

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - BARIUM BAY
74 WTG – 1.110 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
00	08/23	1° revisione
01	03/24	integrazioni MASE



INDICE

1	PREMESSA SUI CONTENUTI DELLO STUDIO E SUI SUOI REDATTORI.....	1
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA OFFSHORE	2
3	ASSETTO STRATIGRAFICO E TIPOLOGIA DI SEDIMENTI	5
4	RISULTATI DELLE INDAGINI STRATIGRAFICHE CONDOTTE.....	7
	4.1 RISULTATI DI DETTAGLIO: CAVIDOTTO DI COLLEGAMENTO.....	8
	4.2 RISULTATI DI DETTAGLIO: CAMPO EOLICO	14
5	ELEMENTI STRUTTURALI DELL'AREA.....	20
6	ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA.....	22
7	RISCHI DI NATURA GEOLOGICA.....	24
	7.1 PRESENZA DI GAS E FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	24
	7.2 STABILITÀ DEI PENDII.....	24
	7.3 SISMICITÀ	24
8	CONCLUSIONI.....	27
9	BIBLIOGRAFIA E REFERENZE	28

1 PREMESSA SUI CONTENUTI DELLO STUDIO E SUI SUOI REDATTORI

Lo studio Geologico offshore è stato condotto nell'ambito di una sinergia tra le seguenti società e professionisti:

- **Geowynd ltd**, che si è occupata della selezione dei contenuti e della redazione del modello geognostico delle aree indagate.
- **ENSU Environmental Surveys S.r.l.**, che si è occupata dei rilievi side scan sonar e delle altre indagini in situ per la definizione dei contenuti di indagine.
- **dottor. Geologo Matteo Di Carlo** iscritto all'ordine dei geologi della Regione Puglia al numero 75, che si è occupato interpretazione del modello geognostico e della stesura della relazione e dunque della sottoscrizione quale geologo abilitato.

2 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).



Schema strutturale del Mare Adriatico Meridionale (AA.VV., 1991)

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).

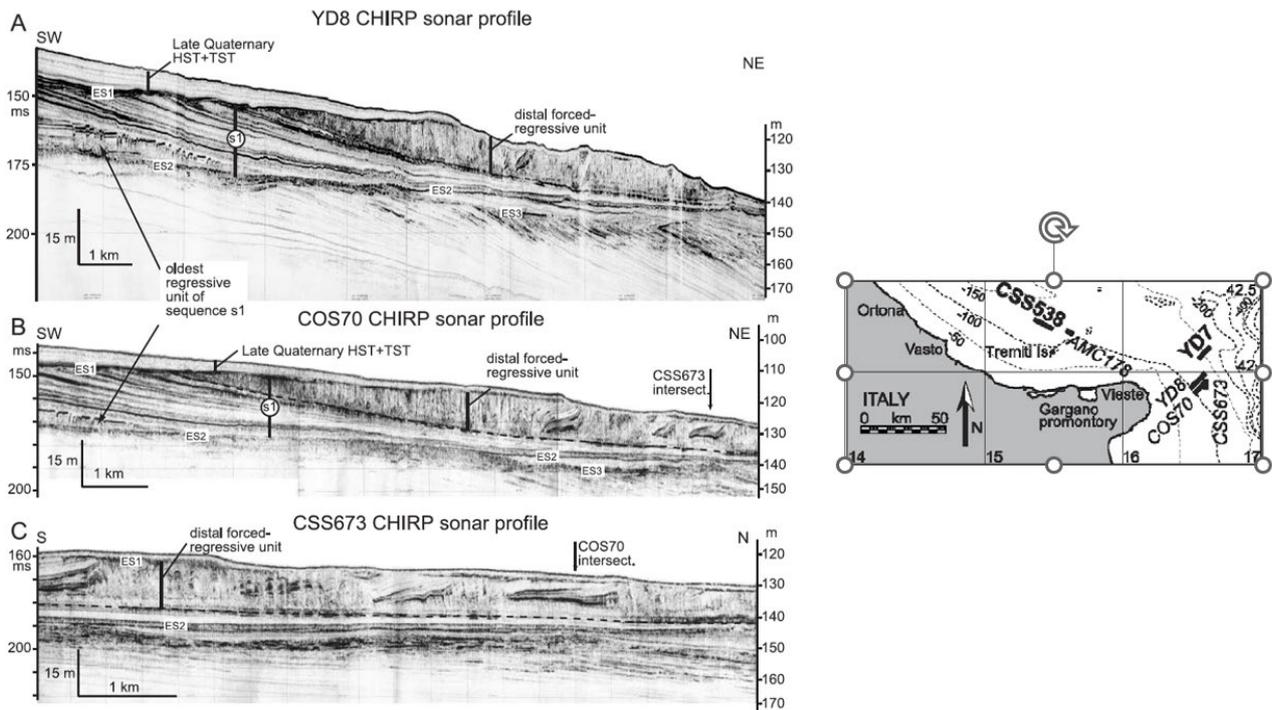


Figure 1: Stratigrafia tipica del cuneo sedimentario lungo la costa Ovest del Mare Adriatico al largo del Gargano (Trincardi et al., 2004)

Argnani et al. (1993) forniscono una panoramica del modello macro-stratigrafico dell'area, evidenziando che lo spessore complessivo dei sedimenti plio-quaternari lungo la piattaforma esterna è di diverse centinaia di

metri (in Figura 2). Questi sedimenti sono formazioni risalenti al Miocene, e costituite da marne, carbonati, rocce calcaree ed evaporiti.

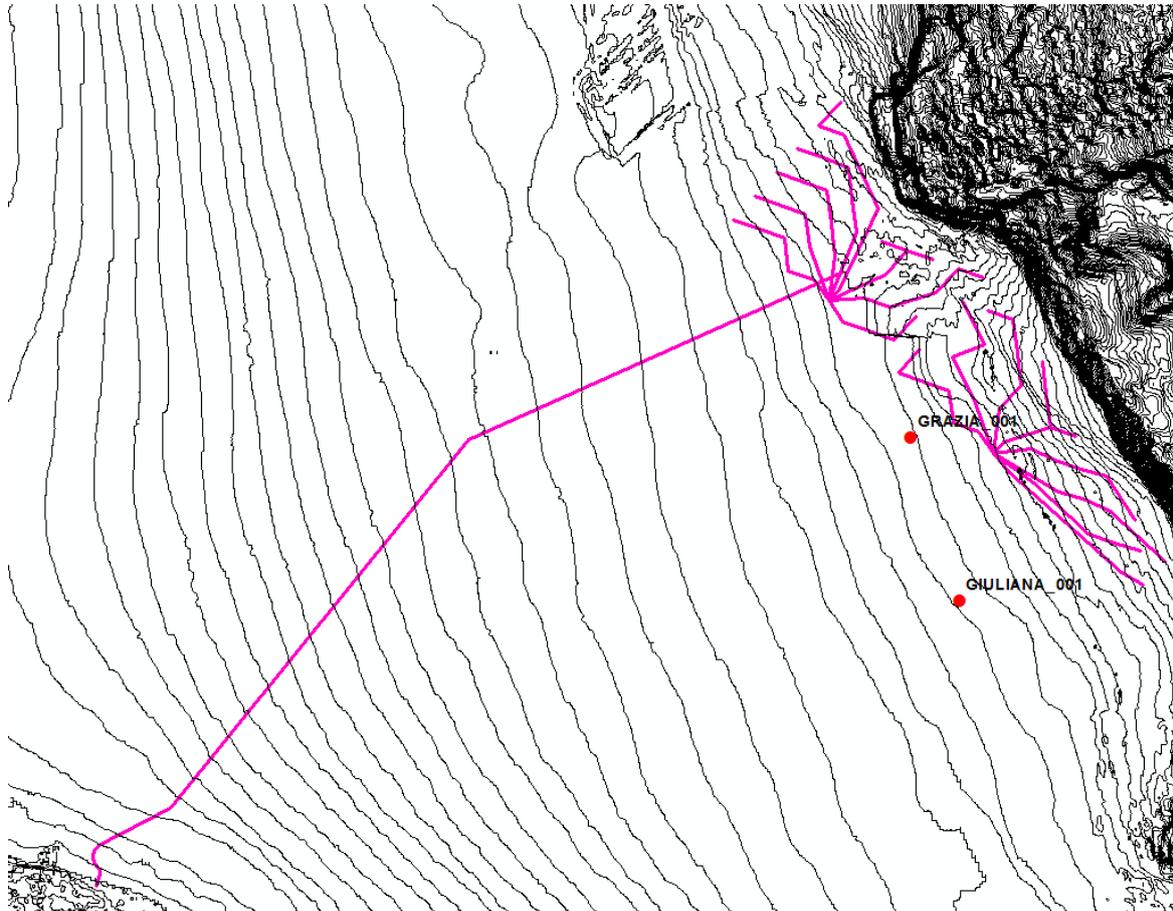


Figure 2: Ricostruzione di una sezione stratigrafica profonda in direzione S-N dell'area ad Est del Gargano (Argnani et al., 1993)

3 ASSETTO STRATIGRAFICO E TIPOLOGIA DI SEDIMENTI

Al fine di ipotizzare l'assetto stratigrafico e la tipologia di sedimenti attesi nell'area del progetto Barium Bay, le informazioni derivanti dalle prospezioni geofisiche mediante sub-bottom profiler (descritte più approfonditamente al capitolo 4) 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 (Geowynd)

Sulla base dei dati EMODnet, i sedimenti superficiali del fondale marino nell'area di progetto si classificano secondo la classificazione di Folk (1980) come "Sandy Mud" (fanghi sabbiosi), diventando "Mud" (fanghi) lungo la rotta del cavo di esportazione. Nella porzione sotto costa del corridoio del cavo, ci si attende che i sedimenti superficiali diventino gradualmente più sabbiosi, come confermato dalla mappatura EmodNet, secondo la quale a profondità d'acqua inferiori ai 20 m si riscontra una fascia di "mixed sediments" (sedimenti misti) che diventano "sands" (sabbie) in prossimità della costa (Figura 3).

Come discusso in dettaglio nella relazione delle indagini eseguite, l'interpretazione dei dati del sub-bottom profiler ha permesso di identificare all'interno dell'area di progetto l'andamento della superficie erosiva che demarca i sedimenti sciolti di recente deposizione (olocene) e quello che viene definito 'substrato pre-glaciale'. Come evidenziato nel report delle indagini, non è possibile sulla base dei dati acquisiti determinare con certezza la natura e consistenza di tale 'substrato pre-glaciale', il quale tuttavia viene ipotizzato essere costituito da sedimenti stratificati più competenti, e di varia natura.

Una possibile interpretazione è che il 'substrato pre-glaciale' identificato sulla base dei dati SBP, rappresenti 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 all'interno di questa formazione, compatibile con quella riscontrata all'interno del cuneo sedimentario al largo del promontorio del Gargano, e dovuta a deposizione trasgressiva (Figura 1).

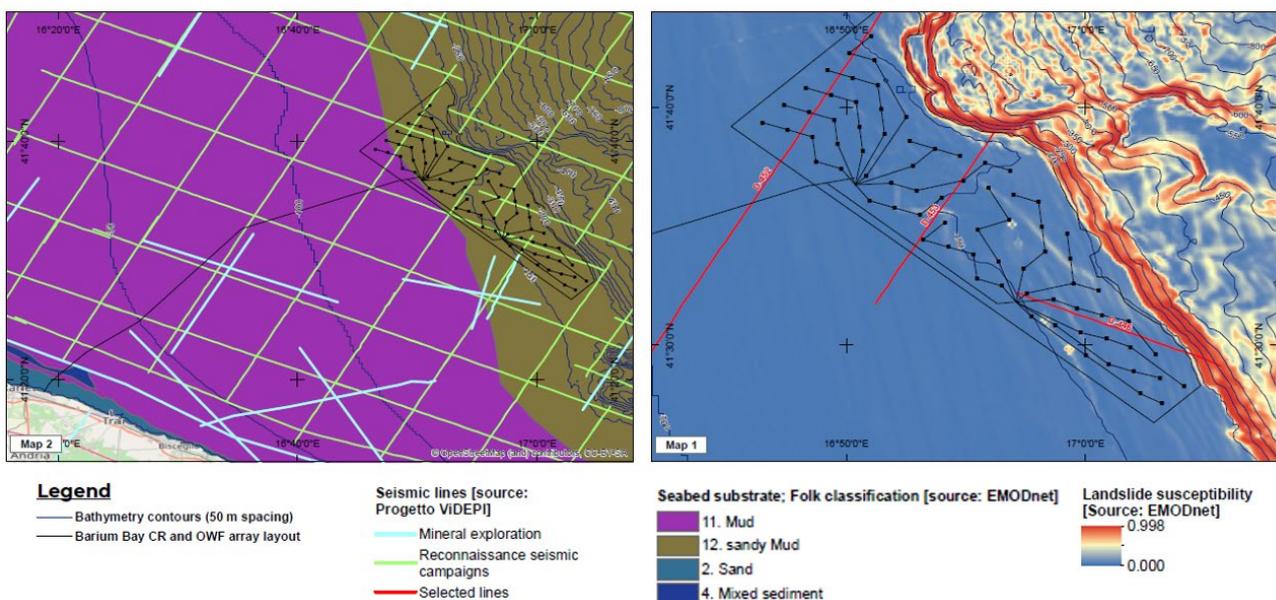
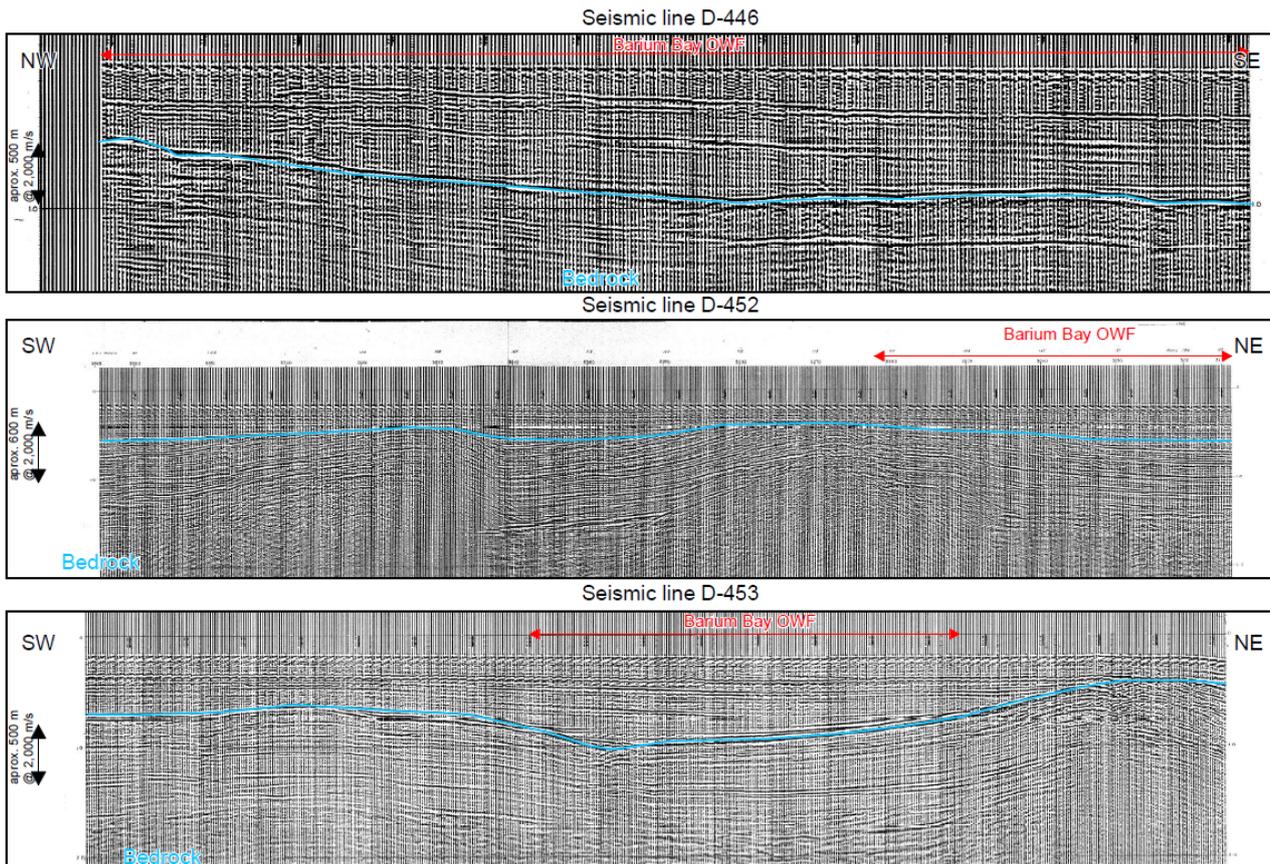


Figure 3: Mappatura dei sedimenti superficiali (Fonte EmodNET) e linee sismiche ViDEPI

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 (dell'ordine dei 100-200m nella parte Nord-Ovest dell'area di progetto, fino a più di 500m nella parte Sud-Est). Un'interpretazione ipotetica (assumendo una velocità media di propagazione delle onde sismiche di 2000 m/s) dell'interfaccia del substrato roccioso costituito da formazioni risalenti al Miocene (vedi Figura 2) per le linee D-452, D-453 e D-446 è fornita in Figura 4



Where possible, the spatial extents of the OWF are represented in red in the seismic sections above. Note that there might be instances where the boundary of the OWF is beyond the selected section of the seismic line.

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

Lungo il percorso del cavo di esportazione, ci si attende che il substrato roccioso diventi gradualmente meno profondo avvicinandosi alla costa, diventando potenzialmente pseudo-affiorante in prossimità dell'area di approdo del cavo.

4 RISULTATI DELLE INDAGINI STRATIGRAFICHE CONDOTTE

Al fine di incrementare le informazioni sull'assetto stratigrafico e la tipologia di sedimenti dell'area del progetto Barium Bay, le informazioni ricavate da database (presentate nel capitolo precedente) sono state confrontate e complementate con le prospezioni geofisiche mediante sub-bottom profiler effettuate da ENSU.

L'area indagata comprende il corridoio previsto per la posa del cavidotto di collegamento di ampiezza di circa 1000 m per una lunghezza totale di circa 57 km e l'area di installazione degli aerogeneratori (campo) avente dimensioni di circa 11 km x 33 km.

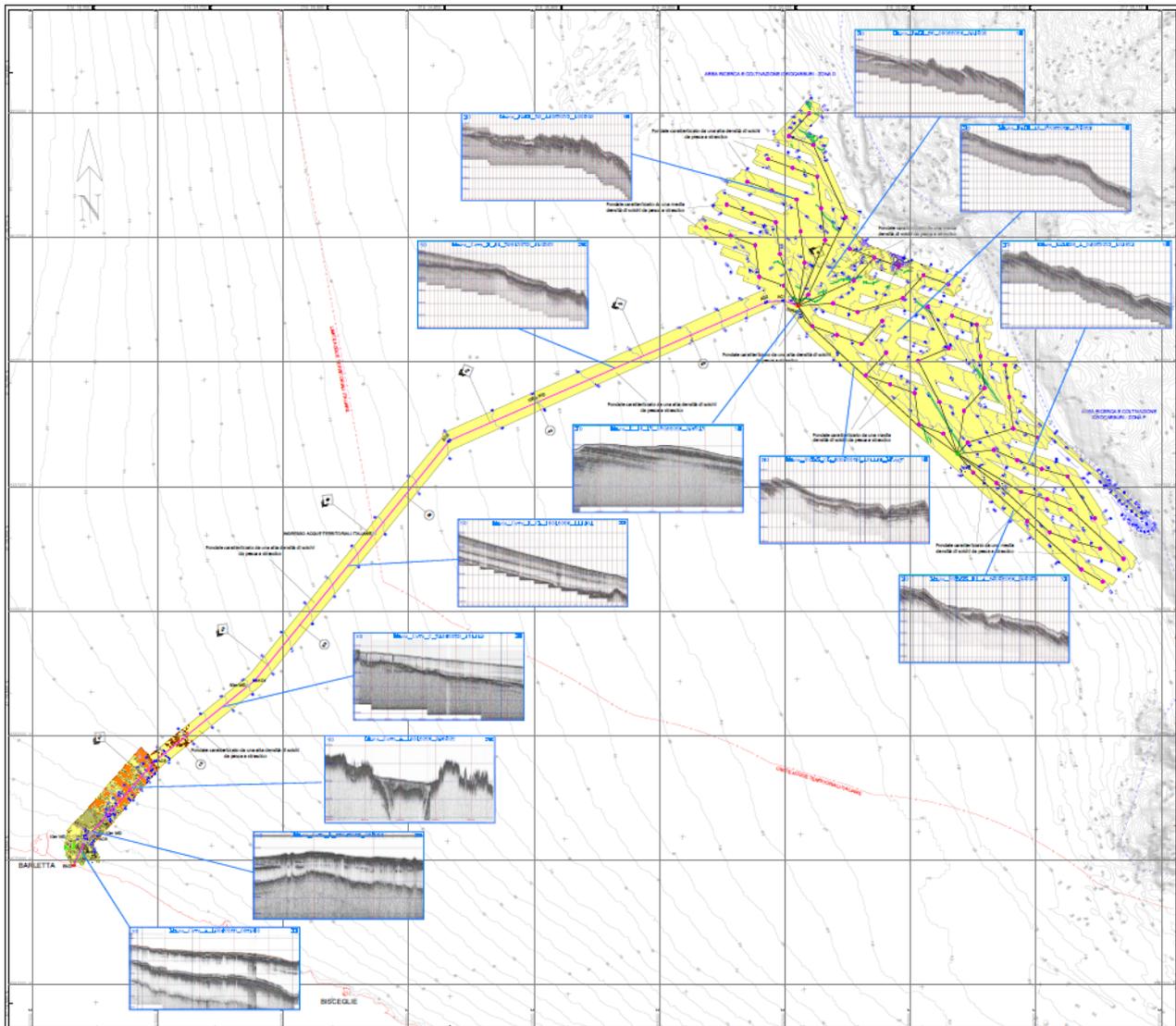


Figure 5: Vista di insieme delle aree rilevate per il progetto con le relative prospezioni geofisiche mediante sub-bottom profiler

I risultati per il corridoio del cavidotto di collegamento sono descritti facendo riferimento alla rotta di progetto fornita e alle relative chilometriche progressive (KP) calcolate su di essa partendo dalla posizione della sottostazione del campo degli aerogeneratori.

In generale, i risultati del rilievo geofisico confermano la batimetria, le morfologie e la geologia superficiale attesa in una area marina compresa tra la parte costiera e la scarpata attuale.

Le profondità minime rilevate di circa 4.0 m (KP 56) degradano costantemente verso il largo con pendenze di pochi gradi sino alla profondità massima registrata di circa 205 m nell' estremità orientale del campo.

Il fondo si presenta generalmente piatto ad esclusione della parte prossimale (KP 49 – KP 56; prof.: 27 m – 4 m) in cui la presenza di biocenosi e di morfologie superficiali rende il fondo più complesso della parte distale (area del campo) nella quale la prossimità della scarpata attuale genera caratteristiche morfologiche di un certo rilievo.

Come atteso, la copertura sedimentaria post-glaciale è presente in tutte le aree indagate con spessori variabili tra i pochi decimetri ed alcuni metri. Fa eccezione l'area prossimale (KP 49 – KP 56; prof.: 27 m – 4 m) in cui la presenza di un substrato probabilmente duro o molto consistente a tratti affiorante fa da base per biocenosi chiaramente individuate portando gli spessori delle coltri sciolte a pochi decimetri. Anche nell'area distale del campo, le coperture postglaciali di sedimenti sciolti probabilmente soffici si riducono di spessore sino all'affioramento del substrato (chiaramente identificato come serie di corpi sedimentari costituiti da alternanze di sedimenti sciolti di compattezza ignota). In questa zona, il substrato appare, in un'area ristretta nella parte settentrionale, deformato e/o fagliato da strutture probabilmente relazionate ad un'area di instabilità identificata a Nord del campo (dati EmoDNEt). Queste deformazioni non sembrano interessare la copertura sedimentaria olocenica e non deformano in maniera sostanziale il fondo marino attuale.

4.1 RISULTATI DI DETTAGLIO: CAVIDOTTO DI COLLEGAMENTO

Come da attese, l'area prossimale e di approdo del collegamento presentano complessità e particolarità legate all'azione delle onde, alla presenza di forme riconducibili alla presenza di antichi solchi erosivi fluviali ma, soprattutto, alla contemporanea presenza di biocenosi di pregio (prateria di *Cymodocea nodosa*) che colonizzano le predette morfologie.

I dati stratigrafici indicano la presenza di una coltre di sedimenti su un substrato acustico di natura non definita con spessori variabili da 0 a circa 1.3 m (Figura 6) anche al di sotto della prateria.

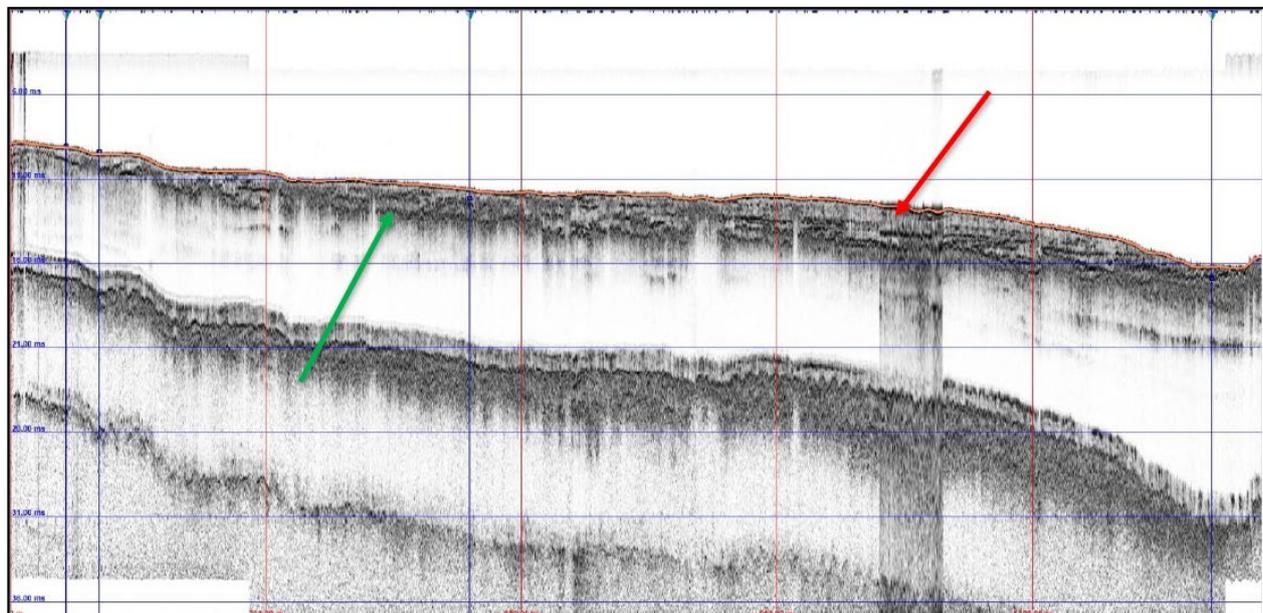


Figure 6: Linea SBP CAVO A 19042025_082910: si noti la copertura sedimentaria al di sotto del fondo marino freccia rossa) attuale ed il substrato acustico (freccia verde)

Procedendo verso Nord, tra KP 54 e 55 fino a circa 13 m di profondità, iniziano a presentarsi aree caratterizzate da presenza di biocenosi biocostruttive (Coralligeno) che deformano chiaramente il fondo alternate ad aree a

copertura sabbiosa o a 'mattes' morta di *Posidonia oceanica*. La coltre sedimentaria è chiaramente individuata nei dati SBP (Figura 7) di spessori di oltre 2 m: essa probabilmente caratterizza l'intera area (anche al di sotto delle biocostruzioni e dalle forme di 'mattes' morta) anche se non individuabile a causa della riflessione totale del segnale dovuta alla presenza di queste caratteristiche superficiali.

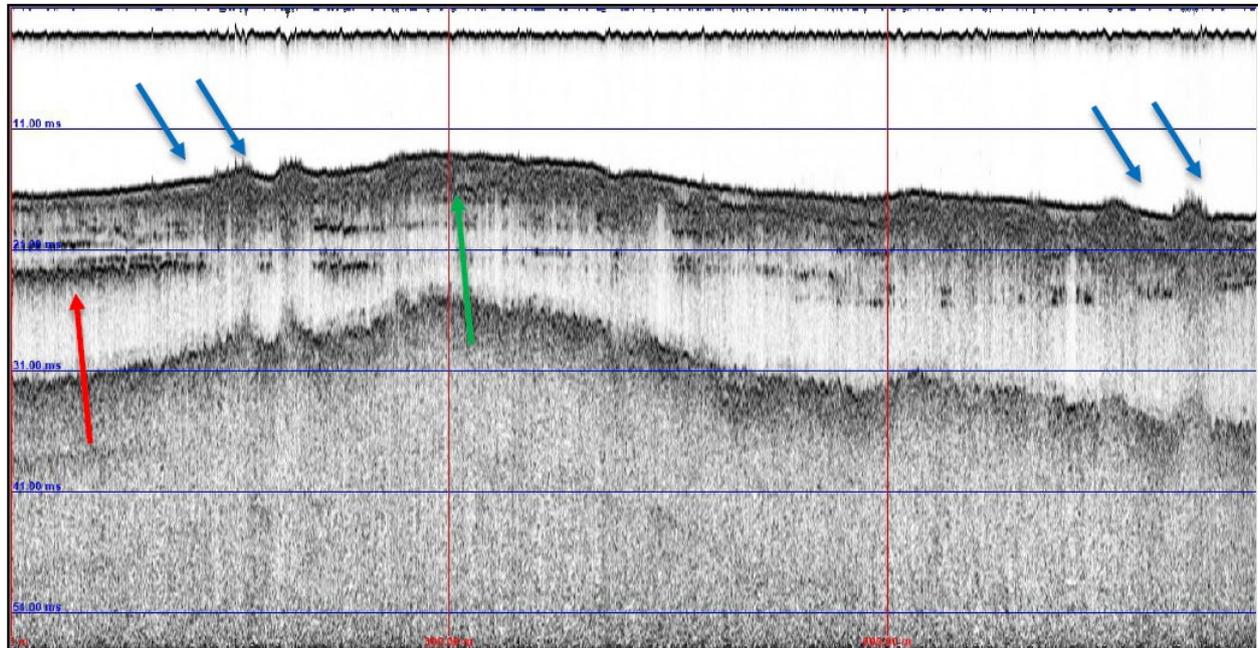


Figure 7: Linea SBP CAVO B 22042025_065333: si noti la presenza di un riflettore profondo a circa 4 m dal fondo (freccia rossa) che scompare all'occorrenza di biocostruzioni (freccie blu) e 'mattes' morta di *P. oceanica* (freccia verde)

Fino a KP 53 il corridoio è ampiamente occupato da 'mattes' morta di *P. oceanica*. Da KP 53 a KP 52 il corridoio incrocia una morfologia ascrivibile ad una forma erosiva di origine fluviale orlata sui lati da ampie fasce colonizzate da biocostruzioni. Si tratta di una depressione fluviale che occupa l'intero corridoio indagato allungata in direzione NO-SE il cui fondo è occupato da sedimenti sciolti spesso colonizzati da biocostruzioni isolate e di buon rilievo. Procedendo verso il largo, le biocostruzioni iniziano ad essere più diffuse e a compattarsi l'una all'altra. Il dato SBP (Figura 8) mostra chiaramente una sezione della forma erosiva descritta brevemente sopra: si tratta di un solco di probabile origine fluviale formatosi in condizioni subaeree durante un periodo glaciale.

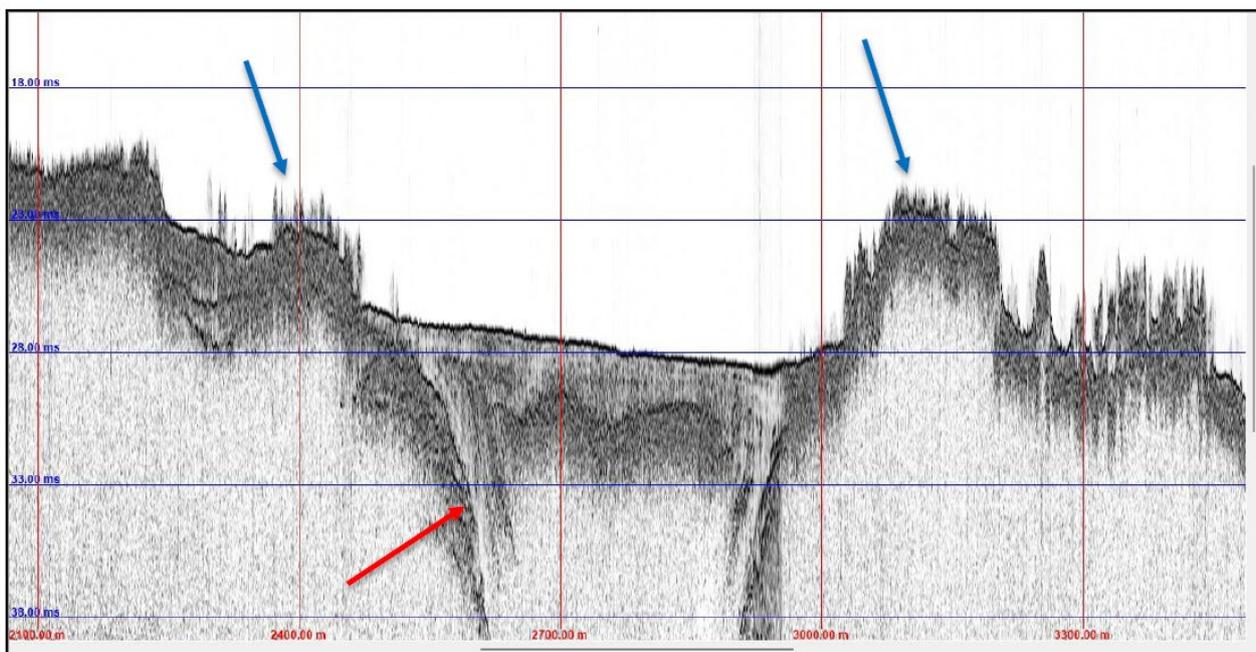


Figure 8: Linea SBP CAVO A 19042025_093502: la depressione e le geometrie della stratificazione interna (freccia rossa) indicano una probabile origine fluviale; molto interessanti gli echi che appaiono prima del fondo s.s. (freccie blu) generati dalle biocostruzioni

Da KP 52 a KP 49, l'intero corridoio indagato è caratterizzato dalla costante presenza di biocostruzioni abbastanza compatte. È importante evidenziare la presenza di una sottile coltre di sedimentaria all'interno delle aree caratterizzate dalle biocostruzioni. I dati SBP mostrano sempre questa caratteristica in quest'area a profondità variabili tra 1.0 m e 2.0 m al di sotto del fondo (Figura 9 e Figura 10).

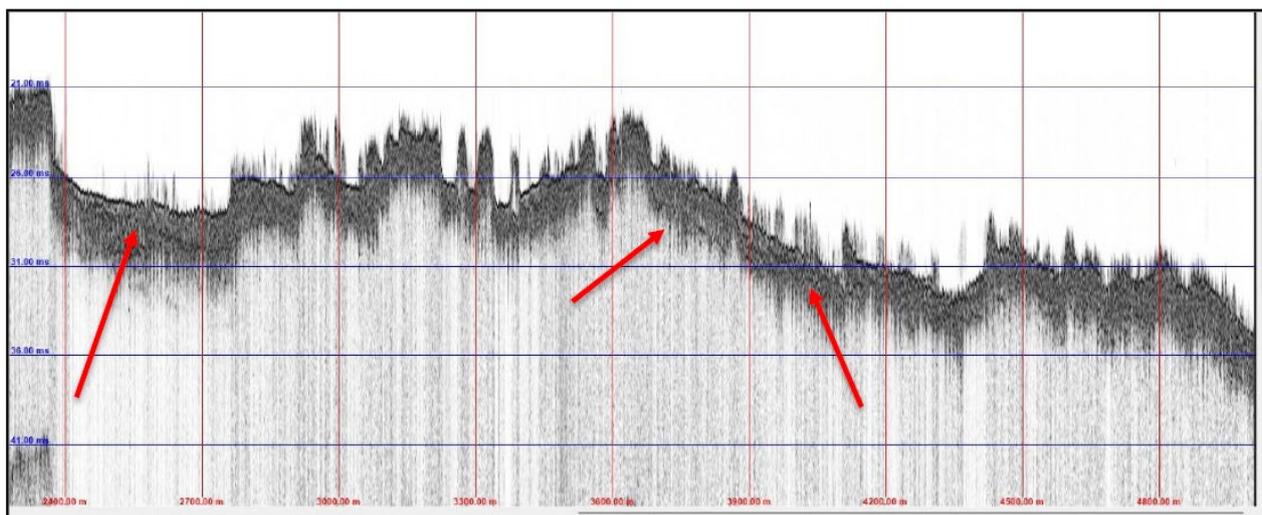


Figure 9: Linea SBP CAVO D r1 20042025_131436: si noti la scarsa penetrazione del segnale sismico dovuta alla densa presenza di biocostruzioni sul fondo. Le freccie rosse mostrano un debole riflettore indicante la presenza di una coltre di sedimenti sciolti alla base delle biocostruzioni

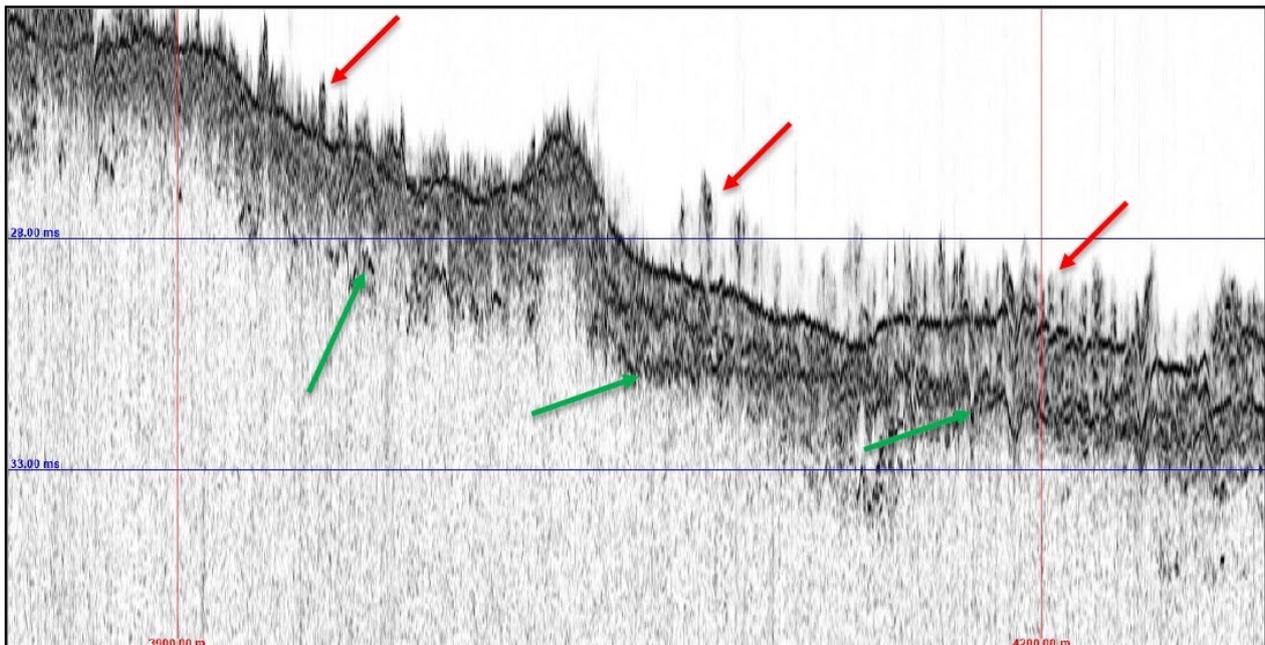


Figure 10: Linea SBP CAVO A 19042025_093502 - dettaglio: qui si notano meglio le sottosuperfici presenti nelle aree a biocostruzioni tra KP 52 e KP 49. Le biocostruzioni più rade (freccie rosse) permettono una migliore penetrazione del segnale al di sotto del fondo evidenziando la presenza di una copertura di sedimenti sciolti su un substrato acustico (freccie verdi)

Da KP 49 in poi, la natura del fondo e del sottofondo cambiano radicalmente. Da circa 27 m di profondità le biocostruzioni risultano molto rarefatte ed isolate in piccoli rari nuclei. Da questo punto in poi procedendo lungo il corridoio indagato verso il largo, la copertura sedimentaria tende ad inspessirsi ed il substrato acustico appare continuo e situato a profondità sempre maggiori rispetto al fondo marino. I sedimenti superficiali sono probabilmente costituiti da limi sabbiosi e/o argillosi depositatisi in ambienti calmi di mare aperto. Gli spessori registrati di pochi decimetri in corrispondenza delle ultime biocostruzioni assumono subito valori metrici procedendo verso nord (Figura 11).

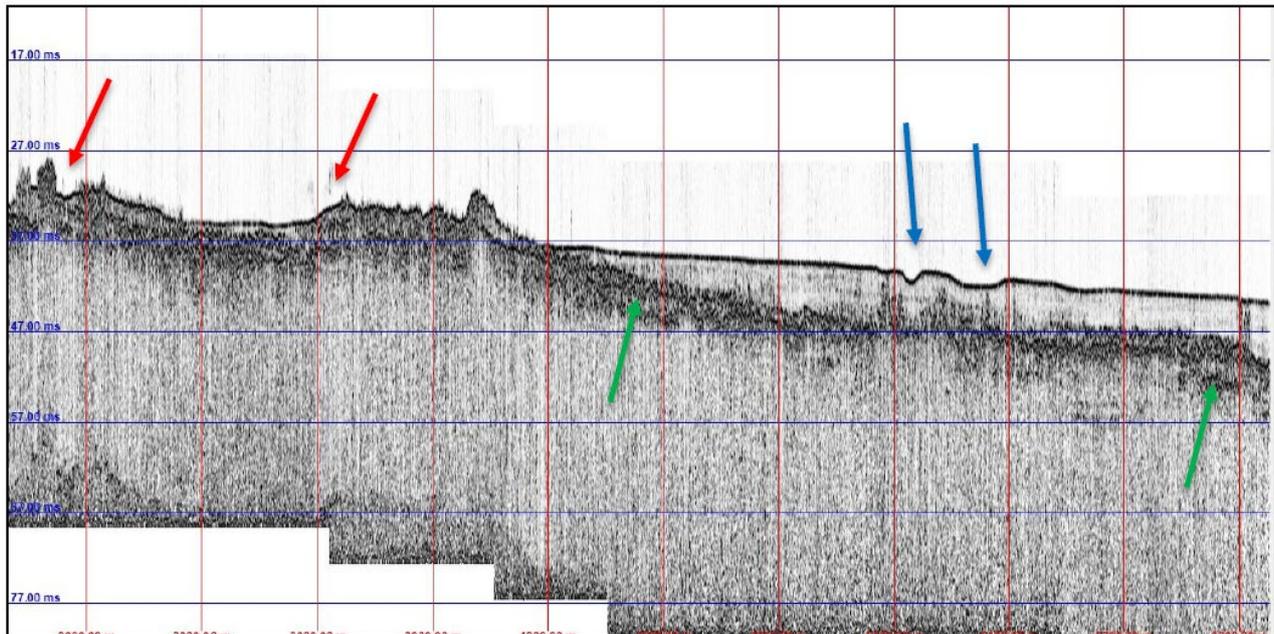


Figure 11: Linea SBP Cavo_C_21042023_125608 - dettaglio: ultime biocostruzioni sul fondo a KP 48 (frecce rosse) e sedimenti fini su substrato acustico (frecce verdi). Le frecce blu indicano le depressioni generate dall'intensa attività di pesca a strascico

Da KP 46 (circa 30 m di profondità) a KP 6 (circa 116 m di profondità), il corridoio indagato presenta caratteristiche omogenee:

- Fondo caratterizzato da sedimenti sciolti fini (limi e/o argille variamente sabbiosi) con spessori metrici sul substrato acustico di natura sconosciuta
- Fondo pressoché piatto caratterizzata da deboli pendenze ($> 0.5^\circ$) verso il largo
- Assenza di morfologie o biocenosi di qualsiasi rilievo
- Assenza di relitti o oggetti potenzialmente pericolosi per il sistema
- Presenza costante di alta densità di solchi da pesca a strascico

La facies acustica della coltre sedimentaria postglaciale presenta una tipica trasparenza e la presenza di pochi e deboli riflettori a buona continuità laterale all'interno. Ciò indica la scarsa consistenza dei materiali e la natura fine di questi sedimenti (limi e/o argille, Figura 12 e Figura 13). Gli spessori misurati superano sempre i 6 m circa raggiungendo anche i 10 m. Da KP 15 a KP 6 (Figura 13) la coltre sedimentaria post-glaciale inizia decisamente ad assottigliarsi ed il substrato tende ad avvicinarsi al fondo deformandolo. La vicinanza all'area di scarpata inizia a farsi sentire sulle dinamiche sedimentarie marine mentre la natura erosiva della superficie al top del substrato inizia chiaramente ad essere individuata.

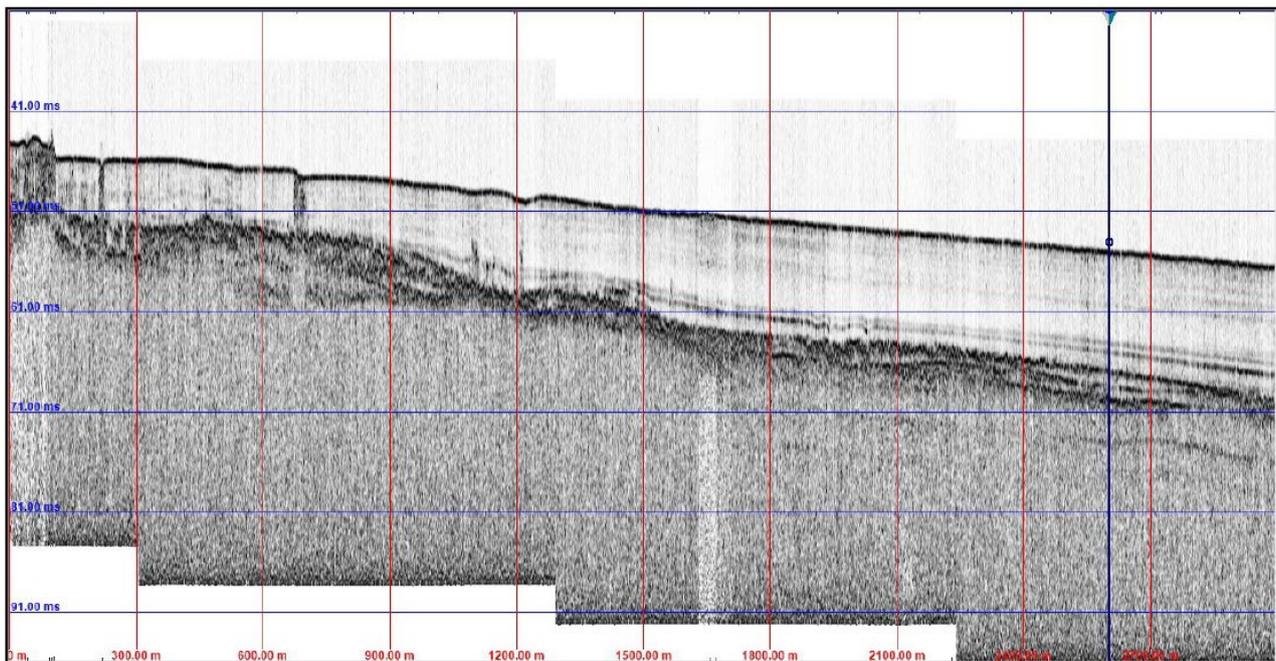


Figure 12: Linea SBP Cavo_C_21042023_124119- dettaglio: sedimenti postglaciali a KP 46: si noti la facies sismica trasparente della coltre e i deboli riflettori all'interno con spessori superiori ai 6 metri

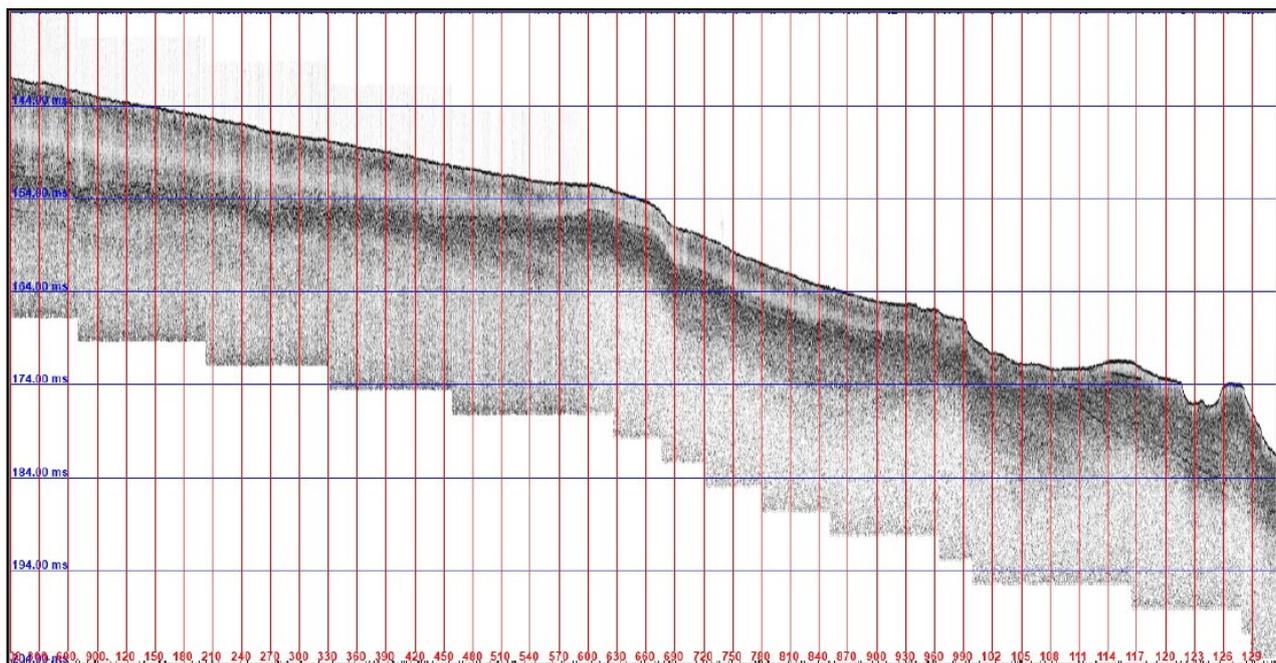


Figure 13: Linea SBP Cavo_E_R1_29042023_110502- da KP 14 a 100 m di prof. a KP 5 a 1120 m circa di profondità. Si noti come la coltre sedimentaria post glaciale si vada via via assottigliando verso il largo

Da circa KP 6 il fondo inizia a presentarsi morfologicamente più complesso: in dettaglio da circa 116 m di profondità la batimetria si presenta lievemente più articolata rispetto al segmento precedente: aree dalle lievi ondulazioni con pendenze massime di circa 1° si alternano con piccole aree pressoché pianeggianti formando una lieve gradinatura con direzione ENE.

In tutta l'area la copertura di sedimenti postglaciali si riduce notevolmente sino a pochi decimetri mentre il substrato preglaciale appare chiaramente costituito da una serie sedimentaria costituita da alternanze di

sedimenti erosa alla sommità. L'andamento di questa superficie erosiva controlla evidentemente la morfologia più complessa del fondo attuale. In altre parole, il substrato preglaciale è stato modellato da agenti erosivi che ne hanno determinato la morfologia complessiva. Su questo si è sedimentata solo una sottile coltre di sedimenti post glaciali a causa, probabilmente, di una dinamica sedimentaria influenzata dalla vicina scarpata del Golfo di Manfredonia. Queste caratteristiche rimangono una costante in tutta l'Area del Campo Eolico, descritta nel prossimo paragrafo.

Non sono presenti aree di evidente affioramento del substrato la cui consistenza non è valutabile in questa fase ma probabilmente formato da alternanze di sedimenti compatti e/o molto addensati.

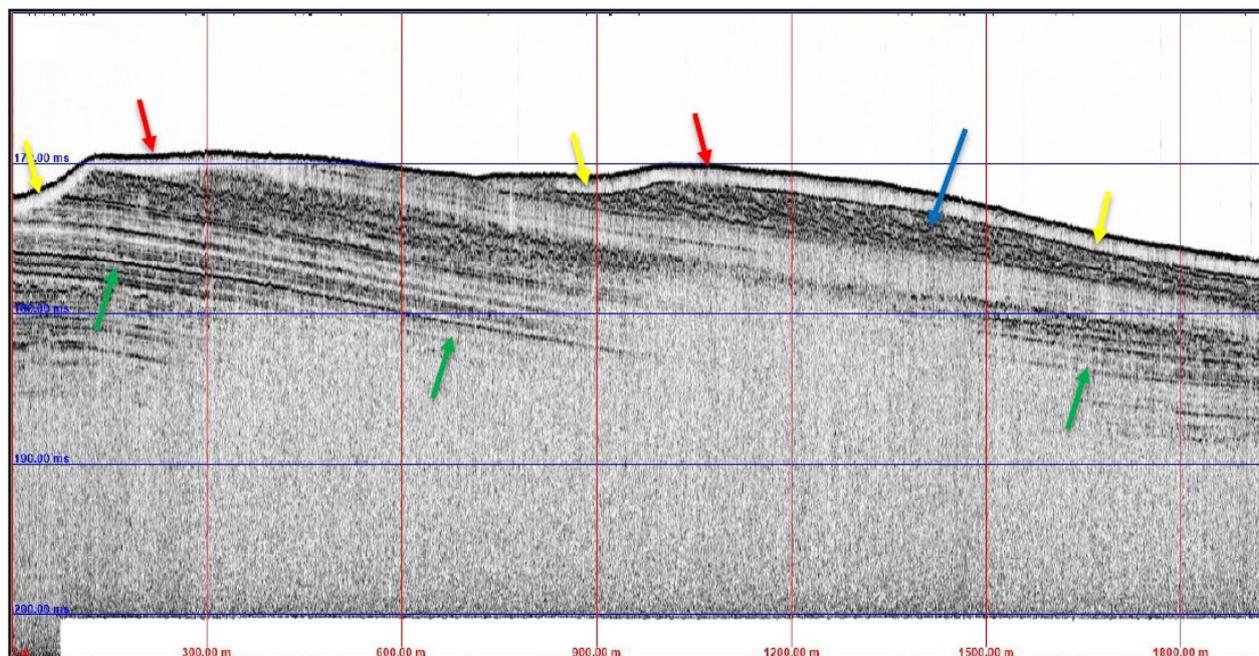


Figure 14: Linea SBP Linea_P_18_17_07062023_093717- KP 0 - profondità 130 m circa: si noti come la coltre sedimentaria post glaciale sia ridotta a pochi decimetri (freccie rosse) e la stratificazione parallela del substrato lievemente inclinata (freccie verdi). Nella parte superiore delle serie sedimentaria del substrato è presente un corpo clinostratificato (freccia blu) al di sotto della superficie erosiva ascrivibile all'ultima glaciazione (freccie gialle)

4.2 RISULTATI DI DETTAGLIO: CAMPO EOLICO

In generale, l'area destinata alla installazione degli aerogeneratori e delle sottostazioni presenta caratteristiche morfologiche differenti rispetto al corridoio del cavidotto di collegamento. Si tratta dell'area immediatamente prospiciente l'attuale scarpata del Golfo di Manfredonia che porta il fondo marino da circa 130 m alle profondità massime del paraggio marino nei pressi dell'orlo della scarpata (200 m circa).

Presenta lievi ondulazioni con delle piccole scarpate con direzione NNO-SSE circa parallela alla direzione della scarpata. Queste morfologie appaiono originate dalle preesistenti forme delle superfici preglaciali. In altre parole, l'azione erosiva esercitata in questa area nei periodi di emersione durante il basso stazionamento del livello del mare ha creato delle morfologie che sono state solo in piccola parte nascoste dalla sedimentazione post-glaciale che presenta spessori di modesta entità.

Il substrato è chiaramente formato da serie sedimentarie molto probabilmente costituite da alternanze a differente granulometria o compattezza evidentemente erose sulla loro parte sommitale. In alcune aree sono presenti corpi sedimentari intermedi relazionabili alla trasgressione marina o altri eventi sedimentari del periodo.

La copertura sedimentaria dei sedimenti olocenici è presente in tutta l'area del campo con spessori variabili da pochi decimetri a pochi metri. Solo poche e piccole aree nella parte settentrionale del campo in cui sono evidenti delle aree di affioramento sulle quali sembrano impostate biocostruzioni di scarso rilievo morfologico. I dati stratigrafici hanno messo in evidenza delle aree di deformazione e fratturazione nella parte settentrionale dell'area del campo. Queste sembrano interessare solo il substrato e non la copertura sedimentaria olocenica. L'area meridionale del campo eolico presenta una copertura sedimentaria che appare continua con spessori che tendono ad aumentare verso Est fino a qualche metro, come si evince dalla sezione SBP rappresentata nella Figura 15.

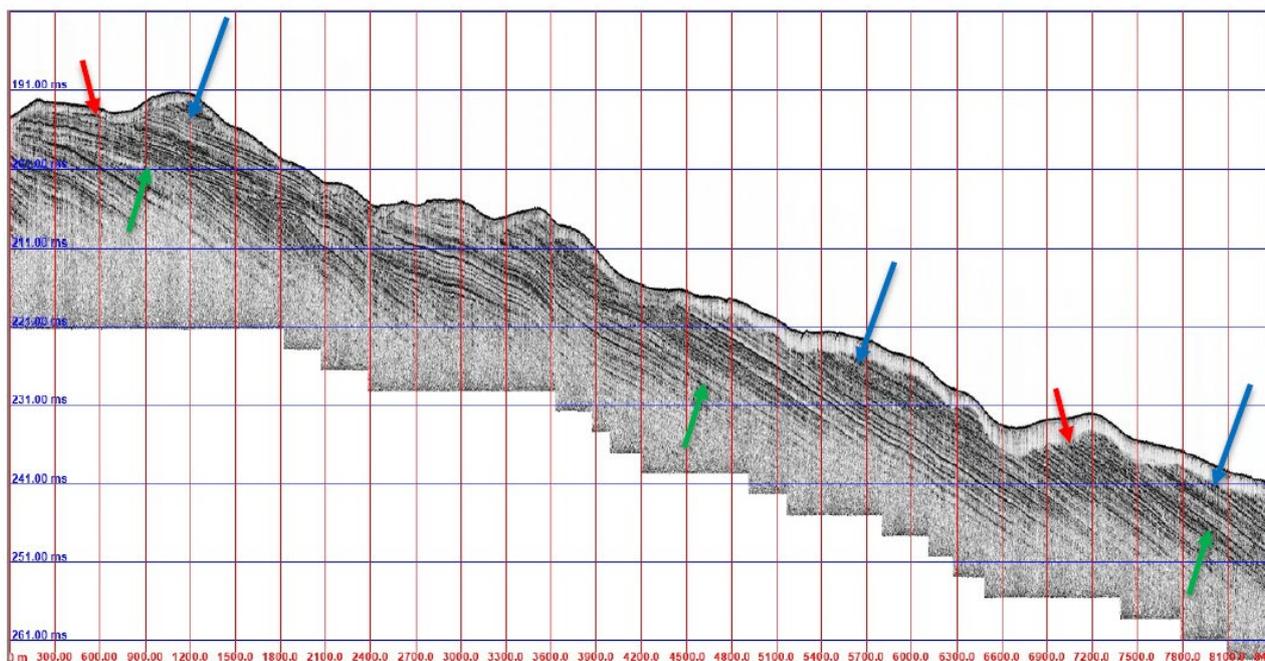


Figure 15: Linea SBP PALE08_A__04062023_101821: si noti come la coltre sedimentaria post glaciale si presenti continua con spessori variabili da alcuni decimetri a qualche metro (freccie rosse); Stratificazione parallela del substrato lievemente inclinata (freccie verdi) terminante con un toplap erosivo nella parte sommitale (freccie blu)

Non è possibile determinare in questa fase la natura e la consistenza dei sedimenti costituenti il substrato. Sulla base della esperienza in dati simili, si può affermare che siano delle alternanze di sedimenti fini o medio-fini (limi e/o argille alternati a sabbie fini variamente argillose o limose) la cui consistenza non è valutabile sulla base dei soli dati geofisici (Figura 16 e Figura 17).

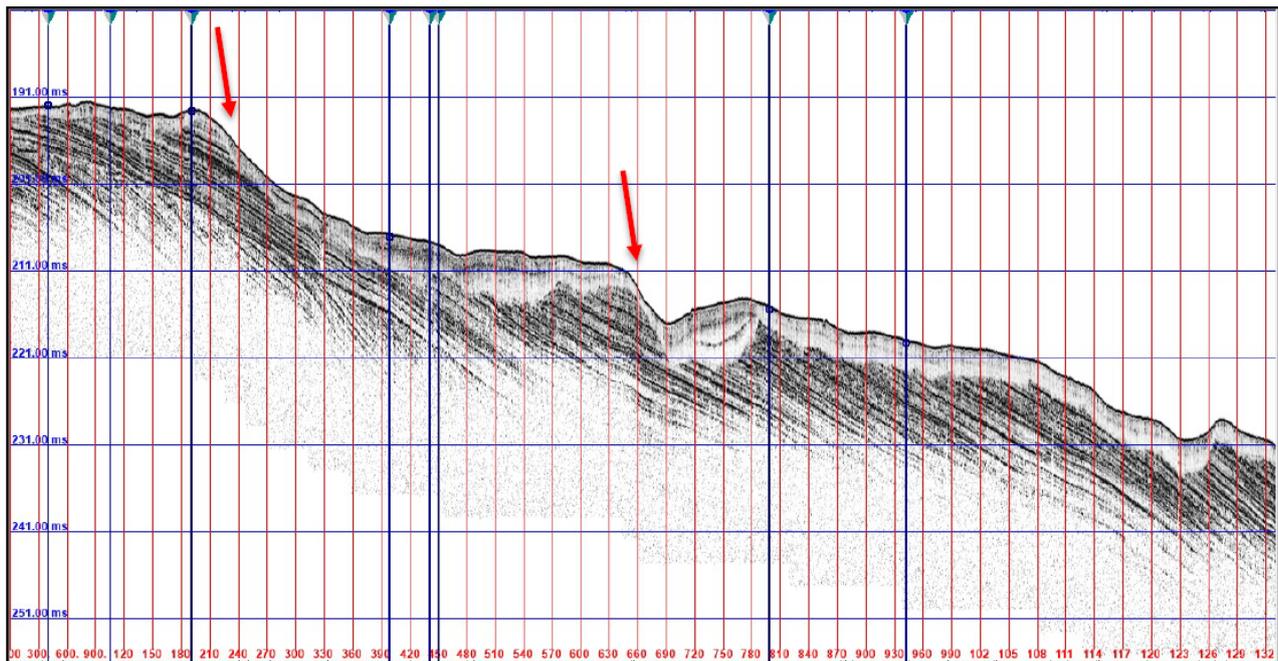


Figure 16: Linea SBP SSTAZZ_R1_A_25052023_095059: le frecce rosse indicano le piccole scarpate riportate

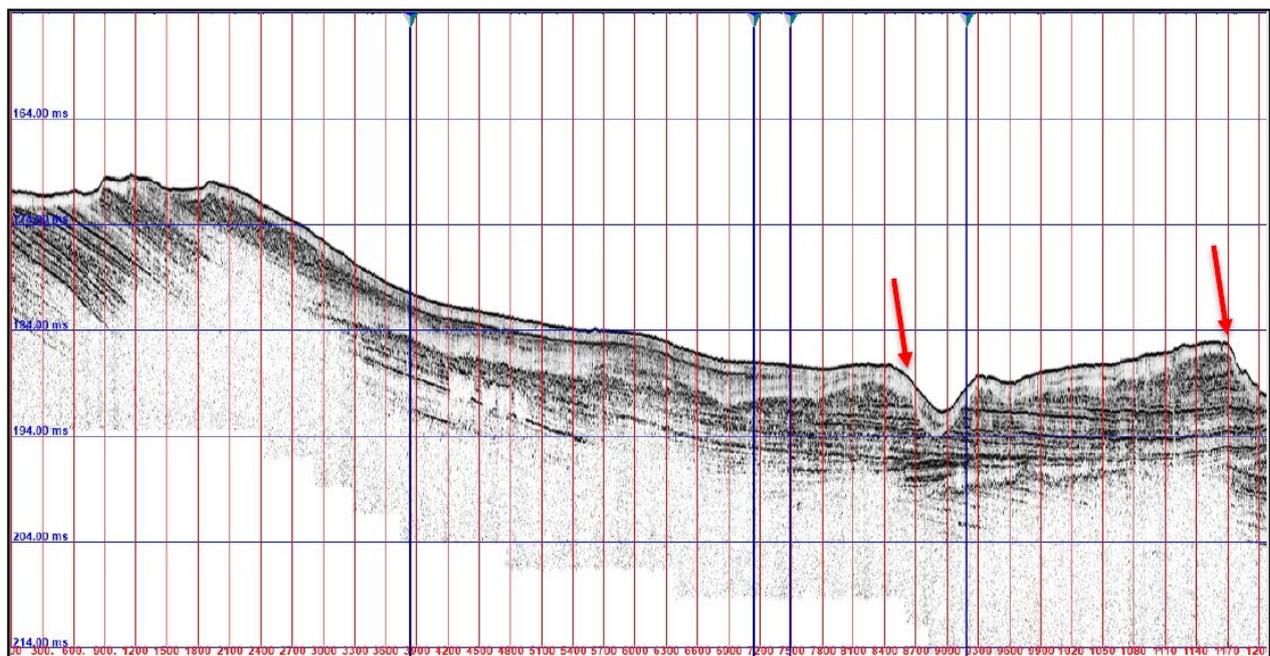


Figure 17: Linea SBP SSTAZ_CL_30052023_101144: le frecce rosse indicano le piccole scarpate

L'area settentrionale del parco eolico presenta condizioni morfologiche e di geologia superficiale analoghe a quanto descritto precedentemente per la parte meridionale. Il rapporto tra sedimenti superficiali e substrato è identico ma con limitate aree di affioramento. In queste aree è stata identificata una limitata presenza di biocostruzioni in alcune aree poste all'estremo orientale.

La morfologia appare più complessa con la presenza, oltre che delle piccole scarpate presenti nella parte meridionale, anche per la presenza di piccoli rilievi.

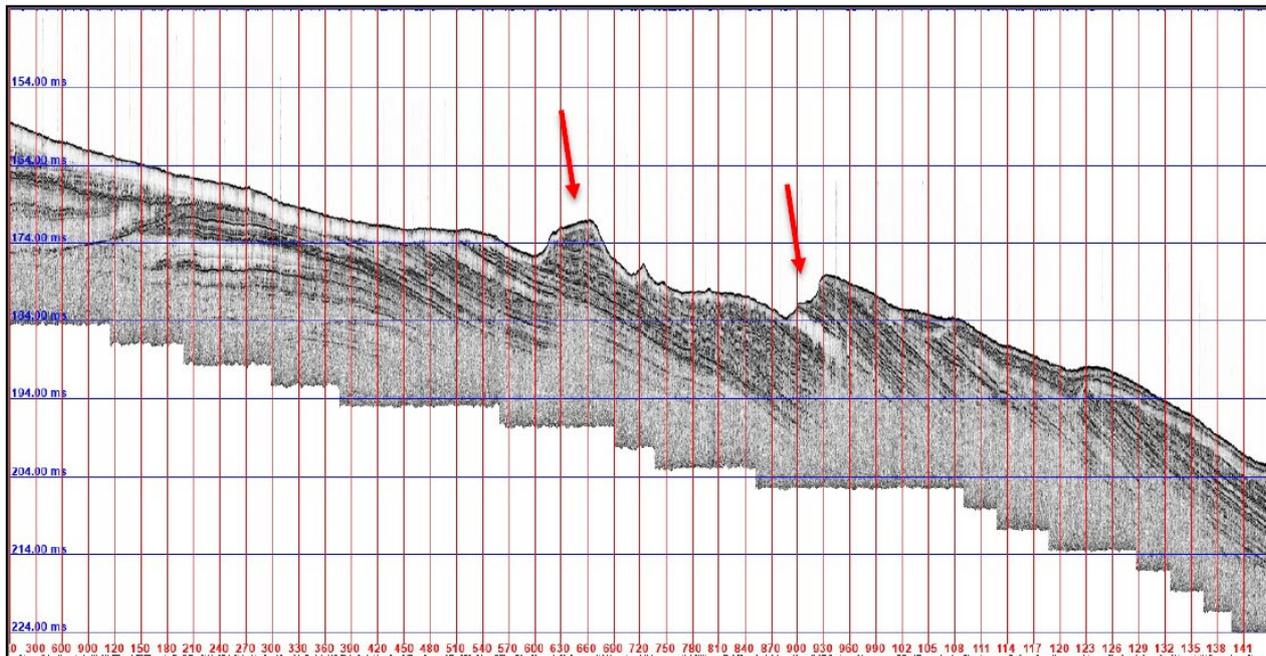


Figure 18: Linea SBP PALE_23_08062023_094508: le frecce rosse indicano i piccoli rilievi e le scarpate che caratterizzano la morfologia dell'area

Va sottolineata la presenza di biocostruzioni impostate principalmente nelle piccole aree di affioramento del substrato nella parte nord-orientale dell'area. Si tratta di piccole strutture collocate alla sommità di piccoli rilievi del fondo avente scarsa elevazione (Figura 19).

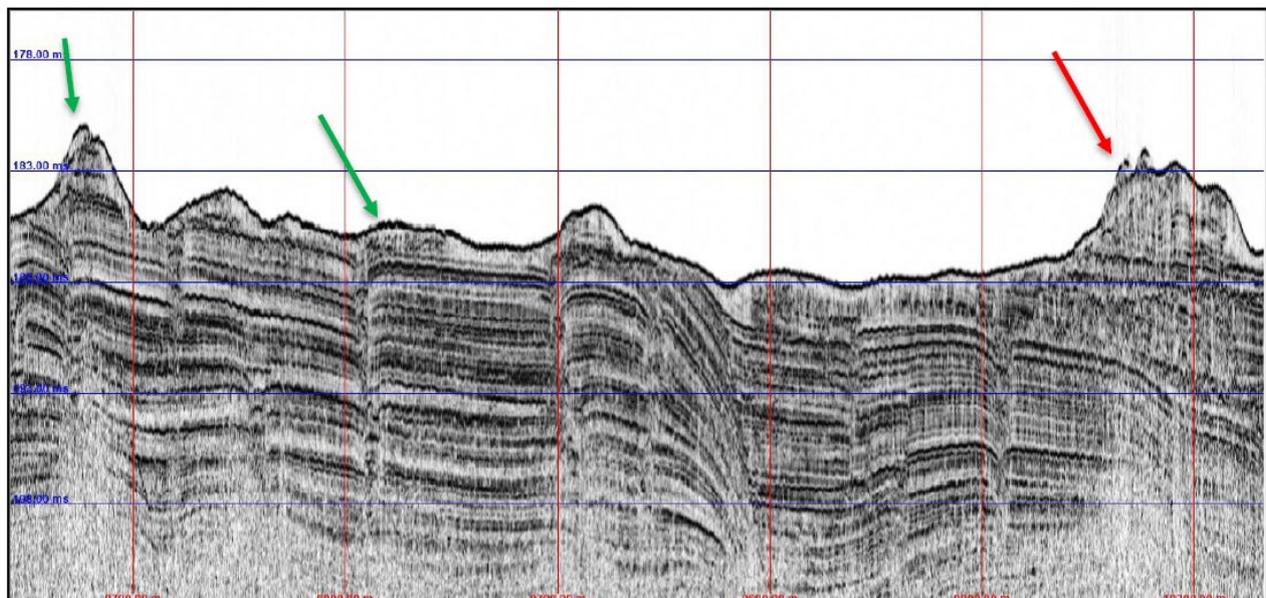


Figure 19: Linea SBP PALE_29_14062023_100509: le frecce rosse indicano i rilievi riconducibili alla presenza di biocostruzioni (frecce rosse). Si notino le aree di affioramento/subaffioramento del substrato in cui la copertura sedimentaria recente si riduce a meno di un decimetro (frecce verdi)

La copertura dei sedimenti superficiali è, di conseguenza, non continua per la presenza delle predette aree di affioramento e, in generale, più esigua rispetto alla parte meridionale del campo. Gli spessori variano da zero al massimo a 2 m circa per aumentare fino a qualche metro solo nelle parti più profonde (Figura 20).

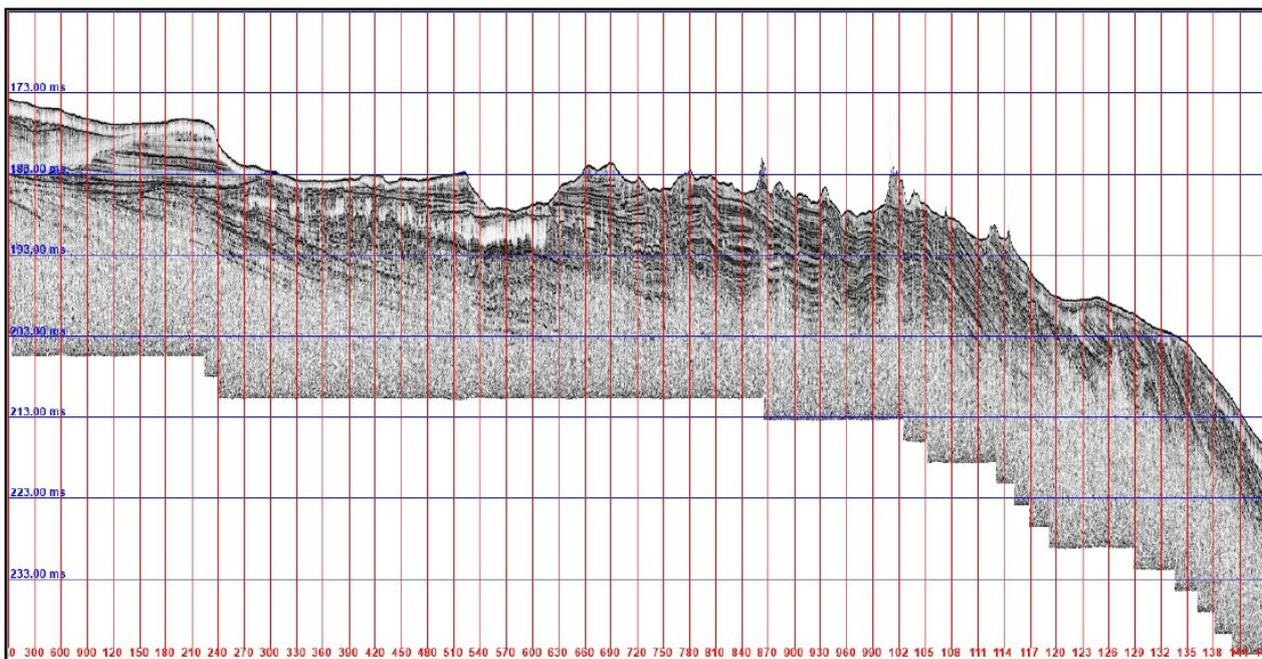


Figure 20: Linea SBP PALE_29_14062023_100509: si noti la distribuzione e gli spessori della coltre sedimentaria attuale

Il substrato presenta le stesse caratteristiche anche in questa zona: probabili alternanze di sedimenti sciolti con stato di addensamento non determinabile. In alcune aree sono presenti corpi intermedi originati da accumuli locali sabbiosi (Figura 21).

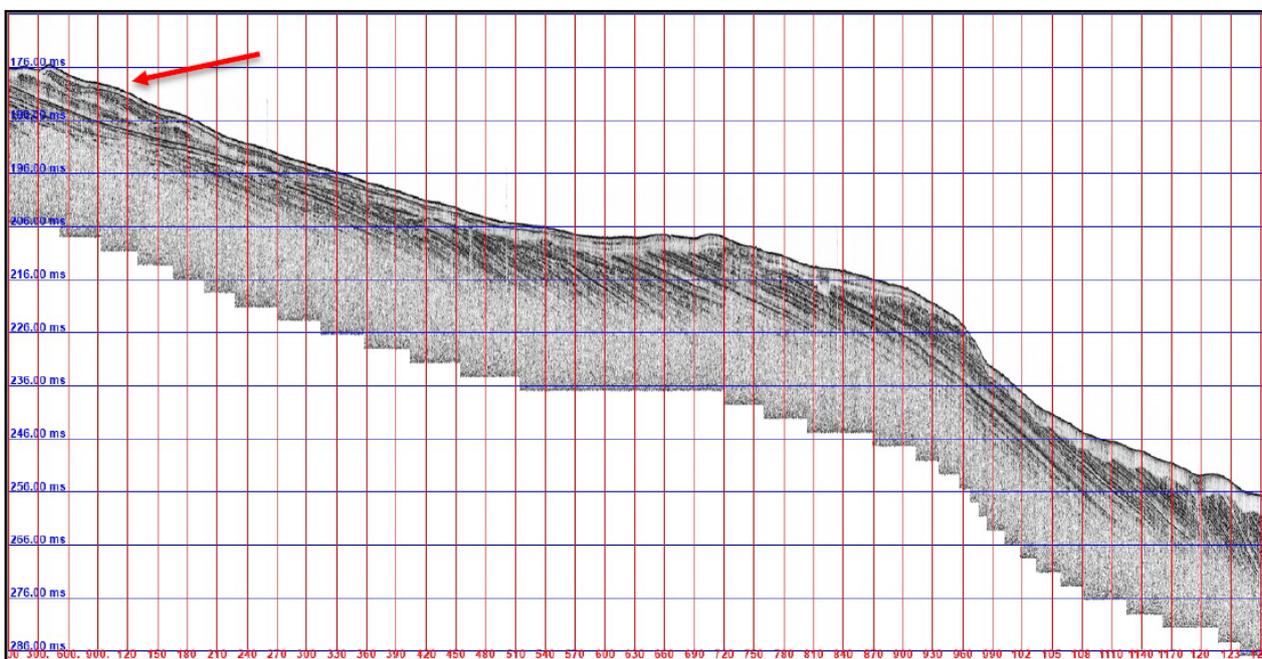


Figure 21: Linea SBP PALE_18_07062023_075823: si noti il corpo intermedio nella parte meno profonda (freccia rossa) costituito probabilmente da sabbie e la distribuzione dei sedimenti superficiali postglaciali ed il loro drappeggio sulla superficie di erosione che limita superiormente il substrato

Sono state identificate zone di intensa deformazione e fratturazione del substrato. Queste ricadono nella estremità settentrionale del campo e mostrano una relazione con la grande area di dissesto presente sulla scarpata subito a nord dell'area (dati batimetrici EmoDnet e Figura 22).

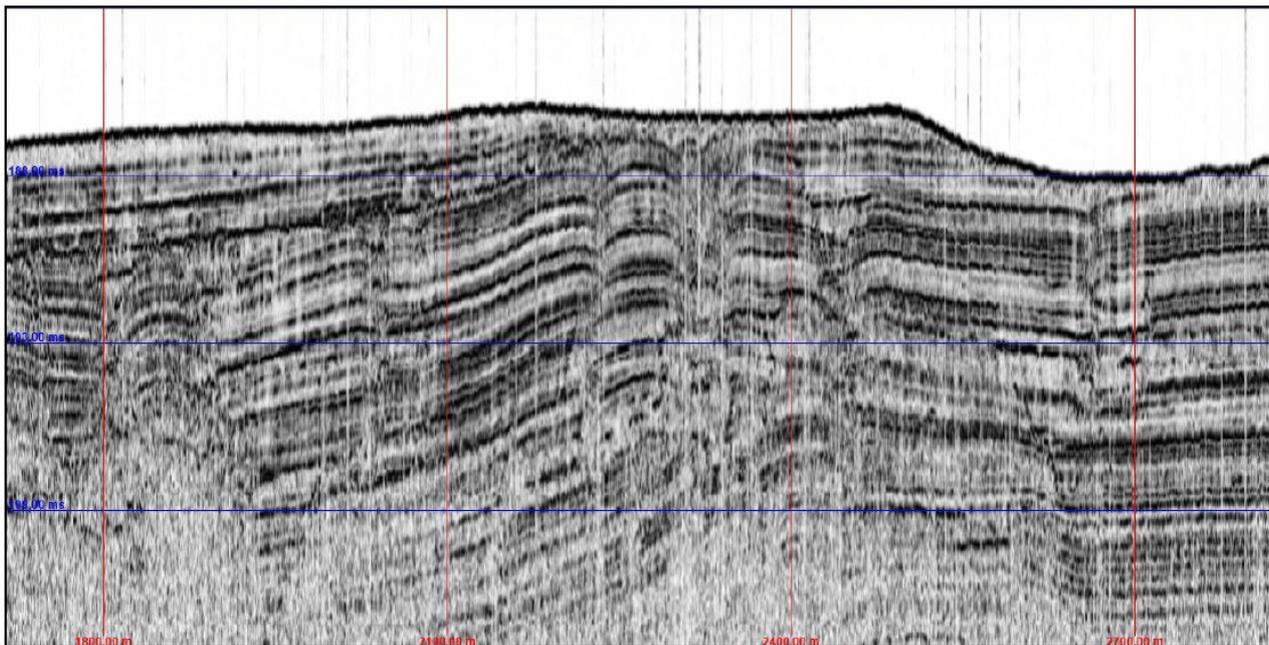


Figure 22: Linea SBP PALE_18_07062023_075823: si noti il corpo intermedio nella parte meno profonda (freccia rossa) costituito probabilmente da sabbie e la distribuzione dei sedimenti superficiali postglaciali ed il loro drappeggio sulla superficie di erosione che limita superiormente il substrato

Qui si vuole ricordare, inoltre, la presenza di una nota struttura tettonica che attraversa la scarpata in corrispondenza della suddetta area di frana (Linea Gondola – Faglia di Mattinata): si tratta del principale lineamento tettonico dell'area, una faglia trascorrente che delimita il Gargano e si estende sino al centro dell'Adriatico meridionale. È evidente la relazione tra l'area di dissesto franoso e la faglia: molto probabilmente le deformazioni e le fratture che sono state identificate nei dati SBP hanno una stretta relazione con queste evidenze. Ai fini del progetto e sulla base dei dati acquisiti, non risulta evidente una attività delle strutture in tempi recenti ma si suggerisce di evitare ancoraggi a trascinalamento o a gravità in quanto non è da escludersi la presenza di fenomeni in atto che possano coinvolgere sedimenti superficiali. Sono da escludersi invece fenomeni che possono coinvolgere gli strati più profondi.

5 ELEMENTI STRUTTURALI DELL'AREA

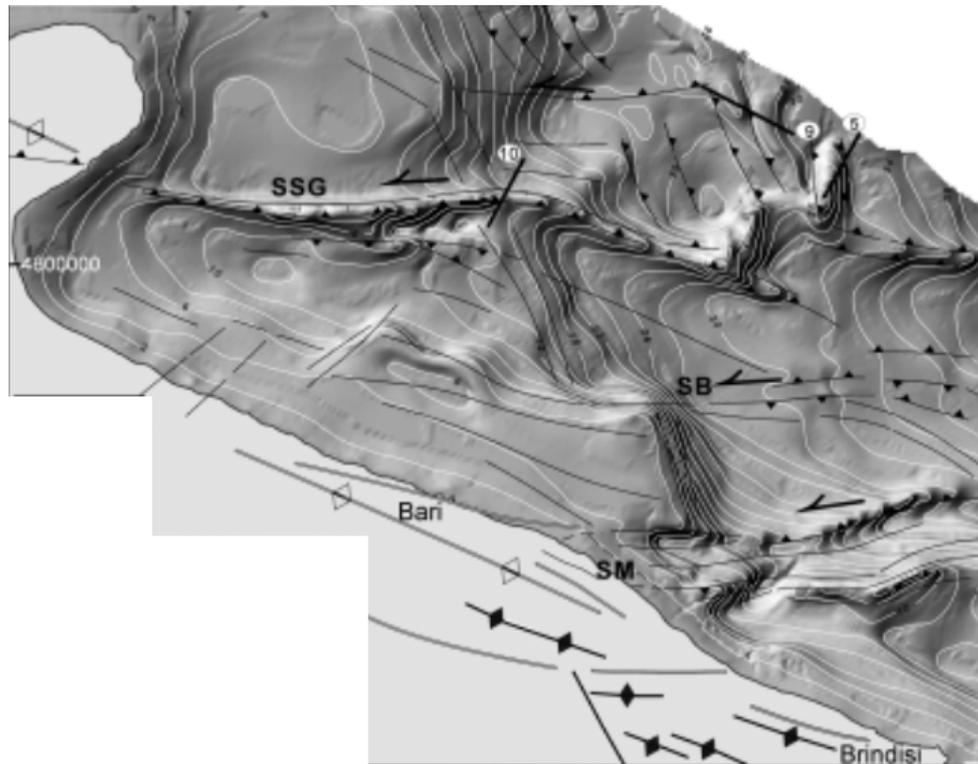


Figure 23: Schema strutturale del Golfo di Manfredonia e della costa pugliese – SSG: faglia sud garganica (AA.VV., 1991)

Come accennato, uno schema strutturale mesozoico di tipo distensivo con vergenza NW-SE è stato probabilmente riattivato dall'onda compressiva appenninica: questo ha generato una inversione su alcune strutture principali che hanno portato alla deformazione del substrato mesozoico ed alla formazione di bacini secondari rispetto alla vergenza principale della catena appenninica. È questo il caso del Golfo di Manfredonia, in cui una antica lineazione mesozoica è stata probabilmente riattivata generando una importante faglia con direzione E-O che controlla l'intero bacino sud-garganico (Faglia di Mattinata, o Faglia sud-garganica o Linea Gondola per la parte sommersa centro adriatica).

In sintesi, l'assetto geologico dell'area di progetto è costituito da rocce deformate carbonatiche e clastiche risalenti al Mesozoico – Cenozoico, a cui si sovrappongono sedimenti relativamente indeformati del Plio-Quaternario fortemente controllati dall'evoluzione tettonica locale (SSG, Faglia di Mattinata) e dalle variazioni eustatiche.

Si sottolinea l'importanza della faglia nel controllo morfologico e sedimentario dell'intera area: oltre alla stretta relazione con il Promontorio del Gargano, la struttura presenta evidenze anche sul fondo attuale in relazione alla dinamica sedimentaria prima detta. In particolare, la faglia presenta, almeno nel segmento interessato una natura transpressiva degli stress tettonici che la hanno generata.

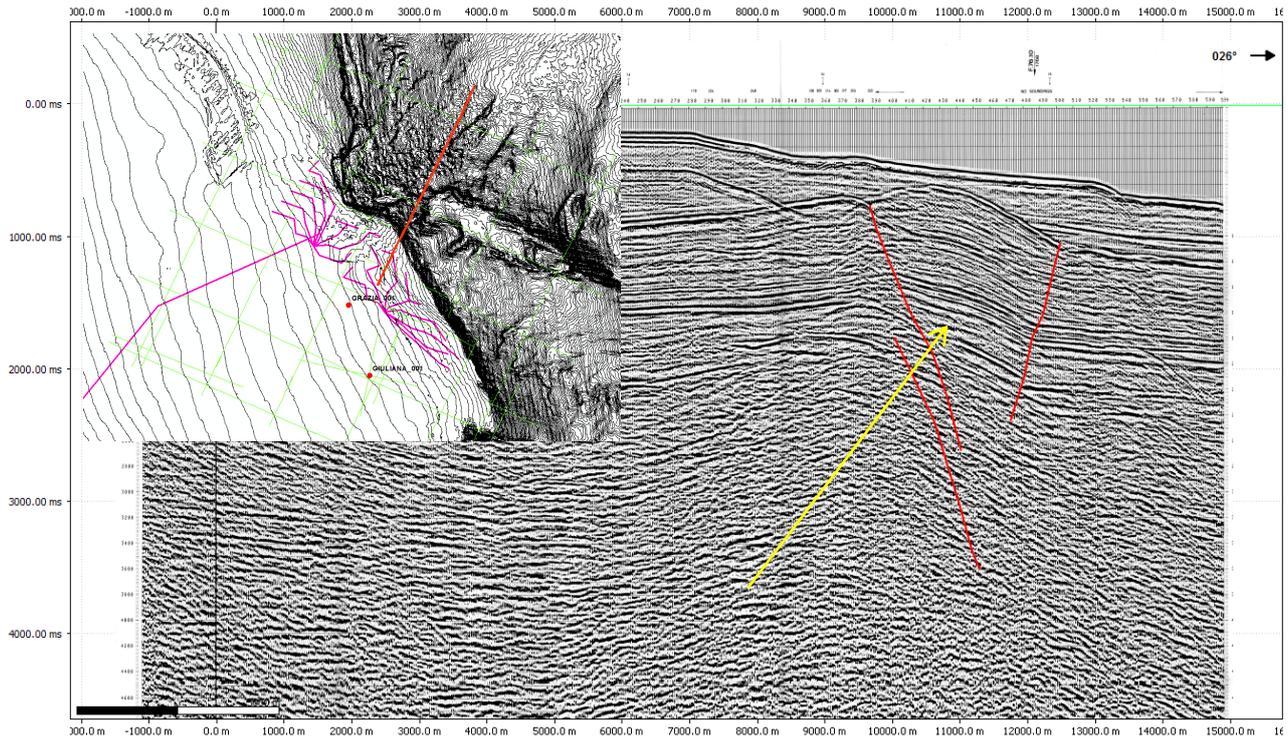


Figure 24: Sezione sismica VIDEPI F76-009: la freccia indica le strutture 'a fiore' della faglia di Mattinata. In alto a sinistra lo schema planimetrico dell'area con indicazione della traccia della sezione (in rosso)

La struttura ha quindi rappresentato anche una soglia fisica con la sua espressione morfologica determinando la forma del bacino a Sud del Gargano riempito dai sedimenti Plio-quadernari che, a loro volta, hanno sepolto la struttura stessa sino alla scarpata attuale. Infatti, come mostrato dalle batimetrie EMODnet, subito a Est della scarpata, la struttura mostra una evidente espressione morfologica deformando il fondo attuale in maniera molto evidente.

6 ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

Due principali elementi geomorfologici caratterizzano l'area del progetto:

- un sistema piattaforma-scarpata-bacino attuali prodotto della lenta evoluzione sedimentaria del bacino sud-garganico con la sua evidente progradazione verso NE
- due profondi solchi erosivi che segnano profondamente la scarpata attuale posti a Nord e a Sud dell'area dell'impianto.

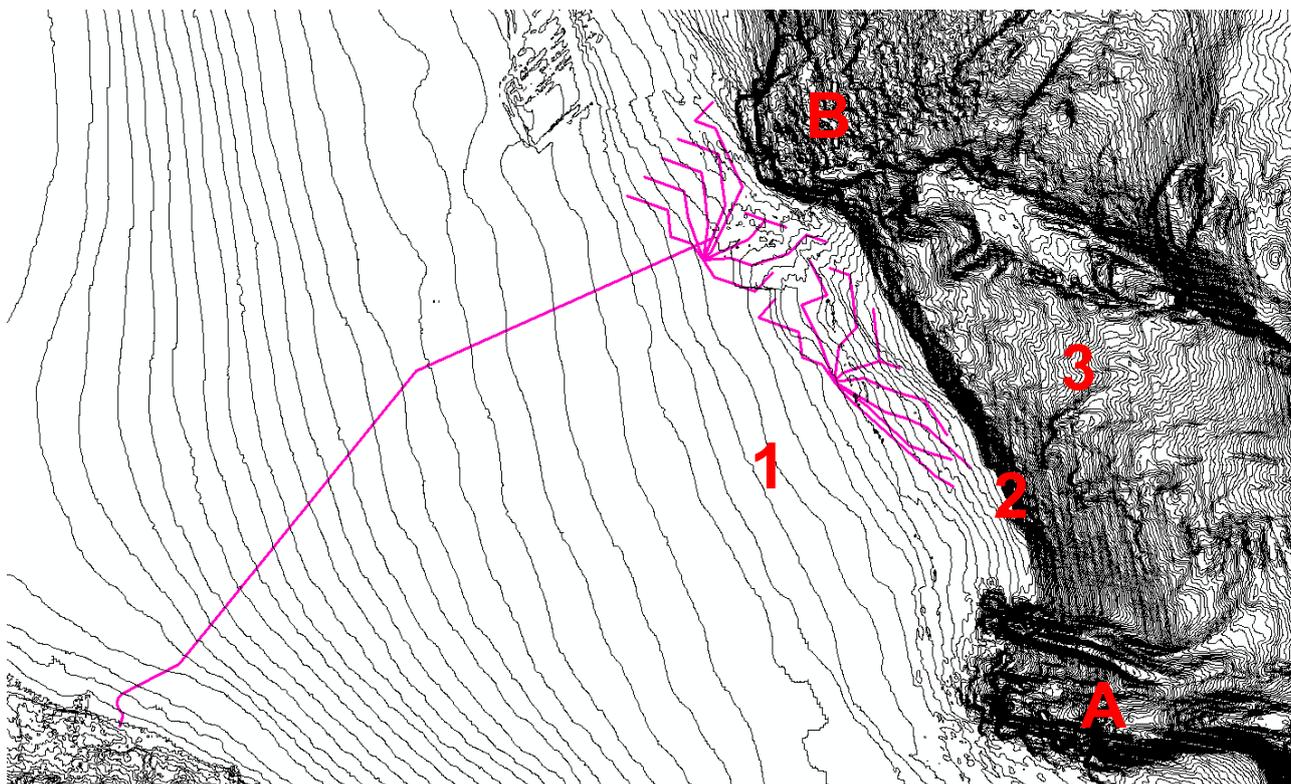


Figure 25: Schema geomorfologico: 1: piattaforma attuale; 2 scarpata attuale, 3: bacino – A: canyon di Bari; B: frana

In particolare, la scarpata attuale presenta un andamento pressoché rettilineo con andamento NE-SO e pendenze circa $> 20^\circ$ costanti portando il fondo dall'orlo della piattaforma (a circa 200 m) sino al bacino a circa 500 m.

Da notare le caratteristiche morfologiche presenti sulla scarpata: a sud, il noto Canyon di Bari e a Nord una vasta area di frana che si trova all'incrocio tra la faglia di Mattinata e la scarpata stessa.

È molto probabile una relazione tra l'area di frana e la faglia di Mattinata che in corrispondenza della nicchia di distacco della frana incrocia la scarpata attuale. La relazione causa effetto non può essere ovviamente dimostrata in questa sede ma, sulla base delle evidenze desunte dai dati esaminati, non appare una attività recente né della struttura né della frana tale da poter interferire con il sistema in progetto.

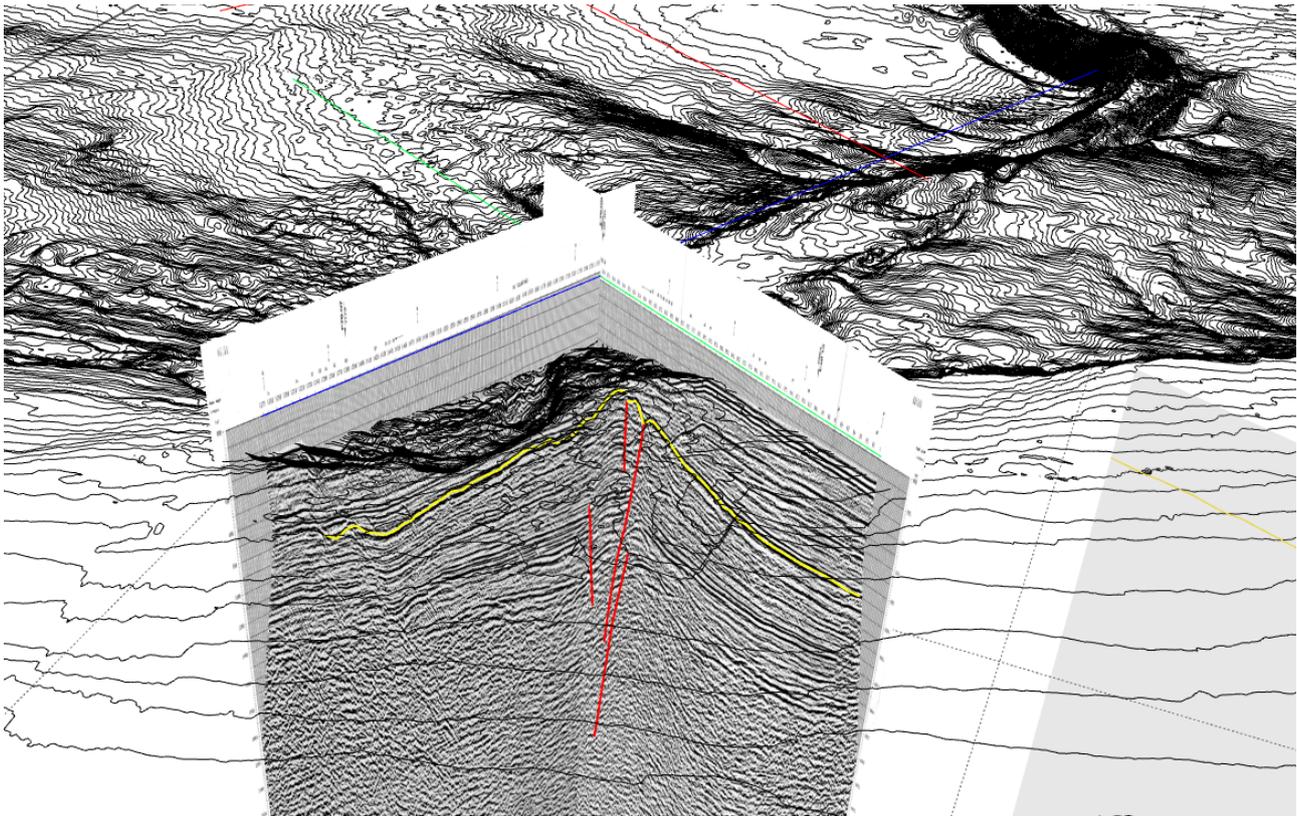


Figure 26: Visualizzazione 3D delle linee sismiche VIDEPI F76-009 e F76-010 e il modello del fondo attuale. Si noti la struttura tettonica (in rosso) in corrispondenza della nicchia di distacco della frana

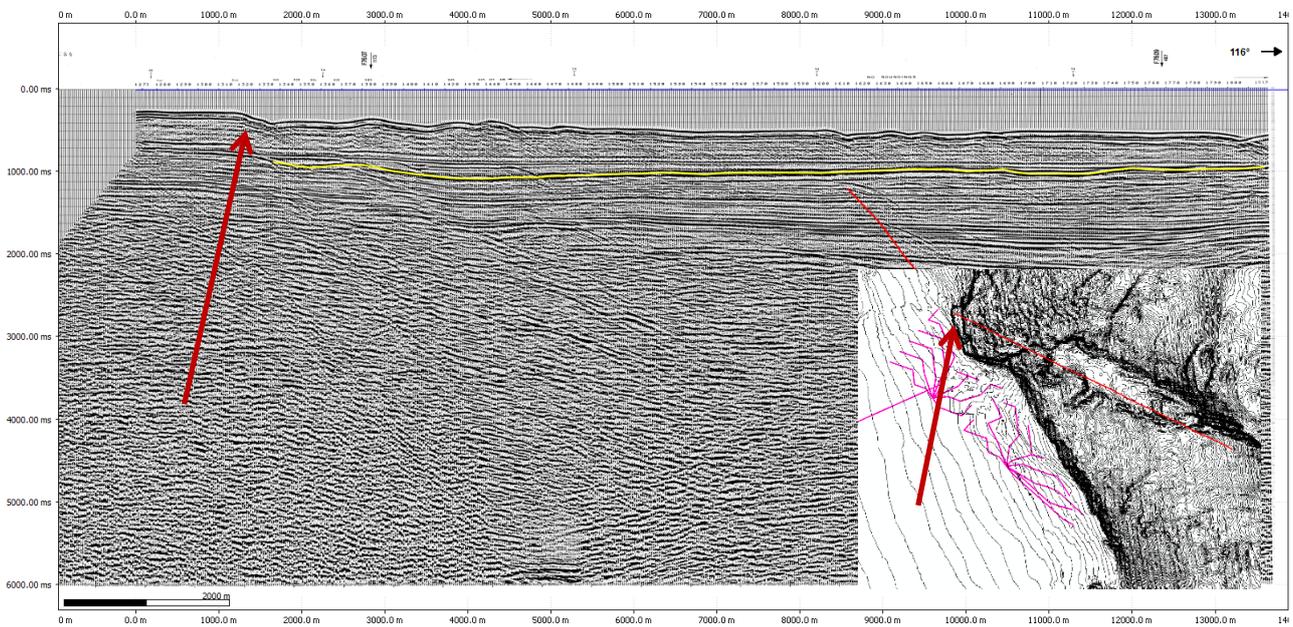


Figure 27: Sezione sismica VIDEPI F76-010: la freccia l'orlo della scarpata. In alto a sinistra lo schema planimetrico dell'area con indicazione della traccia della sezione (in rosso)

7 RISCHI DI NATURA GEOLOGICA

7.1 PRESENZA DI GAS E FLUIDI NEL SOTTOSUOLO

Esistono svariate testimonianze della presenza di gas e fluidi a basse profondità all'interno dei sedimenti Quaternari dei fondali del Mar Adriatico. Nonostante tali evidenze siano principalmente localizzate nell'area Nord dell'Adriatico, esistono testimonianze di sedimenti carichi di gas al largo del Gargano. Tali evidenze consistono nell'identificazione diretta di gas all'interno di campioni di sedimenti, nonché nel 'blanking' del segnale acustico durante campagne di indagini geofisiche. Pockmarks e fori di sfianto sono inoltre stati osservati in precedenti campagne di indagini nell'area (Conti et al., 2002). I profili sismici ed i campioni acquisiti suggeriscono valori molto alti del gradiente di deposizione di sedimenti fini, fatto che può dare luogo all'accumulo di fluidi all'interno della colonna stratigrafica. La presenza di fluidi in pressione determina una riduzione dello sforzo efficace agente sui terreni e la conseguente riduzione della loro resistenza meccanica. Il rilascio periodico di tali fluidi può in alcuni casi essere anche associato ad attività tettonica o sismica.

7.2 STABILITÀ DEI PENDII

Diverse evidenze di dissesto sono presenti lungo il margine della piattaforma continentale nell'Adriatico del Sud. In particolare, sono stati identificati due eventi principali: la frana Gondola e quella Vieste. In particolare, la Frana Gondola è situata in prossimità dell'area del progetto Barium Bay, sebbene questo si sviluppi interamente sulla piattaforma continentale. Si nota tuttavia che la parte sud-est dell'area di progetto è situata in prossimità del margine continentale, oltre il quale si sviluppano i fenomeni di dissesto osservati.

La frana Gondola consiste in un complesso fenomeno di trasporto di massa multi-evento, il quale è ritenuto potenzialmente attivo in epoca recente. Almeno tre eventi distinti sono stati individuati sulla base dei depositi di frana. Il primo, denominato GS1, rappresenta la frana principale ed è datato tra i 20 ed i 24,000 anni. Il secondo, denominato GS2, consiste in un deposito più localizzato, mentre il terzo, GS3, rappresenta l'evento meno esteso e più recente. La frana Gondola interessa sia depositi di origine contouritica sia depositi progradazionali. Si stima che il volume interessato dalla frana sia attorno ai 30 km³, con una profondità massima di 250m ed un run-out di 50 km.

7.3 SISMICITÀ

Il 'Database of Individual Seismogenic Sources' (DISS) sviluppato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mappa le fonti sismiche individuali e composite sul territorio italiano. Le fonti sismiche individuali sono caratterizzate da un set completo di parametri geometrici (lunghezza, immersione, direzione, larghezza), cinematici (rake), e sismologici. Pertanto, il loro grado di attività è generalmente definibile con più grande precisione. Al contrario, le fonti sismiche composite rappresentano strutture dedotte sulla base di dati sia di superficie che profondi, di carattere regionale. Tipicamente una fonte sismogenetica composta include diverse fonti individuali, e pertanto risulta difficile associare loro un grado di attività univoco ed affidabile.

In prossimità dell'area del progetto Barium Bay è presente una fonte sismogenetica composta denominata 'Gondola fault zone' (DISS-ID ITCS070-ITCS074), la quale si estende da Castel Sant'Angelo, sulla penisola del Gargano, fino all'area di progetto (Figura 28). All'interno di tale fonte composta il DISS identifica inoltre una fonte individuale denominata West Gondola fault (DISS-ID ITIS133). Studi recenti basati su dati sismici ad alta risoluzione (Chirp sonar), hanno confermato che la Gondola fault zone presenta chiare indicazioni di attività almeno fino al medio Pleistocene, e localmente anche in tempi recenti. In alcuni punti, segmenti attivi della faglia lunghi fino a 10-20 km, presentano zone di rottura (di tipo strike-slip laterale destra) che si estendono fino al fondale o comunque ai sedimenti Olocenici superficiali. Queste zone di faglia sono tipicamente associate a fenomeni di emissione di gas e fluidi dalle zone più profonde.

Queste osservazioni risultano in linea con le risultanze del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), il quale ha l'obbiettivo di mappare le faglie attive e 'capaci' sul territorio italiano.

Il terremoto più significativo associato alla Gondola fault zone è il terremoto del Gargano del 1893, associato ad una magnitudo (M_w) di 5.39. In generale, l'area a Nord del Gargano risulta a più alta sismicità rispetto all'area a Sud dello stesso. La riduzione della sismicità muovendosi dal Gargano verso sud è evidente anche dalla mappa di pericolosità sismica elaborata dall'INGV, la quale mappa l'accelerazione di picco al suolo (PGA) associata ad una probabilità di superamento di 10% in 50 anni. Secondo tale mappa, l'area del progetto Barium Bay si classifica in Zona 2, caratterizzata da PGA tra 0.050 e 0.150g (Figura 29).

In alternativa, l'accelerazione di progetto per aree fuori costa può essere determinata dalle mappe incluse nella normativa ISO 19901-2.

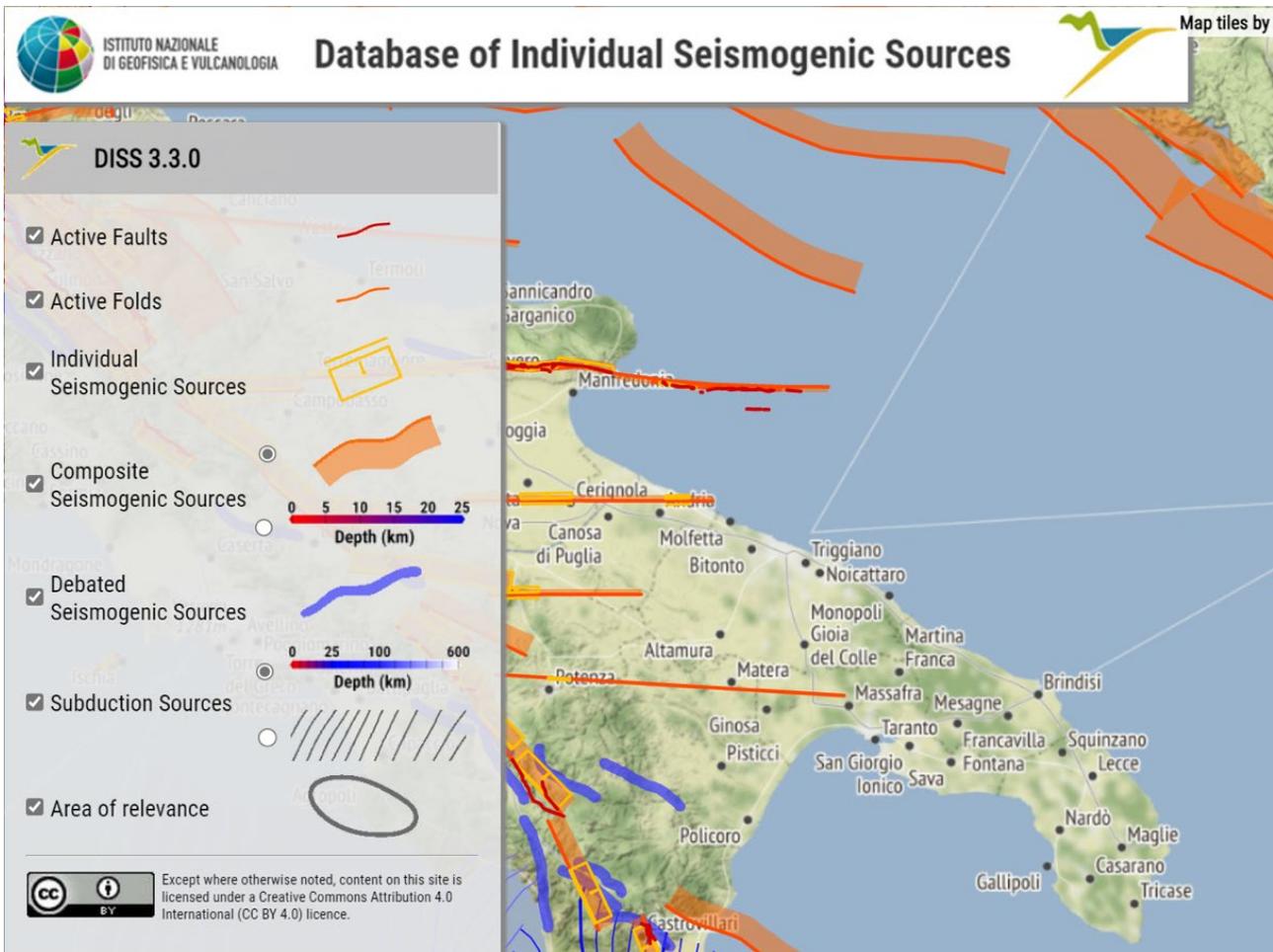


Figure 28: Estratto del database DISS – Sud-Est Adriatico

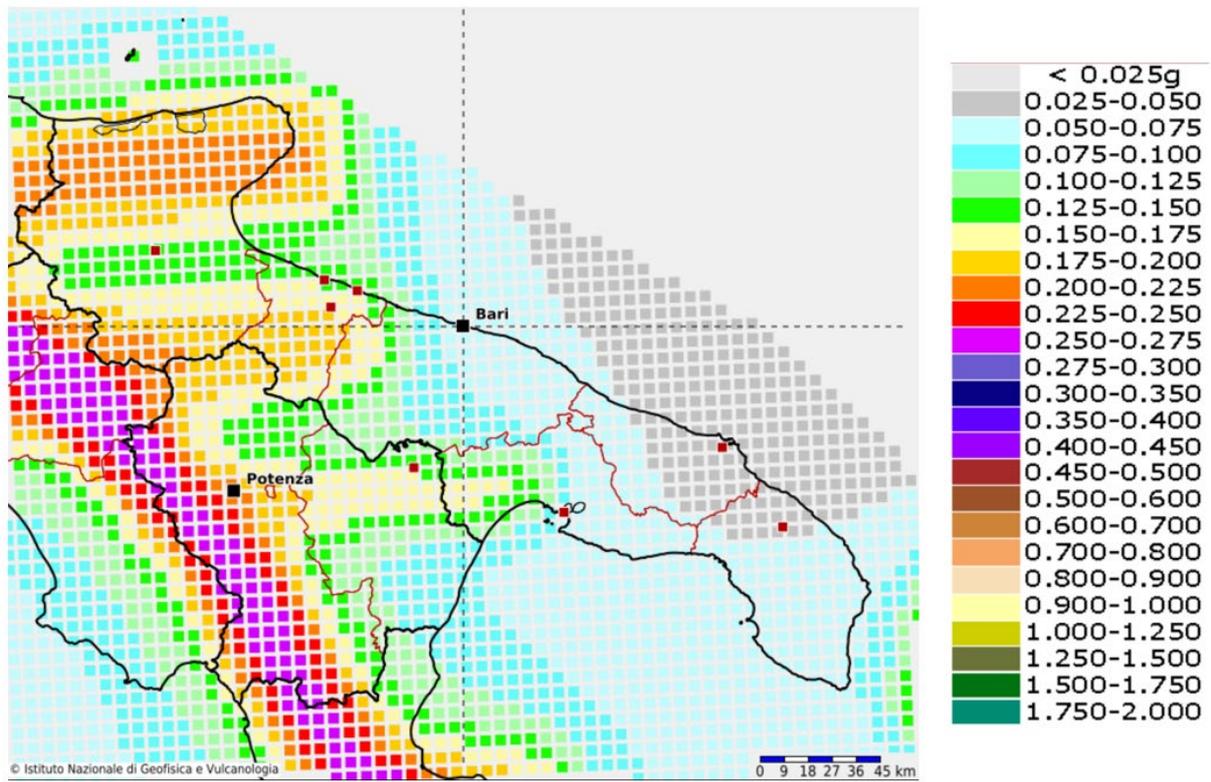


Figure 29: Mappa di pericolosità sismica della Puglia – PGA – 10% probabilità di superamento in 50 anni

8 CONCLUSIONI

Si riportano di seguito gli elementi di sintesi delle indagini e degli approfondimenti svolti, da cui **emerge la piena compatibilità tra le opere di progetto e le caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle aree interessate.**

Da tutto quanto sopra riportato e dalle risultanze delle indagini condotte emerge che l'assetto geologico dell'area di progetto è costituito da rocce deformate carbonatiche e clastiche risalenti al Mesozoico – Cenozoico, a cui si sovrappongono sedimenti relativamente indeformati del Plio-Quaternario fortemente controllati dall'evoluzione tettonica locale (SSG, Faglia di Mattinata) e dalle variazioni eustatiche.

In particolare, si sottolinea l'importanza della faglia nel controllo morfologico e sedimentario dell'intera area: oltre alla stretta relazione con il Promontorio del Gargano, la struttura presenta evidenze anche sul fondo attuale in relazione alla dinamica sedimentaria prima detta. In particolare, la faglia presenta, almeno nel segmento interessato una natura transpressiva degli stress tettonici che la hanno generata.

Sotto il profilo geomorfologico l'area del progetto è caratterizzata da due principali elementi:

- un sistema piattaforma-scarpata-bacino attuali prodotto della lenta evoluzione sedimentaria del bacino sud-garganico con la sua evidente progradazione verso NE
- due profondi solchi erosivi che segnano profondamente la scarpata attuale posti a Nord e a Sud dell'area dell'impianto.

Tali evidenze bibliografiche hanno trovato piena rispondenza nei risultati delle indagini geofisiche condotte, da cui in particolare è emerso che l'area del parco eolico presenta una generale riduzione degli spessori dei sedimenti superficiali olocenici, una morfologia moderatamente complessa e la presenza, seppur molto limitata, di aree di affioramento/subaffioramento del substrato accompagnate dalla presenza di biocostruzioni. La vicinanza del substrato al fondo può essere valutata migliorativa in relazione alle caratteristiche ricercate dei terreni come fondazioni agli ancoraggi. E sul punto si suggerisce di evitare sistemi di ancoraggio superficiali in quanto non si può escludere che gli strati in affioramenti possano essere interessati da mobilitazione, stante gli esigui spessori e la morfologia rilevata.

Al fine di poter avere compiuta evidenza di questi primi riscontri, è stato già pianificato e sarà eseguito preventivamente alla progettazione esecutiva un rilievo diretto dedicato alla definizione dello stato dei terreni costituenti il fondo come fondazione del sistema. In particolare, è stata prevista la esecuzione di prove penetrometriche nell'area del parco eolico ad una profondità di circa 30 m, valore che, nell'ambito dei dimensionamenti eseguiti in questa fase di pre feed (così come riportati nel capitolo 3 di progetto), è stato definito come ottimale per attestare i pali di ancoraggio. Grazie a tali prove sarà possibile definire in modo accurato lo stato di addensamento/compattezza dei sedimenti che saranno coinvolti dagli ancoraggi.

9 BIBLIOGRAFIA E REFERENZE

Le analisi qui prodotte sono state eseguite utilizzando tutti i dati pubblici e di letteratura disponibili nonché della documentazione prodotta per lo studio di fattibilità del progetto stesso.

In dettaglio sono state analizzate le seguenti linee sismiche VIDEPI attraverso l'uso di programmi professionali specifici (Fig.1-9): D-452, D-453, D-445, D-454, F76-009, F-76-010, D-446, UT-14.

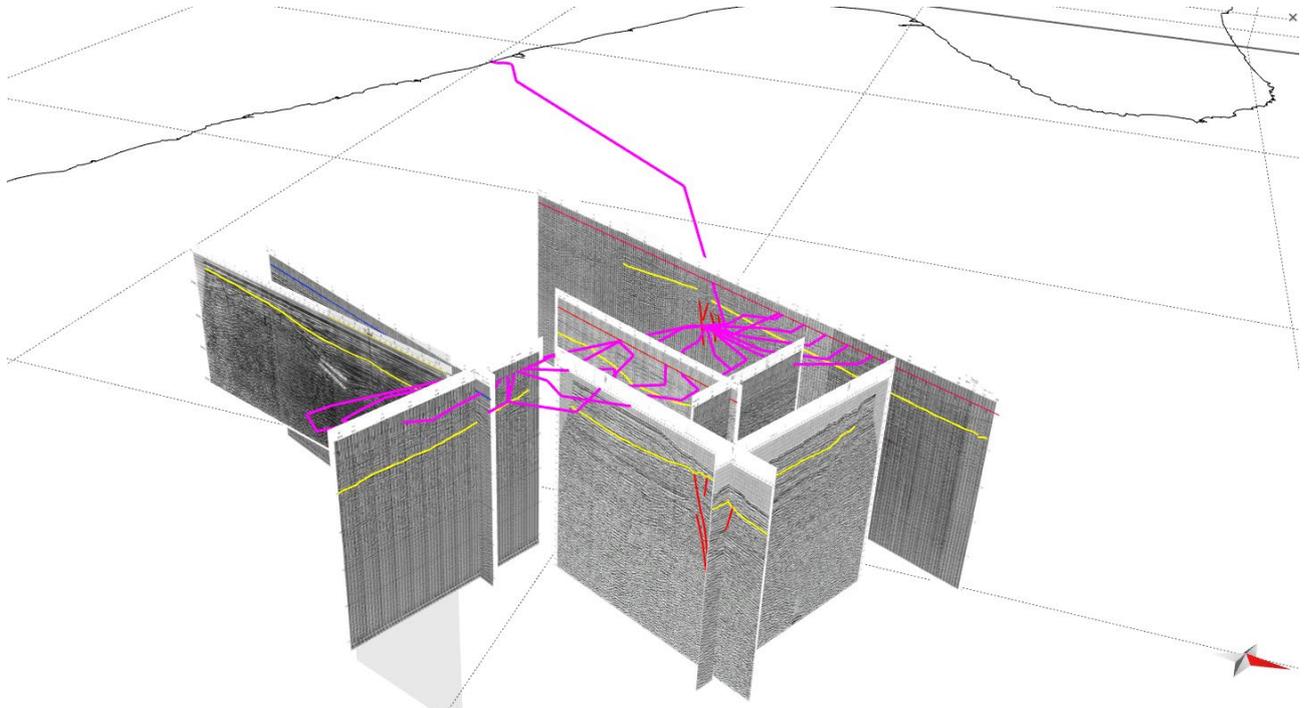


Figure 30: Sezioni sismiche VIDEPI visualizzazione 3d delle sezioni (in viola il layout del sistema)

- Minisini, D., F. Trincardi, e A. Ascoli, 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., Ascoli, 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
- 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).
- 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.
- Cicala Marianna, Chiarella Domenico, De Giosa Francesco, Festa Vincenzo, 2023, Basic data visualization in vintage seismic profiles: indications for the interpretation of the ViDEPI database (offshore Puglia, southern Italy)
- Cicala Marianna, De Giosa Francesco, Festa Vincenzo, Lisco Stefania, Moretti Massimo 2023, The northern fault of the on shore - off shore Monte Giovere lief in the southern Adriatic Sea, Italy: implications for tectonic reactivation in the Apulian Foreland
- 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