

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.1.4.2 Studio di compatibilità geologica e geotecnica

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	08/23	1° emissione
01	03/24	integrazioni MASE



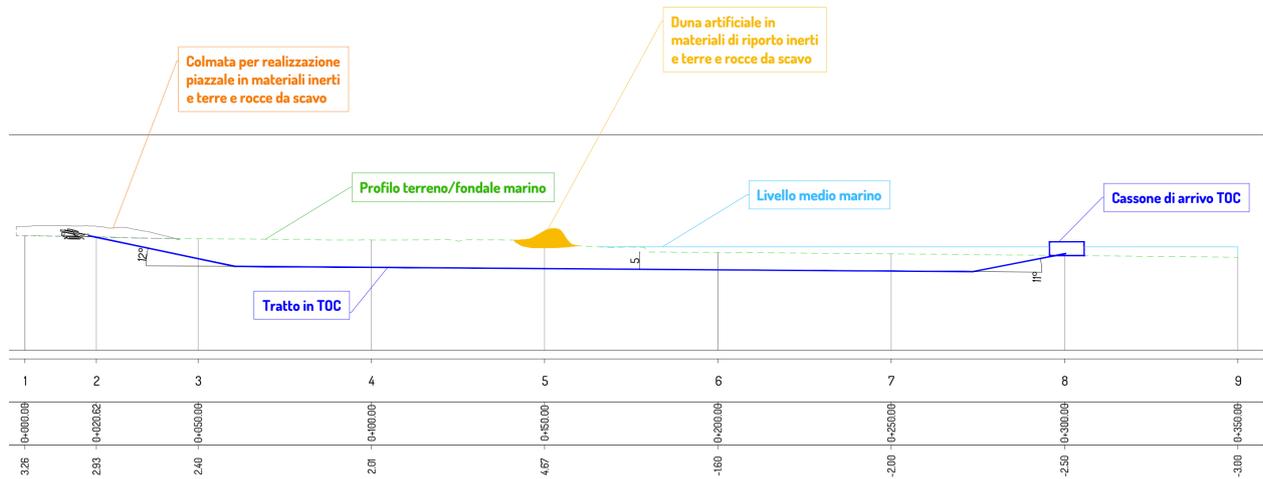
INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	2
	2.1 OPERE OFFSHORE _____	2
	2.2 OPERE ONSHORE _____	2
3	INQUADRAMENTO DEL SITO DI INTERVENTO.....	7
	3.1 STATO DI FATTO _____	7
	3.2 CARATTERI STRATIGRAFICI _____	9
	3.3 PERICOLOSITÀ SISMICA _____	12
4	INTERVENTO DI PROGETTO – SISTEMAZIONE DELLA FALESIA.....	17
	4.1 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI COSTITUENTI LA BARRIERA PROTETTIVA _____	18

1 PREMESSA

La presente relazione di compatibilità idraulica al PAI è stata redatta nell’ambito del progetto di realizzazione delle opere onshore previste per il parco eolico offshore denominato Barium Bay, per la presenza di aree a pericolosità geomorfologica poste in corrispondenza del punto di approdo. In particolare, l’impianto trasferirà l’energia prodotta a terra attraverso dei cavidotti che, nel punto di approdo, saranno posati mediante metodologia TOC ad una profondità compresa 3 e 4 m al di sotto della linea di battigia. La tecnologia TOC è stata prescelta in considerazione della forte instabilità del tratto di falesia in cui ricade l’approdo dei cavi, evitando allo stesso tempo tutti gli impatti e i disagi associati alla realizzazione di uno scavo a cielo aperto in battigia.

Si procede nel seguito ad analizzare l’interferenza tra le opere di progetto e le Aree a Pericolosità geomorfologica e a verificare che siano garantite le condizioni di sicurezza delle opere e delle aree dalle stesse interessate nelle configurazioni di ante e post-intervento.



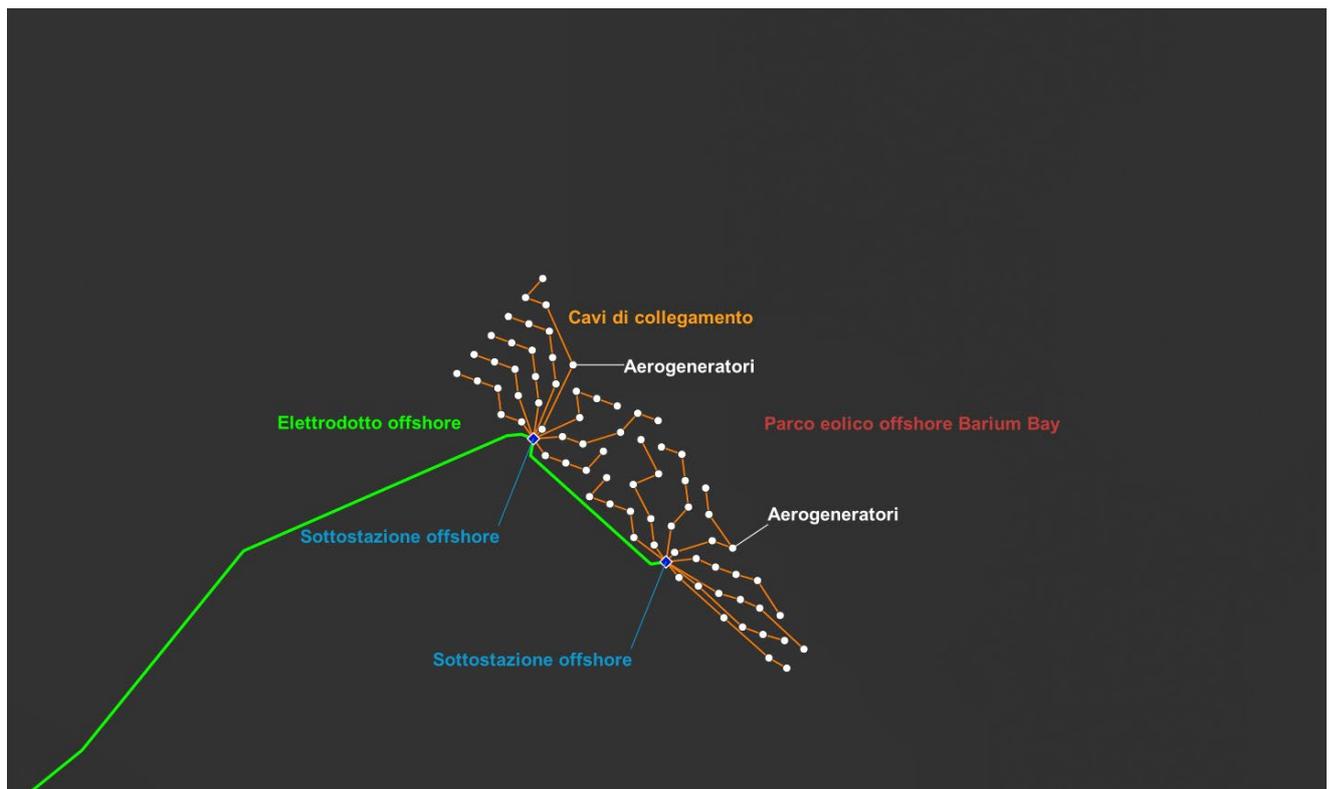
2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Scopo del progetto è la realizzazione di un “Parco Eolico” per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica e l’immissione dell’energia prodotta, attraverso la costruzione delle opportune infrastrutture di rete, sulla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

2.1 OPERE OFFSHORE

I principali componenti dell’impianto sono:

- 74 generatori eolici della potenza unitaria di 15.0 MW, per una potenza complessiva di 1.110 MW, installati su torri tubolari in acciaio e le relative fondazioni flottanti.
- Linee elettriche in cavo sottomarino di collegamento tra gli aerogeneratori: gli aerogeneratori, di potenza unitaria pari a 15 MW, saranno collegati in entra-esce e raccolti in 16 gruppi, dall’ultimo aerogeneratore di ogni gruppo partono le linee di raccolta a tensione di 66 kV che si atterranno sul quadro a 66 kV nella Sottostazione Elettrica (SE) Offshore più prossima.
- 2 Sottostazioni Elettriche Offshore (66/380 kV) (SE), ovvero tutte le apparecchiature elettriche (interruttori, sezionatori, TA, TV, ecc.) necessari a raccogliere l’energia prodotta nei sottocampi eolici elevandone la tensione da 66 kV a 380 kV. Queste sono collegate mediante un elettrodotto marino costituito da un singolo cavo tripolare a 380 kV e lungo circa 14 km
- Elettrodotto di connessione marino, realizzato in cavi marini a 380 kV per una lunghezza di circa 57 km.



Opere off shore

2.2 OPERE ONSHORE

Per poter collegare l’impianto eolico offshore alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) gestita da TERNA spa sono state progettate le opere di connessione da realizzare a terra la cui ubicazione è stata definita in

considerazione del punto di connessione alla RTN individuato nell'ambito del procedimento di connessione gestito da TERNA. La soluzione tecnica di connessione indicata da TERNA con preventivo di connessione Codice Pratica: 202102517 prevede che l'impianto venga collegato in doppia antenna a 380 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "Andria – Brindisi Sud" previa realizzazione dei raccordi a 380 kV della futura Stazione Elettrica all'elettrodotto RTN 380 kV "Foggia – Palo del Colle".

La nuova Stazione Elettrica RTN 380 kV sarà ubicata nel territorio del Comune di Andria (BAT) e pertanto si è reso necessario progettare un elettrodotto on shore per connettere l'impianto eolico alla nuova Stazione Elettrica RTN. Quest'ultimo sarà costituito da una doppia terna di cavi unipolari interrati e interesserà principalmente la viabilità pubblica, con brevi tratti su terreni agricoli privati, nei Comuni di Barletta, Trani e Andria.

In tali ipotesi le opere a terra sono costituite da:

- **Opere di utenza**

- **La vasca giunti di transizione interrata**, posizionata nelle vicinanze del punto di approdo nella zona industriale del comune di Barletta, consentirà la transizione dal cavo sottomarino al cavo destinato alla posa interrata.
- **Un elettrodotto interrato in doppia terna a 380 kV**, esteso per circa 26 km, sarà prevalentemente situato lungo la viabilità pubblica nei territori dei comuni di Barletta, Andria e Trani, con brevi transiti su terreni agricoli. La posa avverrà principalmente in scavi a sezione obbligata e, solo in alcuni tratti, con la tecnica priva di scavi denominata "Trenchless Onsite Construction" (TOC). Si prevede, in particolare, la realizzazione di 17 tratti in TOC di lunghezza variabile necessari a gestire alcune interferenze presenti lungo il percorso dell'elettrodotto;
- **Una serie di 31 vasche giunti intermedie**, situate lungo il tracciato del cavo interrato con interdistanza variabile tra 700 e 950 metri, le giunzioni intermedie saranno realizzate nell'ambito dello scavo a sezione obbligata previsto per la posa dell'elettrodotto.
- **Una sottostazione di rifasamento isolata in gas (GIS)**, necessaria alla compensazione della potenza reattiva prodotta dalla rete in cavo marino e interrato. La sottostazione in GIS sarà collocata in un edificio industriale situato nel comune di Barletta, nelle vicinanze del punto di approdo.

- **Opere di rete RTN**

1. **Una nuova Stazione Elettrica RTN a 380 kV isolata in aria**, collocata in un'area agricola nel comune di Andria e composta da un sistema a doppia sbarra con 12 stalli di linea.
2. **Quattro raccordi di rete in elettrodotto aereo** realizzati in singola terna e sostenuti da nuovi tralicci realizzati conformemente agli standard Terna S.p.A. Ciascun raccordo avrà una lunghezza di circa 700 metri, contribuendo a una lunghezza totale di circa 2,4 km, i nuovi raccordi aerei collegheranno in entra-esce la stazione RTN prevista alle due linee RTN a 380 kV esistenti denominate "Andria – Brindisi Sud" e "Foggia – Palo del Colle".



Inquadramento generale delle Opere on shore

Come accennato in premessa, le interferenze tra le aree perimetrare dal PAI nell'ambito della pericolosità di inondazione sono limitate al punto di approdo del cavo marino.

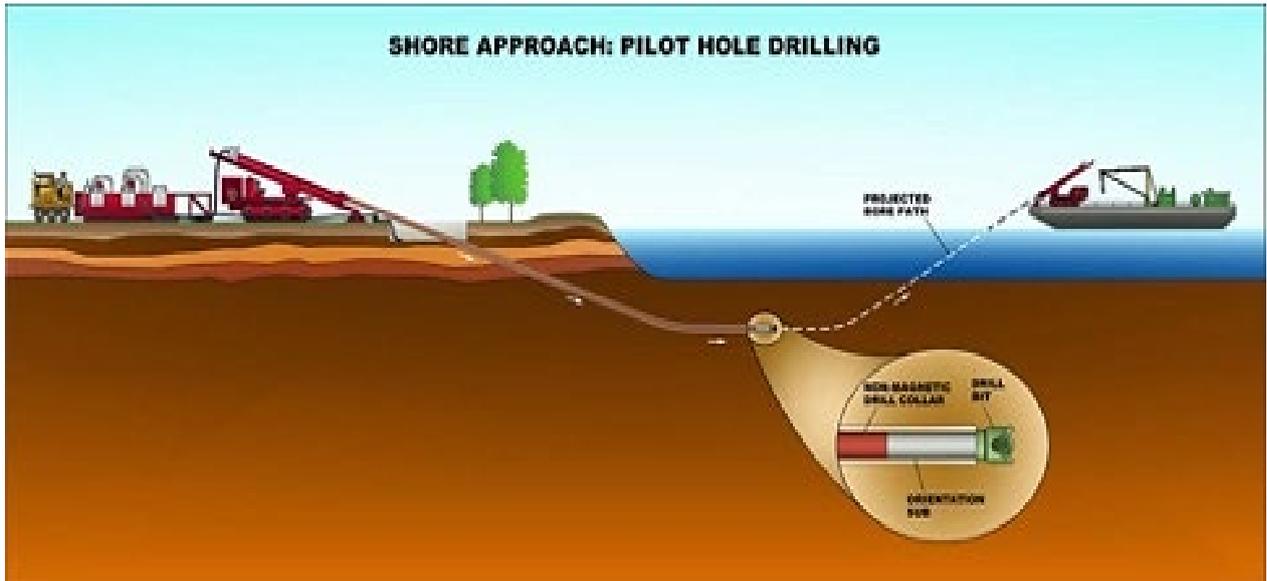
L'approdo del cavo marino sarà realizzato tramite tecnica Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) di lunghezza pari a 130 m a terra e 1020 m nel fondale marino.

Il cavo dovrà essere posato ad una profondità pari ad almeno 6 m sotto il livello del mare al di sotto dell'area perimetrata nell'ambito del PAI con pericolosità geomorfologica.

Durante le operazioni di drilling verrà installato una tubazione in materiale plastico con all'interno un cavo di tiro che servirà, durante le operazioni di installazione del cavo marino, a far scorrere la testa dello stesso all'interno della tubazione fino al punto di fissaggio a terra.

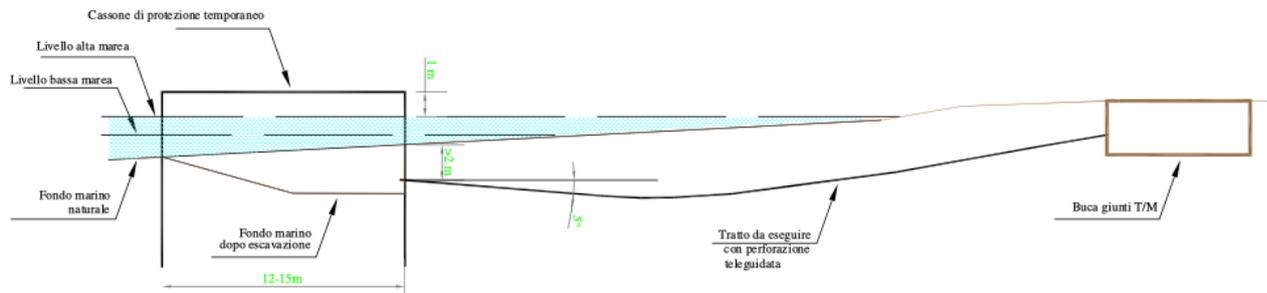
La trivellazione avverrà posizionando la macchina in corrispondenza dell'estremità lato terra (buca giunti), effettuando pertanto i fori con avanzamento verso il mare. Giunti all'altra estremità, si procederà al trascinarsi in senso opposto dei tubi PEAD, dotati di apposita testa per l'ancoraggio all'utensile della macchina.

La soluzione di approdo con TOC è volta a ridurre l'impatto delle lavorazioni sulla falesia e sulle aree soggette a vincolo PAI in prossimità della costa e di proteggere il cavo marino da una tubazione in PEAD, installata ad alcuni metri di profondità rispetto al piano di calpestio, riducendo quindi enormemente le possibilità di interferenza con la popolazione.



Posa del cavo nel punto di sbarco con tecnica TOC

L'estremità lato mare del tratto da eseguire con trivellazione teleguidata sarà provvisoriamente protetta con apposito cassone in lamiera, all'interno del quale sarà effettuato uno scavo per far uscire le suddette estremità evitando al contempo il contatto con l'acqua, in modo da facilitare le operazioni di posa delle tubazioni all'interno dei fori e la successiva posa dei cavi. Il cassone sarà scoperto sul lato superiore e avrà un'altezza di circa 1 m oltre il livello massimo dell'acqua. Avrà una larghezza di circa 20 m per 15 m di profondità.



Schema di posizionamento del cassone di protezione

Per la posa all'approdo di arrivo si potrà procedere seguendo la tecnica riportata nella figura seguente, che prevede l'utilizzo di barche di appoggio alla nave principale per il tiro a terra della parte terminale dei cavi, tenuti in superficie tramite dei galleggianti durante le operazioni.



Posa del cavo in corrispondenza del punto di approdo

3 INQUADRAMENTO DEL SITO DI INTERVENTO

3.1 STATO DI FATTO

Il Litorale di Levante si estende fra il molo meridionale del porto di Barletta e la località Ariscianne ed appare fortemente condizionato dalla redistribuzione dei sedimenti da parte delle correnti lungo-costa verso NO. L'utilizzo di questa fascia costiera è molto vario, con importanti stabilimenti balneari, insediamenti residenziali e attrezzature turistico-produttive per una lunghezza di circa 800 m, a cui fa seguito la zona industriale con la fascia occupata dai manufatti industriali della ex Cartiera. In questo tratto di costa si rinvencono materiali di risulta dalle più svariate provenienze, scaricati e accumulati in più di settant'anni, tra cui i sedimenti di decantazione delle vasche della ex Cartiera.



Depositi antropici lato mare ex Cartiera – Litoranea levante di Barletta

La fascia costiera appare, quindi, interamente artificiale fino ad un'altezza di circa 7 m s.l.m., come pure il sottofondo della strada litoranea che prosegue verso Trani in località Belvedere.

A est dello stabilimento balneare dell'A.N.M.I. (gruppo Andria) la costa è caratterizzata da una falesia intagliata negli stessi detriti riportati con una conseguente redistribuzione dei materiali di questa "discarica" lungo tutta la spiaggia sabbiosa (cfr. foto seguenti).



Strada litoranea di levante costituita da materiali di risulta



Ripa di erosione costiera intagliata in materiali di risulta - località Belvedere (marzo 2012).

Quest'ultima foto raffigura proprio il tratto in cui è previsto l'approdo del cavidotto marino di export del parco eolico offshore.

Di seguito si riportano due immagini ortofoto del tratto di costa in esame, da cui si evince come dal 2018 al 2023 si siano verificati degli episodi di dissesto, molto evidenti nell'area cerchiata in bianco a tratteggio.

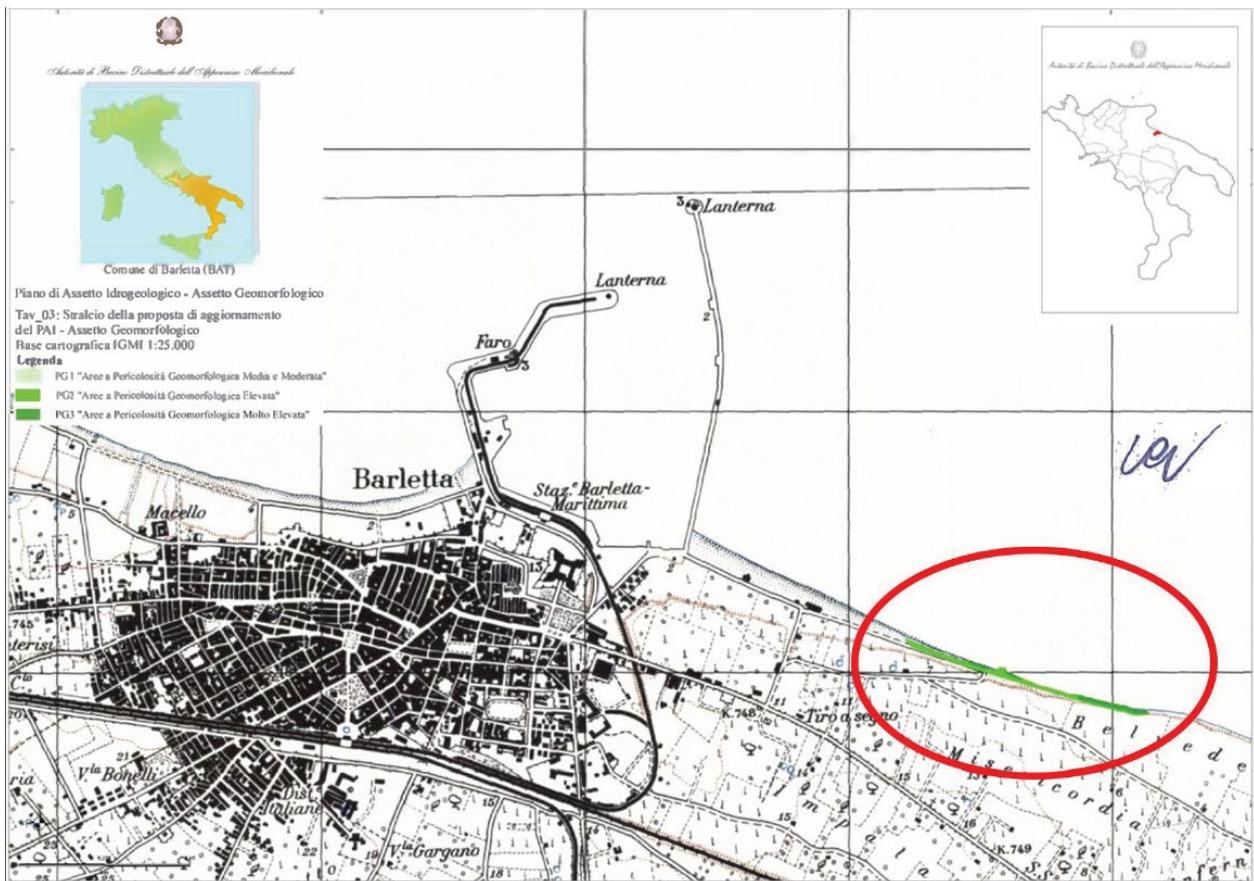


Nella fattispecie, la falesia oggetto di intervento è soggetta ad una forte azione erosiva dovuta all'incessante smantellamento delle mareggiate, che ne hanno determinato il deterioramento del piede instaurando condizione precarie di equilibrio.

La motivazione alla base del dissesto risiede nell'aver modificato in modo artificioso la configurazione del tratto di costa in esame, creando di fatto una falesia artificiale che è stata inevitabilmente aggredita dall'azione del mare. Il fenomeno è ovviamente particolarmente evidente nella stagione invernale ed in concomitanza delle mareggiate più intense durante le quali il moto ondoso investe direttamente la costa rocciosa e/o le infrastrutture esistenti.

Per tale ragione, l'Autorità del Distretto dell'Appennino Meridionale, con il Decreto del Segretario Generale n. 340 del 22 maggio 2023 ha modificato la perimetrazione e classificazione delle aree a pericolosità

geomorfologica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio da frana dell'ex Autorità di Bacino, relativamente proprio a questo tratto di costa, come visibile nella figura sottostante.



Stralcio della "Carta della pericolosità geomorfologica" del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio da frana dell'ex Autorità di Bacino Interregionale della Puglia contenente la modifica alla perimetrazione per il settore di territorio interessato.

3.2 CARATTERI STRATIGRAFICI

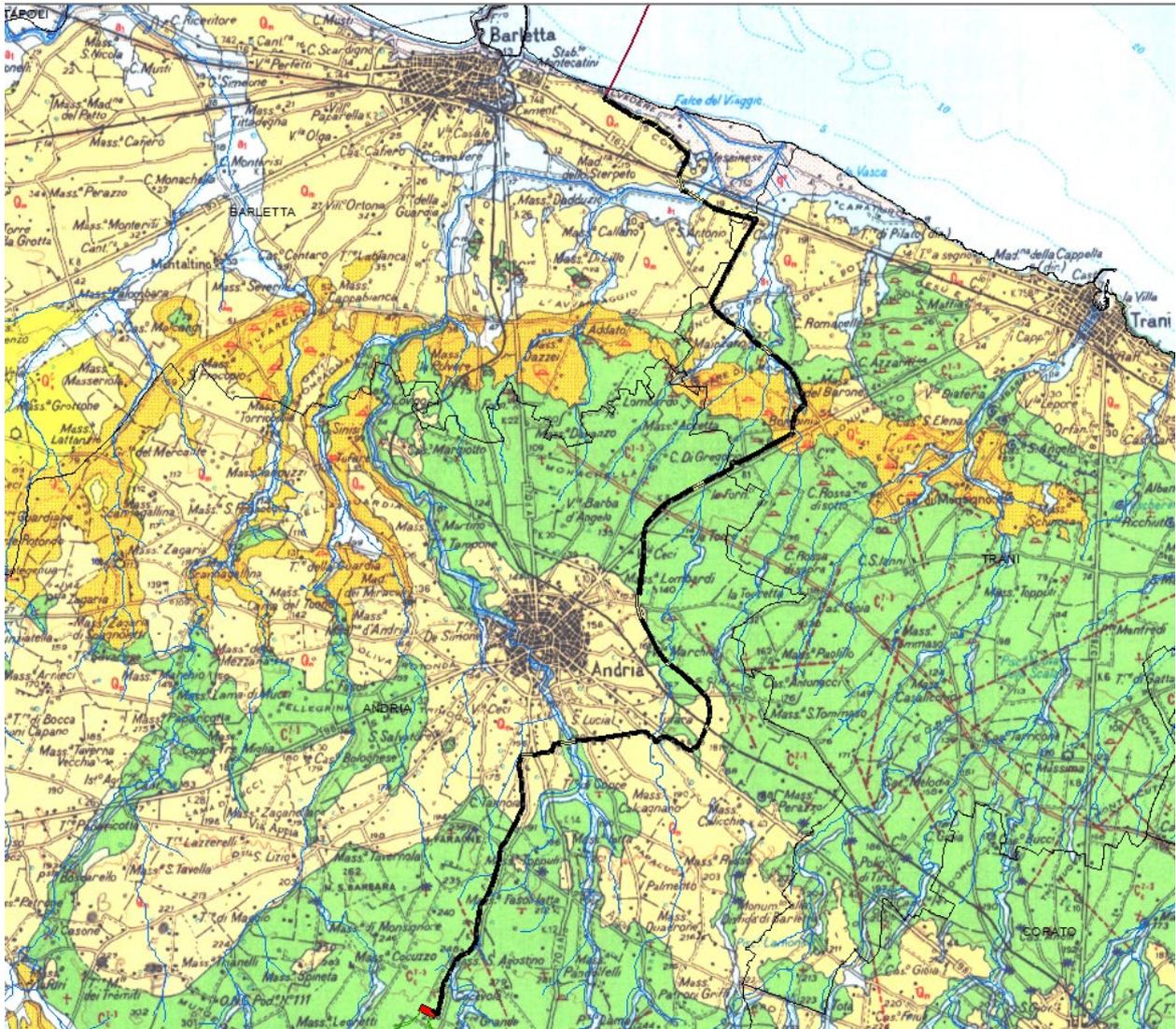
Il territorio interessato dalle opere a terra del parco eolico Barium Bay si situa per lo più nell'agro di Barletta e ai confini tra questo e l'agro di Andria. Il territorio di Barletta, in particolare si affaccia sul mare Adriatico a sud-est del golfo di Manfredonia, di fronte al promontorio del Gargano, nell'area costiera in cui il litorale roccioso della "Terra di Bari" muta le sue caratteristiche giungendo alle sabbie della foce del Fiume Ofanto. Si tratta di una "terra di mezzo", se si considerano i domini paleo-geografici e strutturali entro cui Barletta si colloca con la presenza dei due corsi d'acqua che delimitano il territorio comunale: l'Ofanto a occidente e la "lama" del Canale Ciappetta-Camaggio a levante.

Dal punto di vista morfologico, il territorio di progetto è caratterizzato da un'altimetria discendente dall'entroterra verso il mare e presenta un rilevante salto di quota giusto al confine tra l'agro di Barletta e quello di Andria a ridosso delle antiche mura cittadine di Barletta, dove l'ex area intra-moenia è posta a un livello superiore, che varia dai cinque ai sette metri, rispetto a quella sottostante, caratterizzata progressivamente verso il mare da arenili, litoranea e spiaggia.

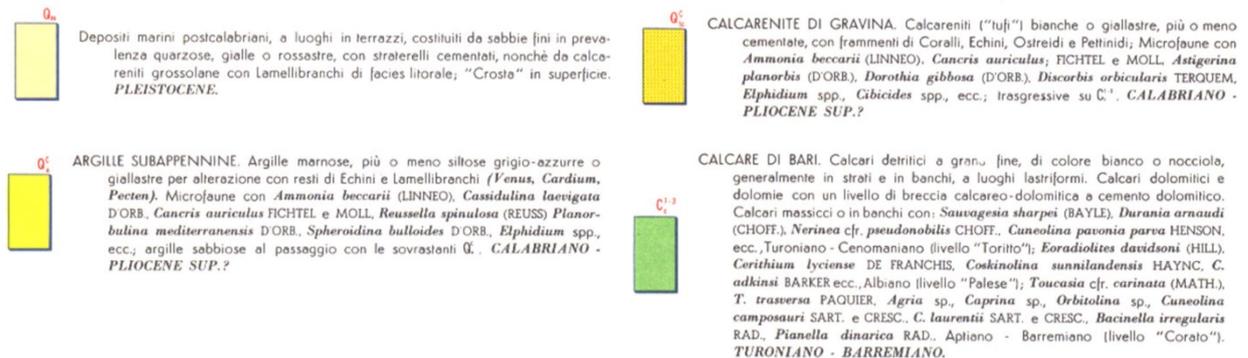
Il sottosuolo dell'area di progetto è quello tipico della costa pugliese, caratterizzato geologicamente dalla presenza di calcari, calcareniti, sabbie, limi e argille.

Negli ultimi vent'anni, l'area in esame è stata oggetto di diversi studi che hanno evidenziato la complessità e la variabilità delle caratteristiche geologiche della zona rispetto a quanto illustrato nel Foglio n°176 "BARLETTA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 pubblicato nel 1971 (Caldara M. et al., 1996 e 2005; Lattanzio M. et al., 1992, Caldara M. & Pennetta L., 1993; Salvemini A., 1984).

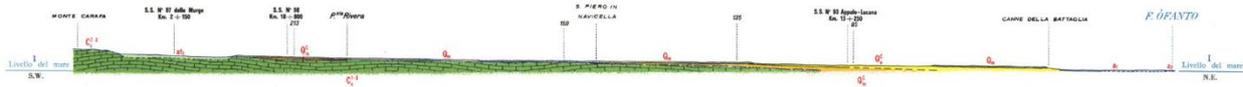
L'area in oggetto può considerarsi una zona di transizione fra due importanti domini paleogeografici e strutturali: quello dell'Avampaese Apulo (Piattaforma carbonatica Apula p.p.) a S-E e quello dell'Avanfossa appenninica (Avanfossa Bradanica s.s.) a N-O e S-O. Per tali ragioni l'area in esame è stata interessata da sedimentazione sia terrigena che carbonatica con movimenti tettonici recenti (Olocene) fino a poco tempo fa del tutto sconosciuti (Caldara M. et al., 1996 e 2005).



Carta Geologica d'Italia – Foglio n° 176 “Barletta”, con opere a terra di progetto



Legenda Carta Geologica d'Italia – Foglio n° 176 “Barletta”, con opere a terra di progetto

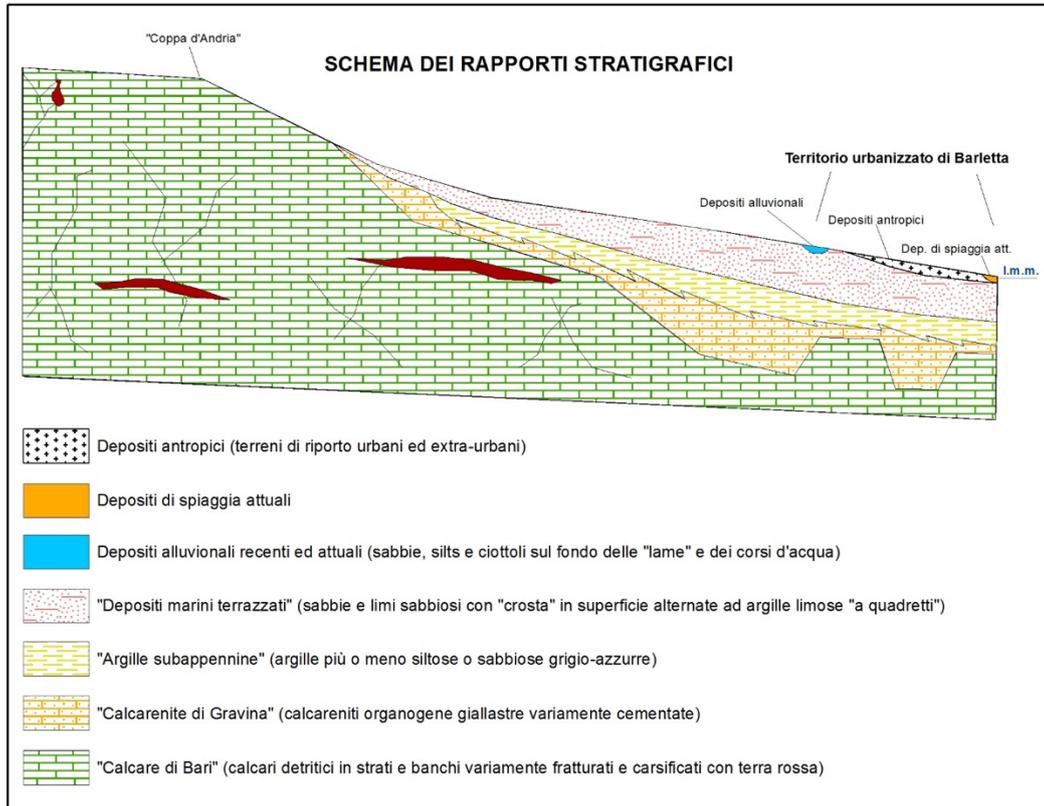


Sezione geologica I della Carta Geologica d'Italia – F°176 “Barletta”

Dal punto di vista litostratigrafico, nel sottosuolo dell’area in esame è possibile riconoscere sia le unità più antiche della Piattaforma carbonatica apula (“Calcare di Bari” - Cretaceo), che i depositi del primo ciclo trasgressivo della Fossa Bradanica rappresentati dalle “Calcareni di Gravina” e dalle “Argille Subappennine”. Al di sopra si rinvencono, sia in affioramento che in perforazioni profonde, sedimenti appartenenti ad almeno 3 cicli sedimentari marini successivi a quello della Fossa Bradanica e individuati dall’unità dei “Depositi marini terrazzati” (Caldara M. et al. 1996); questi rappresentano il risultato combinato dei movimenti tettonici verticali, cominciati all’inizio del Pleistocene Medio e delle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino. Al di sopra di questi ultimi, infine, si sono sedimentati i depositi recenti e attuali del reticolo idrografico territoriale, rappresentato dal Fiume Ofanto e dai suoi affluenti, ovvero dalle “lame” che dall’altopiano murgiano solcano i pianori epicostieri, come la valle del Canale Camaggio. I depositi più giovani sono costituiti dalle sabbie delle spiagge attuali, deposte dal Fiume Ofanto e dalle correnti marine lungo costa e infine, dai depositi di natura antropica urbani ed extra-urbani.

La Carta geologica di progetto identifica le seguenti 9 unità (formazioni) litologiche organizzate secondo un criterio litostratigrafico sufficientemente condiviso, dalla più antica alla più recente:

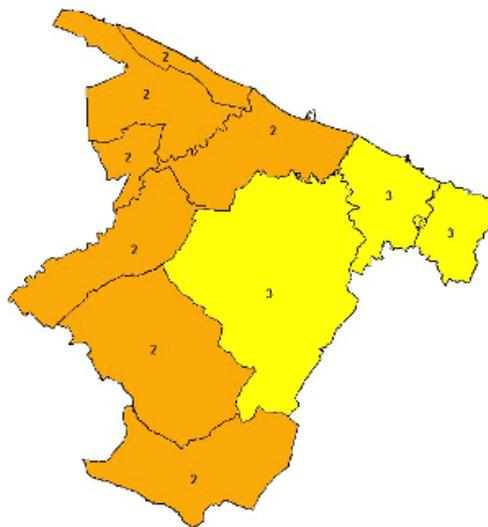
1. Unità del “Calcare di Bari” (Cretaceo – Valanginiano - Turoniano inferiore)
2. Unità della “Calcarenite di Gravina” (Pleistocene inferiore)
3. Unità delle “Argille subappennine” (Pleistocene inferiore)
4. Depositi marini terrazzati (Pleistocene medio-superiore)
5. Depositi alluvionali terrazzati (F. Ofanto – Pleistocene superiore-Olocene)
6. Depositi alluvionali recenti (F. Ofanto ed affluenti, alvei delle “lame” - Olocene)
7. Depositi alluvionali attuali (F. Ofanto - Olocene)
8. Depositi di spiaggia attuali (Olocene)
9. Depositi antropici (terreni di riporto urbani ed extraurbani – Epoca storica)



Schema dei rapporti stratigrafici delle principali unità litologiche affioranti nei territori di Barletta e Andria

3.3 PERICOLOSITÀ SISMICA

I 10 comuni facenti parte del territorio della Provincia di Barletta-Andria-Trani risultano classificati sismici ai sensi della D.G.R. n°153 del 02/03/2004, emanata in attuazione della OPCM 3274/2003, come da Fig. 39 di seguito riportata:



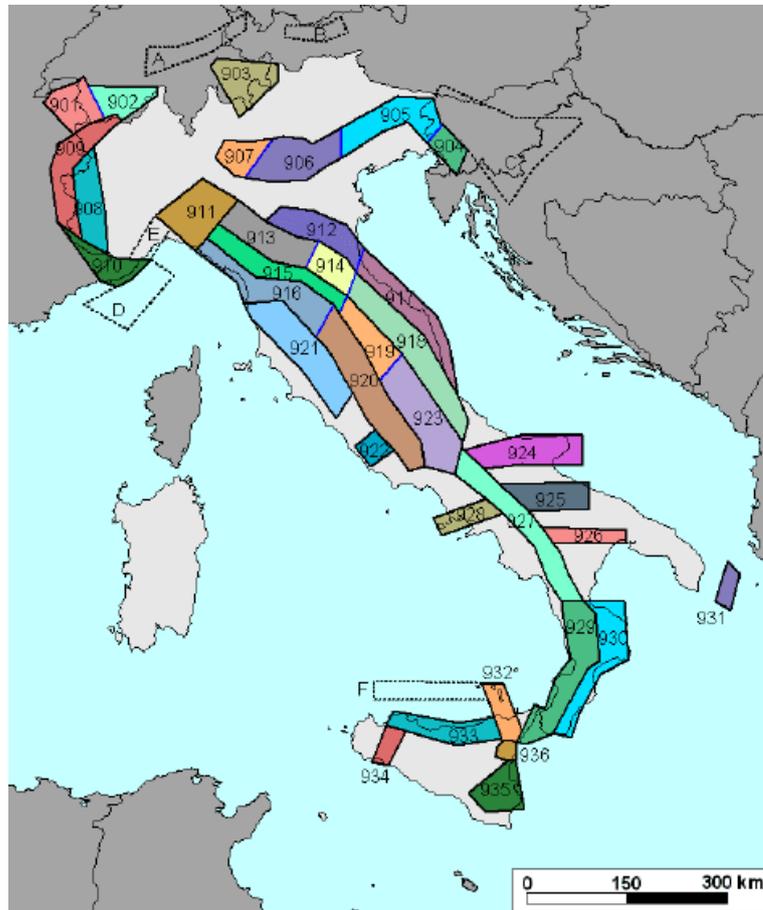
Comune	Zona sismica
Andria	3
Barletta	2
Bisceglie	3
Canosa di Puglia	2
Margherita di Savoia	2
Minervino Murge	2
San Ferdinando di Puglia	2
Spinazzola	2
Trani	3
Trinitapoli	2

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di **accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g** , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35

2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Secondo la **zonazione sismica italiana** (ZS9, 2004), la Provincia di BAT è situata all'interno della zona denominata "925" (Fig.22), caratterizzata da eventi sismici storici aventi magnitudo tra 5,9-6,6.



I meccanismi focali indicano movimenti prevalentemente strike-slip orientati circa E-W. La profondità degli ipocentri è compresa tra 12÷20 km con una profondità efficace di 13 km, secondo il catalogo INGV strumentale.

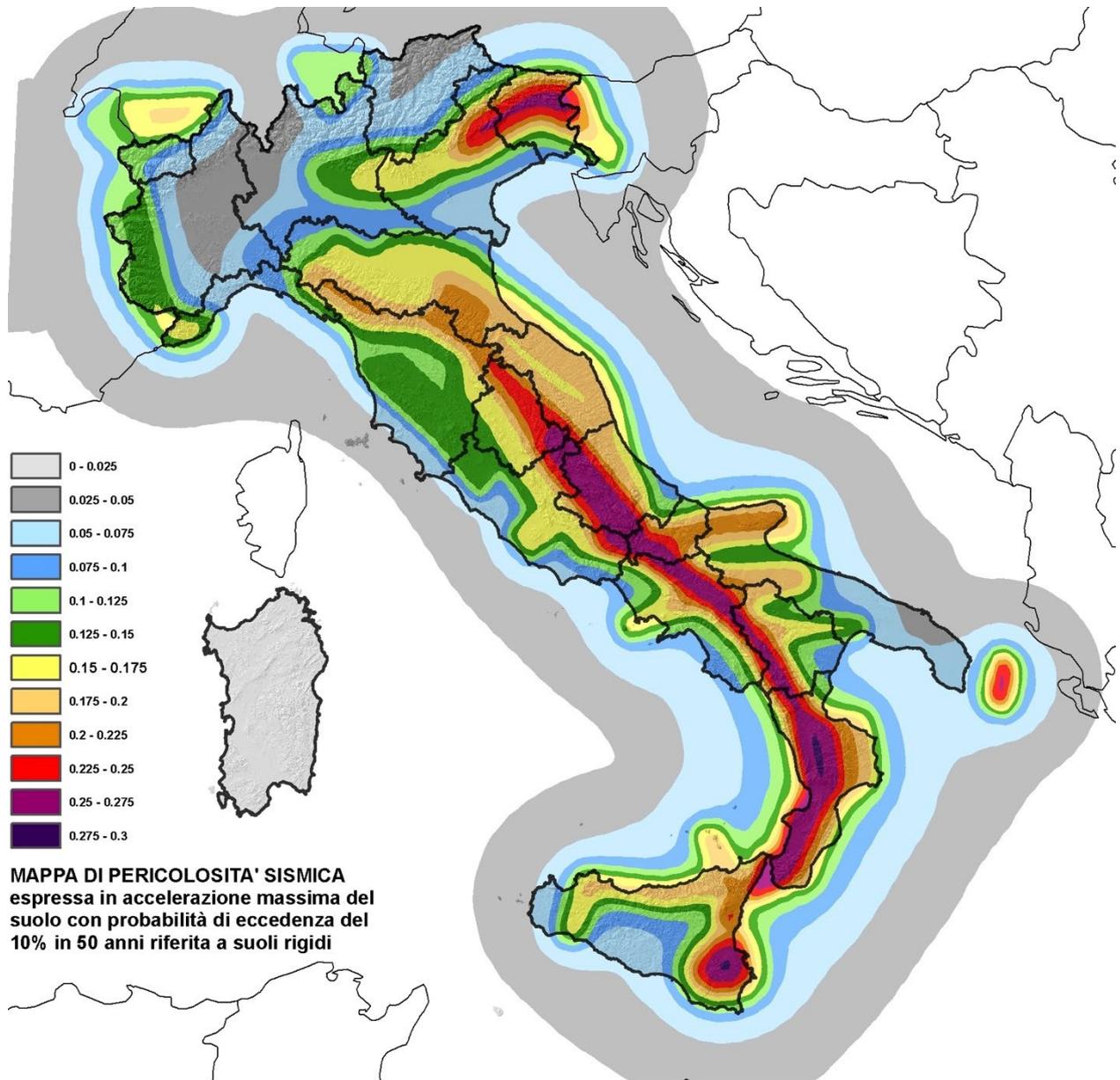
Gli studi in letteratura specifica mostrano che nella Zona "925" il meccanismo focale medio è di tipo strike-slip e al suo interno, c'è un'area dove possono esserci terreni liquefacibili.

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani raccoglie le informazioni sulla sismicità storica, sulla base di osservazioni macrosismiche. L'analisi dei dati mostra che la parte centrale della regione Puglia, dove si trova il territorio provinciale, è interessata da un'attività sporadica, senza picchi di alta energia, come quelli che periodicamente interessano le due aree circostanti: l'Appennino meridionale e la Puglia settentrionale.

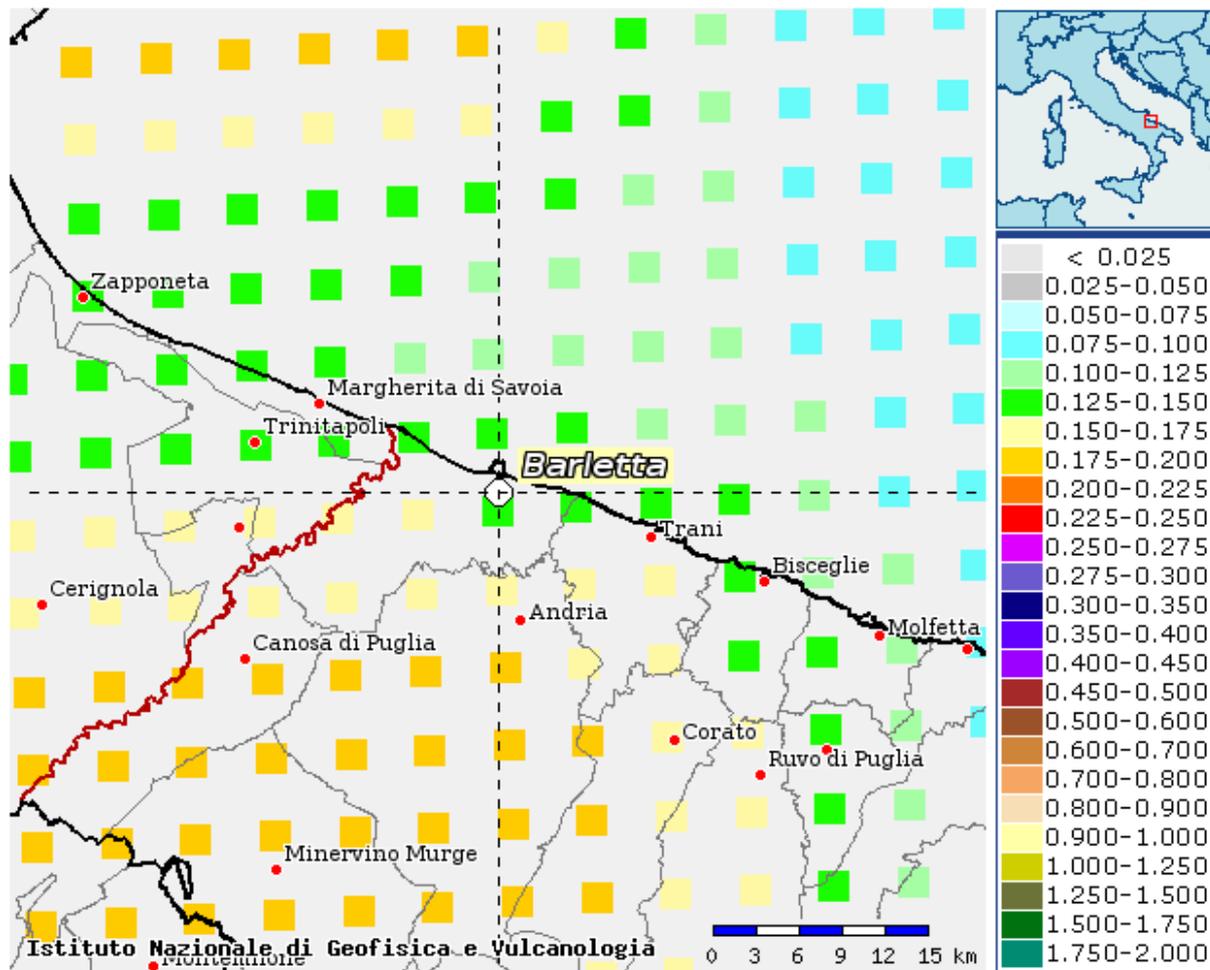
Il terremoto documentato più antico, localizzato nella parte centrale della regione Puglia, è riportato da Marco Tullio Cicerone nel "De Divinatione", datato 117 a.C: forti terremoti si sono verificati in quel periodo nella regione Puglia, secondo le sue cronache.

Più tardi, anche nel Medioevo, un forte terremoto ha colpito l'intera regione nel 1087 (o 1088). Registrosi affidabili e meno generiche dei terremoti che possono aver avuto la loro origine nella Puglia centrale si trovano a partire da cinque secoli più tardi.

La Tabella 1 fornisce una sintesi degli eventi di intensità locale maggiore del V grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) e una magnitudo maggiore di 5, sulla base di osservazioni macrosismiche di tipo storico e strumentale. Si è scelto di prendere come riferimento i Comuni di Barletta e Canosa di Puglia in cui esistono il maggior numero di osservazioni macrosismiche di tipo storico, tenendo presente che negli altri comuni della provincia si sono registrati effetti in conseguenza dei medesimi terremoti che hanno interessato Barletta e Canosa di Puglia.



Mappa di pericolosità sismica dell'Italia – INGV - 2004.

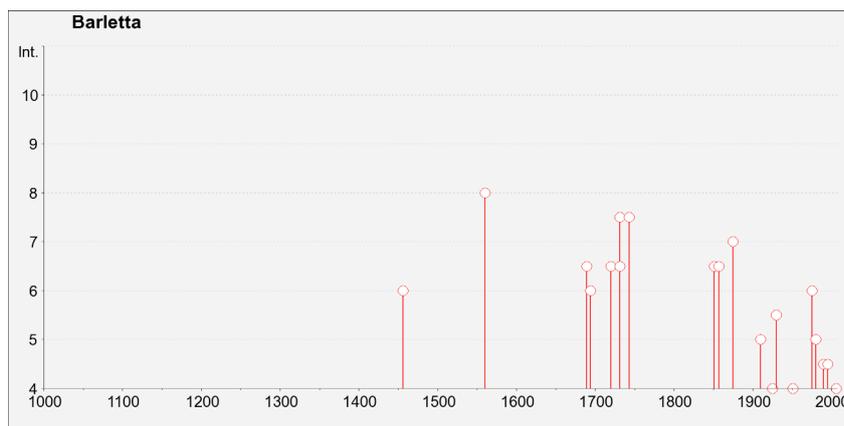
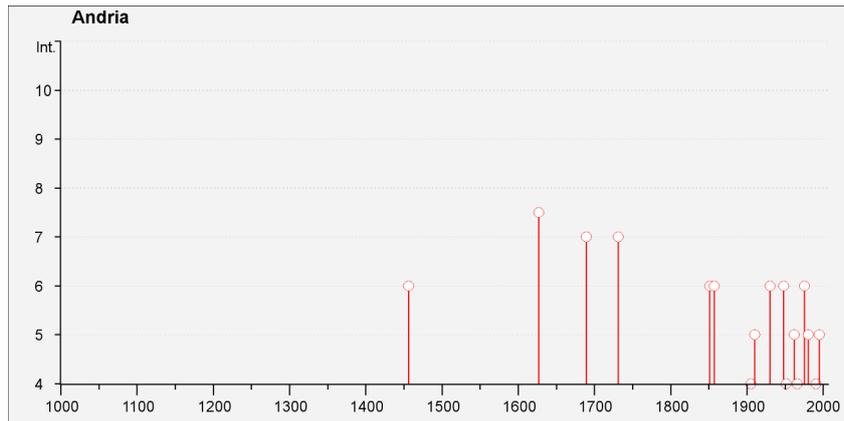


Stralcio dalla "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06 - fonte INGV)

Da tale tabella si evince che tre terremoti, secondo le testimonianze contemporanee, sono stati segnalati come distruttivi. Il primo si è verificato nel 1560, e la sua intensità sismica è stata stimata tra il 7°-8° e 9° MCS, causando il crollo degli edifici e numerose vittime a Barletta e Bisceglie anche se non ci sono riferimenti che hanno permesso di individuare fenomeni di liquefazione ¹. Il secondo si è verificato il 3 maggio 1646 sul Gargano e ha interessato in modo importante Canosa di Puglia in cui sono stati stimati effetti pari al 9° o 10° della scala MCS; il terzo verificatosi in data 20 marzo 1731 fu un forte terremoto con un'intensità stimata del 9° o 10° MCS che colpì la provincia di Foggia e fu seguito da diverse forti scosse di assestamento. Una di queste, il 17 ottobre, ubicata più a sud, ebbe intensità notevole (tra il 6°-7° e 8° MCS) ed interessò fortemente Barletta e Canosa (6°-8° MCS), come riporta il Baratta.

Considerando che, il fenomeno della liquefazione può essere indotto da eventi di magnitudo $M > 5$, e che l'intensità del 6° grado sulla MCS rappresenta il limite inferiore per il verificarsi del danno strutturale, si evince come almeno quindici eventi documentati nella Tab.1 possono essere considerati significativi per i loro possibili danni alle strutture. Dall'esame del Database Macrosismico Italiano (DBMI11) elaborato dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) aggiornato al 2011 è possibile ricavare la storia sismica del territorio di progetto.

¹ Nel campo dell'ingegneria sismica e della geotecnica, col termine **liquefazione** si intende una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno (cfr. punto 7.11.3.4.1 Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008).



Storia sismica di Andria e Barletta– Istogramma dei principali terremoti avvertiti dall'anno 1000 (intensità espressa in gradi della scala MCS) – Fonte DBMI11 – INGV - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

4 INTERVENTO DI PROGETTO – SISTEMAZIONE DELLA FALESIA

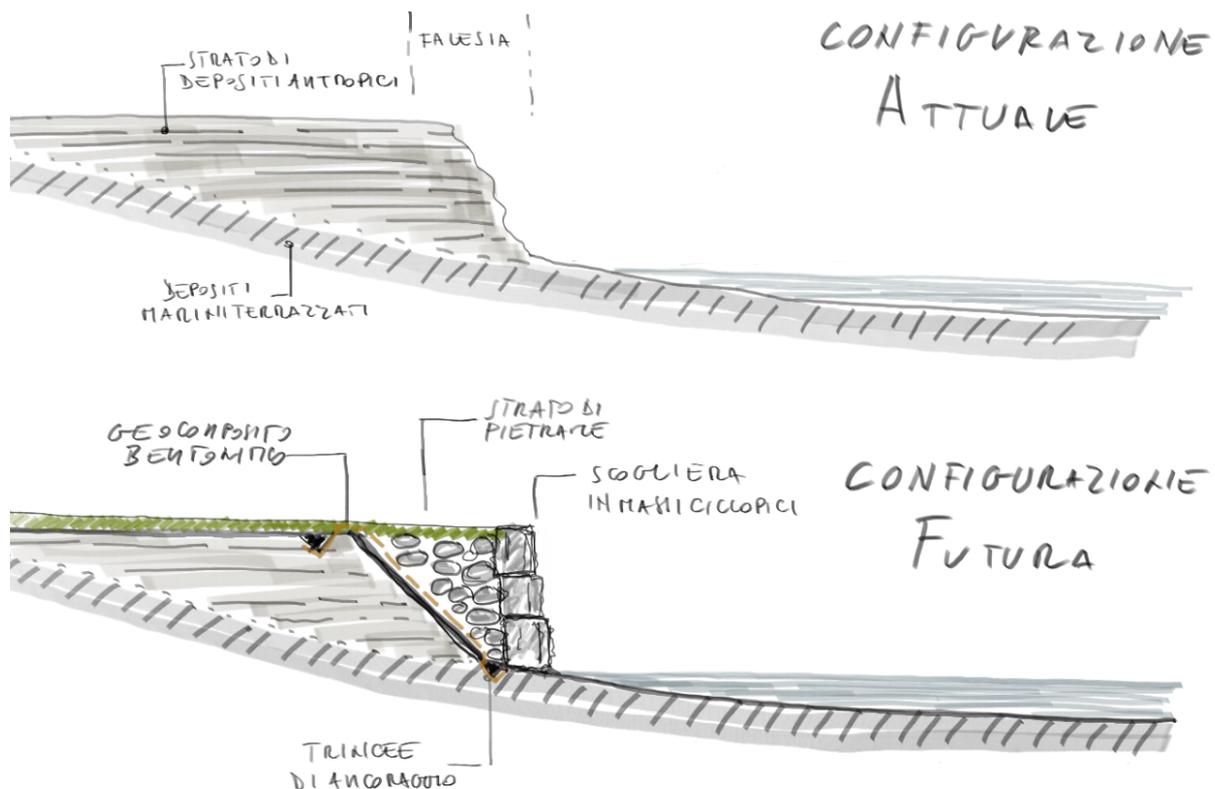
A seguito delle succitate criticità, in questo tratto di costa, in accordo con gli interventi consentiti dall'art. 13 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI, è possibile prevedere, come intervento di **compensazione ambientale**, la realizzazione, previa caratterizzazione e bonifica ambientale del sito, di un sistema di consolidamento della linea di costa.

Il sistema di consolidamento proposto, come dettagliato nello Studio di compatibilità geologica e geotecnica (allegato R.1.4), consiste sostanzialmente nel configurare il fronte della scarpata, attualmente in assetto verticale, in modo da poter realizzare un sistema di protezione così costituito:

- **Riconfigurazione della scarpata:** trattandosi di materiale di riporto è opportuno limitarne al minimo la movimentazione, definendo un profilo di pendenza adeguata su cui impostare un sistema di protezione in massi ciclopici.
- **Posa di uno strato impermeabilizzante** costituito da un geocomposito bentonitico, la cui funzione è quella di evitare l'ingressione e il dilavamento del materiale di cui è costituito il riporto. Il geocomposito sarà impostato al piede e a monte del rilevato mediante apposite trincee di ancoraggio in pietrame cementato. Il geocomposito sarà protetto da un geocomposito tessuto non tessuto da 1.000 g/mq.
- **Realizzazione di una scogliera basale in massi ciclopici** a protezione del piede del rilevato.
- **Realizzazione di uno strato di pietrame** a protezione dello strato di geocompositi
- **Completamento della scogliera in massi ciclopici** fino alla parte sommitale del rilevato.

L'intervento in progetto sarà esteso su un tratto di costa lungo circa 250 metri, compreso tra la viabilità litoranea e il termine, verso est, della perimetrazione PAI.

Si tratta, in sostanza, di un vero e proprio intervento di difesa costiera, reso necessario dall'impossibilità di riconfigurare la falesia artificiale, proprio per la presenza di riporti antropici che si vuole evitare di movimentare in adiacenza alla linea di battigia. Di seguito si riporta il dimensionamento dei massi costituenti la barriera protettiva.



4.1 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI COSTITUENTI LA BARRIERA PROTETTIVA

Il dimensionamento dei massi costituenti la barriera radente a protezione della falesia è stato eseguito applicando la formula sperimentale di Hudson, di seguito indicata:

$$M_{50} = \frac{\rho_a H_s^3}{K_D \left(\frac{\rho_a}{\rho} - 1 \right)^3 \cot g\alpha}$$

con,

- M_{50} = peso medio dei massi (ton);
- H_s = altezza onda di progetto;
- ρ_a = peso specifico del masso (2,6 ton/m³);
- ρ = peso specifico dell'acqua (1,025 ton/m³);
- $\cot g\alpha$ = pendenza della mantellata (2,00);
- K_D = coefficiente di stabilità (1,2)

Per la stima dell'onda di progetto sono state adottate più formulazioni ed in particolare quelle di Munck, di Kamphuis e di Weggel allo scopo di determinare tra le tre quella di maggiore incidenza.

FORMULA DI MUNCK $\frac{H_b}{d_b} = 0,78$

FORMULA DI KAMPHUIS $H_b = e^{3.5m} 0,56^* d_b$

FORMULA DI WEGGEL $H_b = \frac{b * H_b}{1 + a \left(\frac{d_b}{gT^2} \right)}$

Con

- $a = 43,75 (1 - e^{-19m})$
- $b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,8m})}$

posto:

- h_b = profondità fondale al piede della barriera (1,5);
- m = pendenza del fondale (0,045);
- T = periodo dell'onda (10 sec).

A partire dalle ipotesi indicate sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- $H_b = 1,17$ m (MUNCK)
- $H_b = 0,98$ m (KAMPHUIS)
- $H_b = 1,59$ m (WEGGEL)

Alla luce di tali risultati è stato adottato il risultato ottenuto dalla formula di Weggel (1,59 m), essendo questa la scelta più cautelativa ai fini della progettazione.

Per quanto riguarda il valore del coefficiente di stabilità K_D si è fatto riferimento alla seguente tabella (Shore protection manual) e utilizzando come tipologia di massi quelli a "spigoli vivi in condizioni di frangimento".

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K _D ²		K _D		Slope
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Cot θ
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 ⁵
Smooth rounded	>3	Random ⁴	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Smooth rounded	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	2	Special ⁶	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped ⁷	2	Special ¹	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	18.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	---	6.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarystone (K _{RR}) Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Utilizzando la formulazione sperimentale di Hudson e inserendo tutti i dati indicati è stato **attenuto un peso medio dei massi pari a 1,20 ton** a cui corrisponde un diametro medio pari a circa 0,80 m.

Nota l'entità ed il peso dei massi da posizionare sono stati determinati lo spessore della mantellata e l'altezza di risalita (formula empirica di Gimenez) rispettivamente con le seguenti formulazioni:

$$B = n K_{\Delta} \left(\frac{M_{50}}{\gamma_s} \right)^{1/3}$$

SPESSORE MANTELLATA

con:

- n = coefficiente maggiore di 2 e che dipende dallo spessore della mantellata;
- K_Δ = coefficiente idrodinamico di stabilità (1,00);

$$R_u = H_s A_u (1 - \exp(B_u \xi_m))$$

ALTEZZA DI RISALITA MASSIMA

con:

- R_u = massima quota misurata verticalmente rispetto al livello medio del mare (superata dal 2% delle onde incidenti);
- H_s = altezza dell'onda incidente (1,59 – calcolata precedentemente);
- A_u = 1,37 (nel caso di massi naturali)
- B_u = - 0,6 (nel caso di massi naturali);

$$\xi m = \frac{m_0}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}}$$

- Numero di Iribarren

Applicando le precedenti relazioni sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- B = 1,55 m (spessore mantellata);
- R_u = 2,07 m (altezza di runup dell'onda).

In relazione a quanto ottenuto, a vantaggio di sicurezza, è stata adottata una quota di coronamento della barriera radente pari a 2,50 m. In tali condizioni in nuovo piede della falesia risulterà protetto dalle azioni erosive delle onde frangenti.

È evidente che la scogliera fornisce una adeguata protezione delle azioni impattanti del moto ondoso riducendo nel complesso l'azione erosiva subita dalla costa.