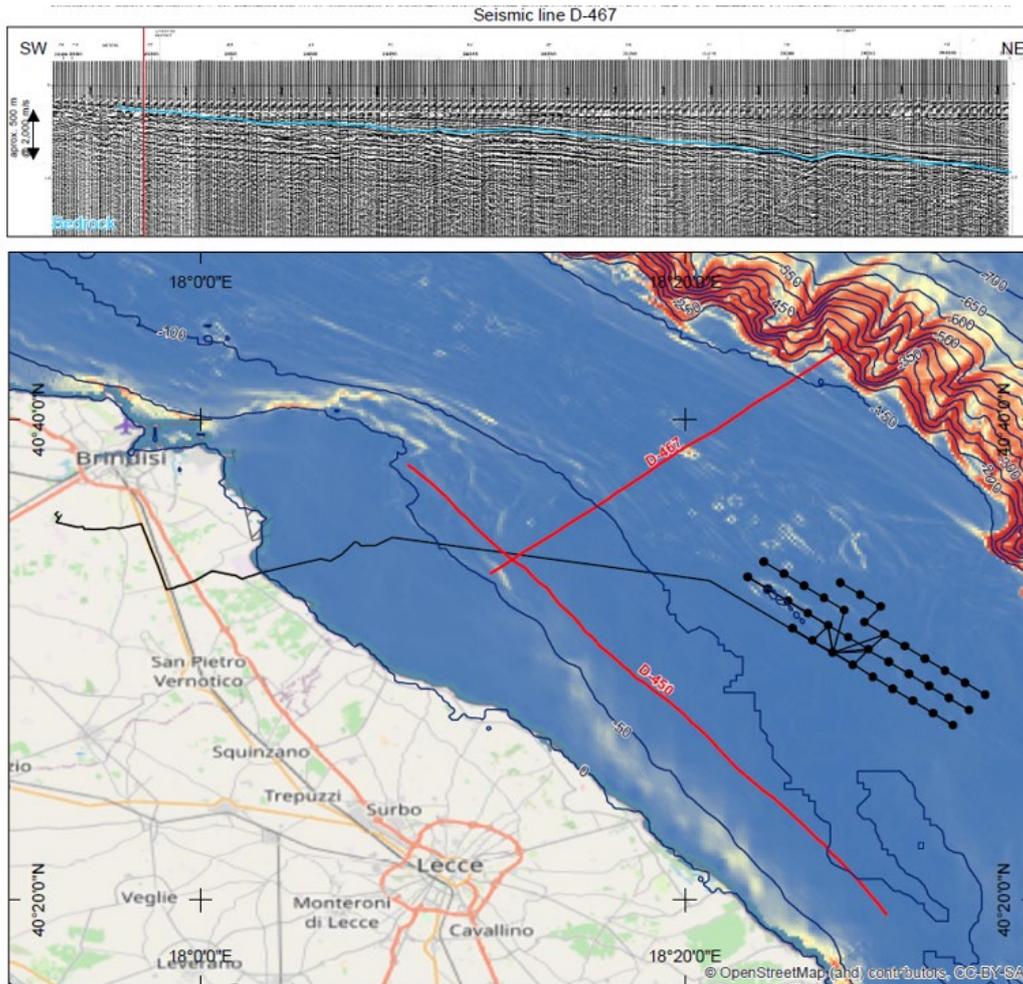


Figure 5: Interpretazione della linea sismica VIDEPI D-467.

Lungo il percorso del cavo di esportazione, il substrato roccioso diventa gradualmente meno profondo avvicinandosi alla costa, diventando potenzialmente affiorante in prossimità dell'area di approdo del cavo, come si evince dall'ipotetica interpretazione dell'interfaccia del substrato roccioso nella linea sismica D-467, riportata in Figura 5.

L'interpretazione proposta delle linee sismiche riportata VIDEPI è ulteriormente supportata dai risultati della campagna di indagine geotecnica effettuata a supporto della realizzazione del gasdotto Trans Adriatic Pipeline (TAP), il cui approdo si trova a San Foca (Lecce), a poche decine di km a sud dell'area di progetto Lupiae Maris. La Figura 6 riporta un'interpretazione della stratigrafia del margine della piattaforma continentale nel punto di attraversamento del gasdotto TAP. La stratigrafia evidenzia una spessa copertura di sedimenti in corrispondenza del margine della piattaforma, di spessore almeno pari alla massima profondità indagata di 50 m al di sotto del fondale marino.

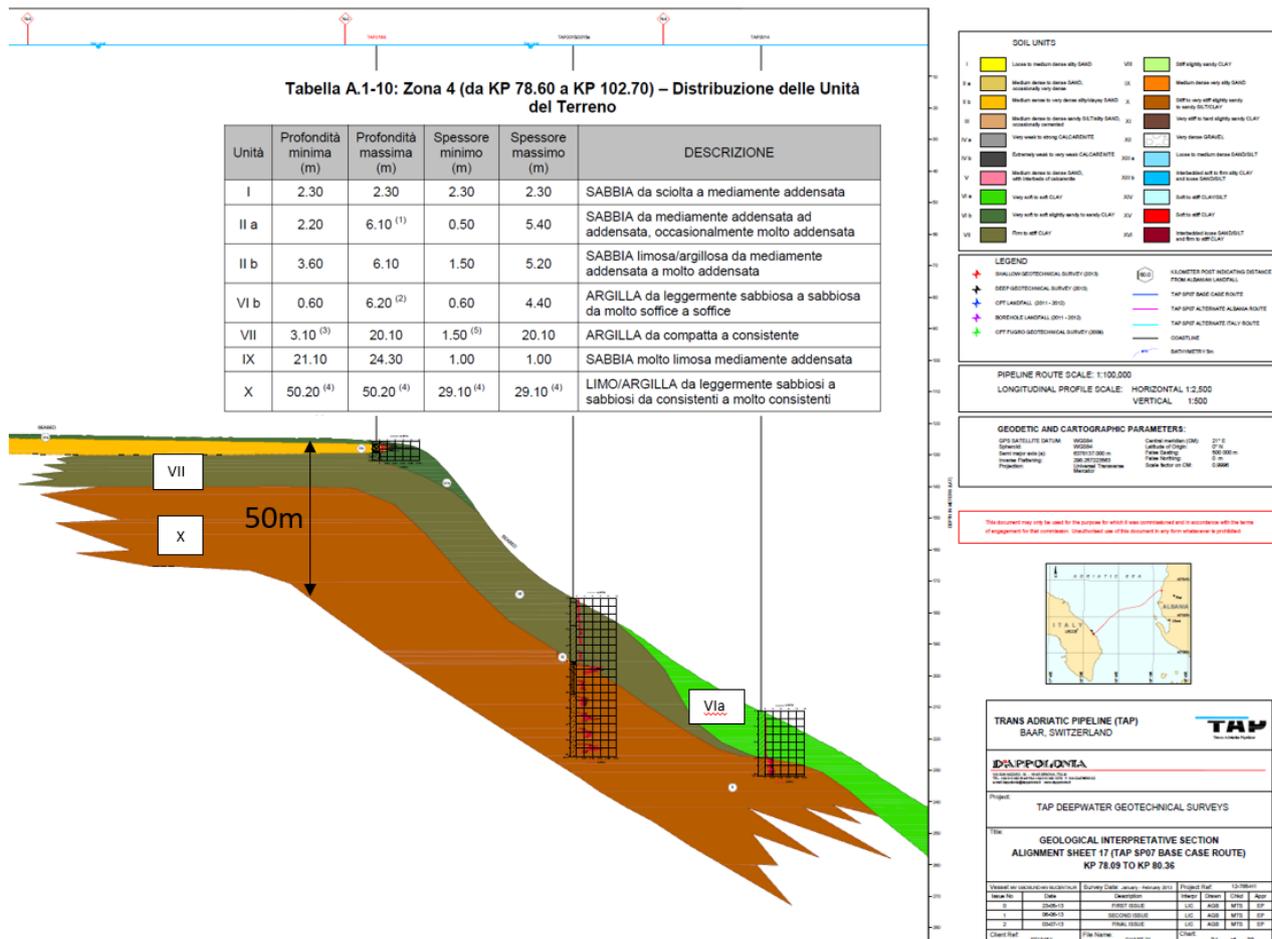


Figure 6: Stratigrafia del margine continentale nel punto di attraversamento del gasdotto TAP (TAP, 2014)

La batimetria dell'area di progetto Lupiae Maris indica la presenza di un gruppo di rilievi del fondale nel settore N-W dell'area. Tali rilievi sono inoltre chiaramente visibili nelle sezioni del sub-bottom profiler, ed identificati come 'piccole creste' (vedi Capitolo 3).

Secondo Cattaneo et al. (2003) e Trincardi et al. (2004), rilievi di piccola scala, denominati 'mud reliefs' dagli autori, sono osservabili lungo il cuneo sedimentario del tardo Olocene sulla piattaforma dell'Adriatico occidentale. Tali rilievi sono caratterizzati da un nucleo acusticamente trasparente nelle immagini sismiche e posti al di sopra di un'unità discontinua basale di riflettori ad alta impedenza. Queste formazioni sono generalmente riscontrate a profondità d'acqua superiori ai 70 m e si estendono tipicamente dai 2 ai 4 m al di sopra del fondale. Inoltre, si dispongono in maniera sub-parallela alle curve di livello, suggerendo un'origine potenzialmente correlata all'espulsione di fluidi da zone in pressione alla base del cuneo sedimentario tardo-olocenico (Cattaneo et al., 2002).

La Figura 7 mostra il confronto tra le caratteristiche dei 'mud reliefs' descritti in Cattaneo et al. ed i rilievi osservati nei dati SBP del progetto Lupiae Maris (vedi Capitolo 3). Mentre ci sono alcune chiare somiglianze, si osserva che le formazioni osservate nell'area di progetto Lupiae Maris tendono ad essere leggermente più grandi, raggiungendo fino a 10 m di altezza dal fondale.

Sub Bottom profile 2

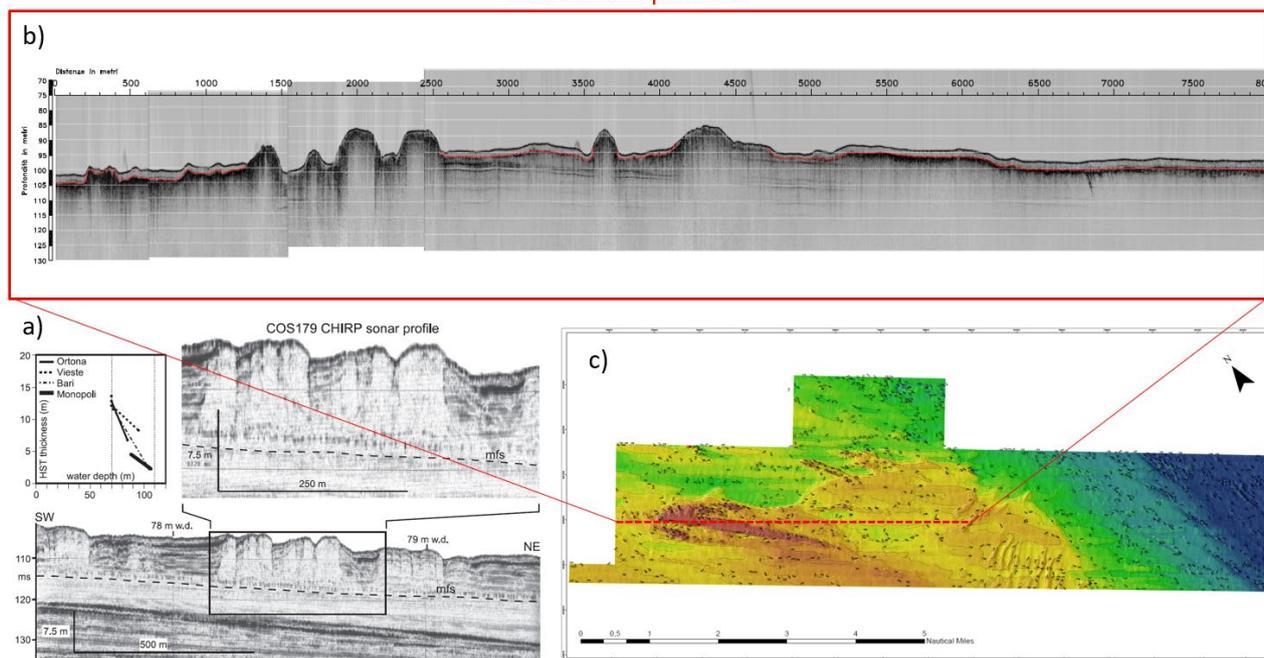


Figure 7: Confronto tra (a) 'mud reliefs' descritti in Cattaneo et al. (2003); (b) formazioni osservate nei dati SBP del progetto Lupiae Maris; (c) espressione bathymetrica delle formazioni riscontrate nell'area di progetto.

Tuttavia, è interessante notare che l'analisi geomorfologica della piattaforma continentale lungo il tracciato del gasdotto TAP (2014), effettuata ai fini dello studio di impatto ambientale per la realizzazione dell'opera, identifica aree con presenza di vulcani di fango in un range di profondità d'acqua comparabile a quello dell'area interessata dal progetto Lupiae Maris. La presenza di vulcani di fango su questa porzione della piattaforma continentale è confermata da Geletti et al.(2020), mentre Hovland e Curzi (1989) descrivono strutture simili, definite come "mud diapirs" nell'Adriatico centrale. In entrambi i casi i rilievi osservati sul fondo marino sono interpretati come il risultato dell'espulsione di fluidi e gas dalle formazioni sottostanti.

Geletti et al. (2020) forniscono anche evidenze di coralli campionati in corrispondenza di uno di questi rilievi, situato sulla piattaforma continentale all'altezza dello stretto d'Otranto. Queste evidenze risultano in linea con la classificazione 'Mosaico di Coralligeno e Fanghi Terrigeni Costieri' data nella 'Relazione indagini batimetriche e biocenotiche' (Geoambiente, 2023), alle aree interessate da questi rilievi all'interno del sito del progetto Lupiae Maris.

In sintesi, l'assetto stratigrafico atteso nell'area interessata dal progetto Lupiae Maris consiste in una sottile copertura di argilla sabbiosa/limosa molto soffice, sovrastante uno strato di sabbia limosa/argillosa di spessore variabile. Al di sotto di questo strato di sabbia sono previsti terreni di natura fine più rigidi. Non si può escludere che all'interno di queste formazioni si possano incontrare strati parzialmente litificati/cementati, sebbene non siano state riscontrate prove di cementazione entro i primi 50 m di profondità, sulla base prova penetrometrica effettuata in prossimità dell'area di progetto, appena oltre il margine continentale ad una profondità d'acqua di 175 m (Figura 6). Il substrato roccioso è previsto a profondità comprese tra 400 e 600 m dal fondale.

2 BIBLIOGRAFIA E REFERENZE

- Minisini, D., F. Trincardi, e A. Asioli, 2006, "Evidence of Slope Instability in the Southern Adriatic Margin", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, pp. 1-20.
- Trincardi, F., Cattaneo, A., Correggiari, A. and Ridente, D., 2004. Evidence of soft sediment deformation, fluid escape, sediment failure and regional weak layers within the late Quaternary mud deposits of the Adriatic Sea. *Marine Geology*, 213(1-4), pp.91-119.
- Ridente, D. & Trincardi, F. (2002a) Eustatic and tectonic control on deposition and lateral variability of Quaternary regressive sequences in the Adriatic basin (Italy). *Mar. Geol.*, 184(3-4), 273-293.
- D. Ridente, A. Trincardi (2006). Active foreland deformation evidenced by shallow folds and faults affecting late Quaternary shelf slope deposits (Adriatic Sea, Italy) *Basin Research* 18, 171–188
- Argnani, A., Favali, P., Frugoni, F., Gasperini, M., Ligi, M., Marani, M., Mattiotti, G. and Mele, G., 1993. Foreland deformational pattern in the Southern Adriatic Sea. *Annali di Geofisica*.
- Cattaneo, A., Trincardi, F., Asioli, A. and Correggiari, A., 2007. The Western Adriatic shelf clinoform: energy-limited bottomset. *Continental Shelf Research*, 27(3-4), pp.506-525.
- EMODnet – "European Marine Observation and Data Network" - <https://emodnet.ec.europa.eu>
- Progetto ViDEPI – "Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia" – website
- Folk, R.L. (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks*, Austin (Texas), Hemphill
- Geoambiente S.r.l, Lupiae Maris project, "Relazione indagini batimetriche e biocenotiche"
- Trans Adriatic Pipeline, 2013, Rapporto Geotecnico – Indagine Geotecnica Superficiale – Parte A Parametri del Terreno, Doc. N. OPL00-DAP-150-Y-TRE-0001.
- Cattaneo, A., Correggiari, A., Penitenti, D., Trincardi, F., Marsset, T., 2003. Morphobathymetry of small-scale mud reliefs on the Adriatic shelf. In: Locat, J., Mienert, J. (Eds.), *Submarine Mass Movements and their Consequences*. Kluwer Academic Publisher, Amsterdam, pp. 389– 396
- Trans Adriatic Pipeline, 2013, Indagine di dettaglio, Doc. N. OPL00-DOF-150-G-TRP-0002
- Hovland, M. and Curzi, P.V., 1989. Gas seepage and assumed mud diapirism in the Italian central Adriatic Sea. *Marine and petroleum geology*, 6(2), pp.161-169.
- Geletti, R., Del Ben, A., Colizza, E., Lucchi, R. G., Candoni, O., & Mocnik, A. (2020). Vulcani di fango e strutture coralline associate a evidenze gassose in Canale d'Otranto-Adriatico Meridionale. Mud volcanoes and Coral mounds related to gas seepages in the Otranto Channel-South Adriatic Sea. In *Inventario delle emissioni fluide nei mari italiani. Inventory of fluid emissions in Italian Seas*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It., Dip. per il Serv. Geol. d'It., ISPRA (Vol. 105, pp. 71-75).