



CENTRALE EOLICA OFFSHORE BRINDISI
PARCO EOLICO MARINO ANTISTANTE LE COSTE DI BRINDISI -
SAN PIETRO VERNOTICO E TORCHIAROLO

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ELABORATO	TITOLO
SIA-05	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E SISMICA DEL SITO A MARE - RELAZIONE SUB BOTTOM PROFILE

Responsabile Progetto: Prof. Giuseppe Calò

Committente



TG Energie rinnovabili S.r.l.
 Ravenna via Zuccherificio n.10
 P.IVA 02260730391



Gruppo di progettazione



COORDINAMENTO DEL SIA
 ARKE' INGEGNERIA S.r.l.
 Via Imperatore Traiano n. 4
 TEL/FAX 080/2022423
 e-mail: segreteria@arkeingegneria.it

PROF. ING. ALBERTO FERRUCCIO PICCINNI
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n. 7288)

ING. GIOACCHINO ANGARANO
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n. 5970)



ELABORAZIONE DOCUMENTO A CURA DI

Via Beatrice Acquaviva D'Aragona n.5
 73020 Cavallino (LE) - Italy
 ☎ Office Phone: +39 0832 612690
 ☎ Office Fax: +39 0832 612649
 ✉ E-mail: info@geoambientesrl.it
www.geoambientesrl.it

Prof. Ing. Giuseppe CALO'

Geom. Giuseppe TAURINO



GESTIONE DOCUMENTO

Rif. DWG		Prot. n.	
Disk/dir.		Data Prot.	
N° revisione	01	N° edizione	
Data revisione	23-03-2013	Data edizione	

Il presente documento è proprietà riservata di TG S.r.l. Ai sensi dell'art. 2575 C.C. è vietata la riproduzione, la pubblicazione e l'utilizzo senza espressa autorizzazione.

INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA IN ESAME.....	2
3	INDAGINE MORFO-BATIMETRICA	4
3.1	STRUMENTAZIONE SINGLE BEAM.....	4
3.2	STRUMENTAZIONE SIDE SCAN SONAR.....	4
3.3	MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE MORFO-BATIMETRICA	6
3.4	CONSIDERAZIONI SULLA MORFOLOGIA DEI FONDALI.....	6
4	INDAGINE SUB-BOTTOM PROFILER	8
4.1	STRUMENTAZIONE SUB-BOTTOM PROFILER.....	8
4.2	ELABORAZIONE DEI DATI SUB-BOTTOM.....	11
4.3	RISULTATI D'INDAGINE.....	11
5	CARATTERIZZAZIONE LITO-STRATIGRAFICA E TECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DEGLI AEROGENERATORI	14
5.1	CONDIZIONI DI ASSETTO STRATIGRAFICO DELLA ZONA OFFSHORE	14
5.2	TIPOLOGIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	14
5.3	LIMI SABBIOSO-ARGILLOSI SOMMITALI	15
5.4	ARGILLE GRIGIO-AZZURRE DI BASE	15
6	RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	17
7	FONTI DOCUMENTALI E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	18

1 PREMESSA

Nella presente relazione, che fa parte integrante dello studio geologico per il progetto di realizzazione di un parco eolico offshore al largo del tratto di costa adriatica compresa tra Brindisi sud e Torre San Gennaro, si espongono i risultati delle indagini eseguite al fine di caratterizzare, dal punto di vista morfo-batimetrico e lito-stratigrafico, il fondale marino interessato dagli interventi di progetto.

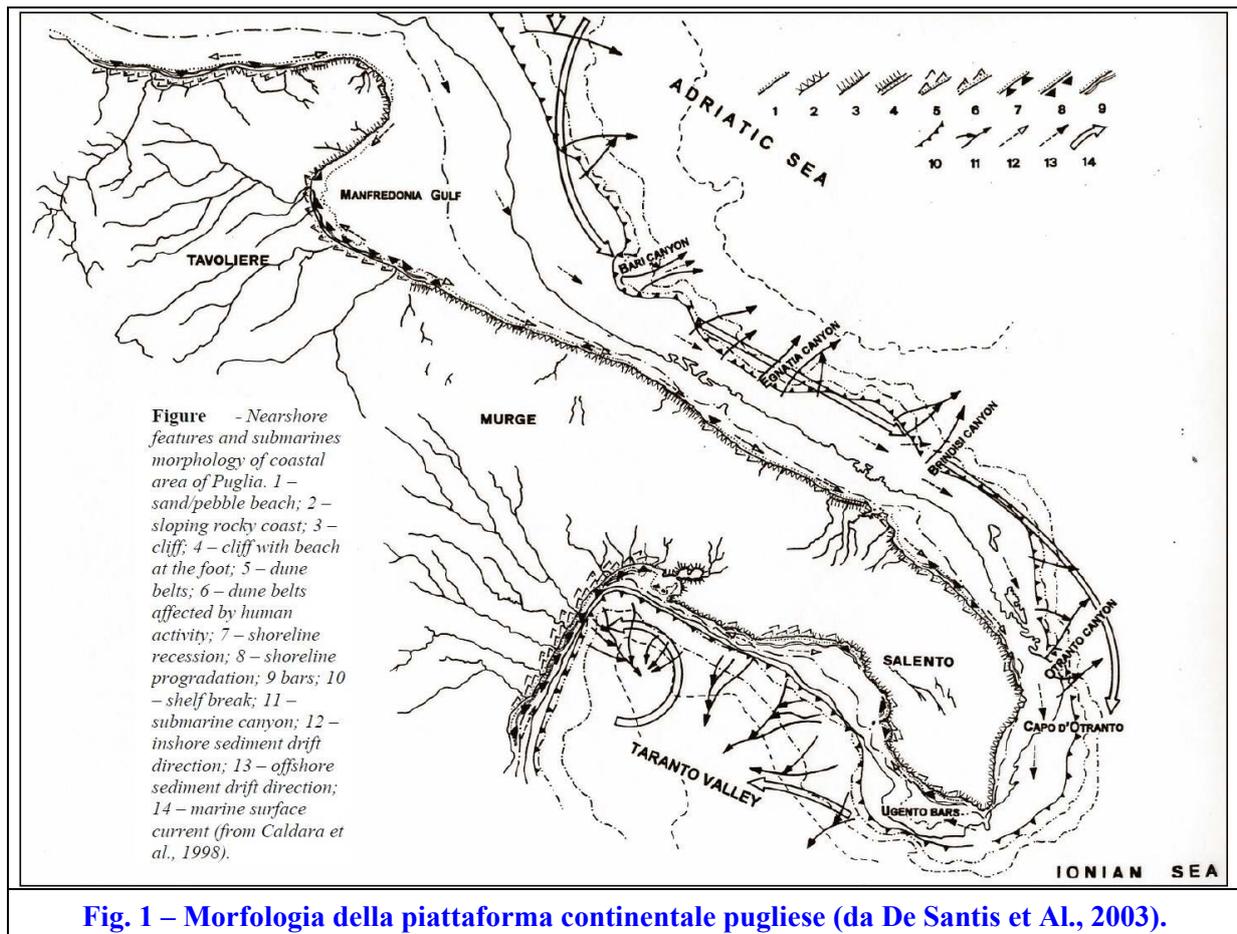
Nella presente vengono descritti i risultati delle indagini svolte al fine di ricostruire la batimetria (“Single Beam”) e la morfologia (“Side Scan Sonar”) del fondale e di quelle effettuate con l’obiettivo di acquisire informazioni circa le condizioni di assetto stratigrafico del sottosuolo (“Sub-bottom Profiler”).

Sulla base dei risultati d’indagine e attraverso la correlazione tra questi ultimi e la struttura geologica delle aree emerse, è stato quindi ricostruito un modello geologico del sottosuolo del fondale marino, rappresentato graficamente attraverso sezioni geologiche della zona offshore.

2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA IN ESAME

Il sito interessato dal progetto del parco eolico offshore si colloca al largo del litorale adriatico compreso tra Capo di Torre Cavallo e Torre San Gennaro (BR), ad una distanza media dalla linea di costa dell'ordine di circa 5 Km.

Lo specchio acqueo in esame si colloca all'interno della piattaforma continentale adriatica (v. [Fig. 1](#)), in un intervallo batimetrico compreso tra i 20 e i 35 metri di profondità.



Dal punto di vista geologico-strutturale, la piattaforma continentale del Salento fa parte integrante dell'Avampaese Apulo, una macrostruttura blandamente deformata dalla prima fase dell'orogenesi appenninica e successivamente dislocata da sistemi di faglie dirette con prevalente direzione NW-SE, attive soprattutto durante il Neogene (Ricchetti et Al., 1988; Tozzi M., 1993).

La zona di piattaforma che si estende a sud di Brindisi è caratterizzata da una complessa architettura stratigrafica, dominata dalla presenza di cunei progradanti di età pleistocenica (Aiello & Budillon, 2003; Aiello G., 2010). La geometria e la struttura stratigrafica dei suddetti cunei sono state influenzate da molteplici fattori, tra cui i meccanismi di sedimentazione, le variazioni glacio-eustatiche del livello marino e l'attività tettonica su scala regionale.

In particolare, l'evoluzione stratigrafica dell'offshore salentino è stata fortemente condizionata

dalle fasi di sollevamento tettonico dell'Avampaese Apulo nel Pleistocene medio, mentre nel Pleistocene medio-sup. e nell'Olocene, essa appare influenzata principalmente dalle variazioni glacio-eustatiche del livello marino (Budillon & Aiello, 1999). In particolare, le oscillazioni del livello marino avvenute nel tardo quaternario (v. [Fig. 2](#)), hanno influenzato moltissimo l'evoluzione paleogeografica sia delle aree attualmente emerse sia delle fasce litorali sommerse, creando una complessa ed articolata sequenza di terrazzamenti.

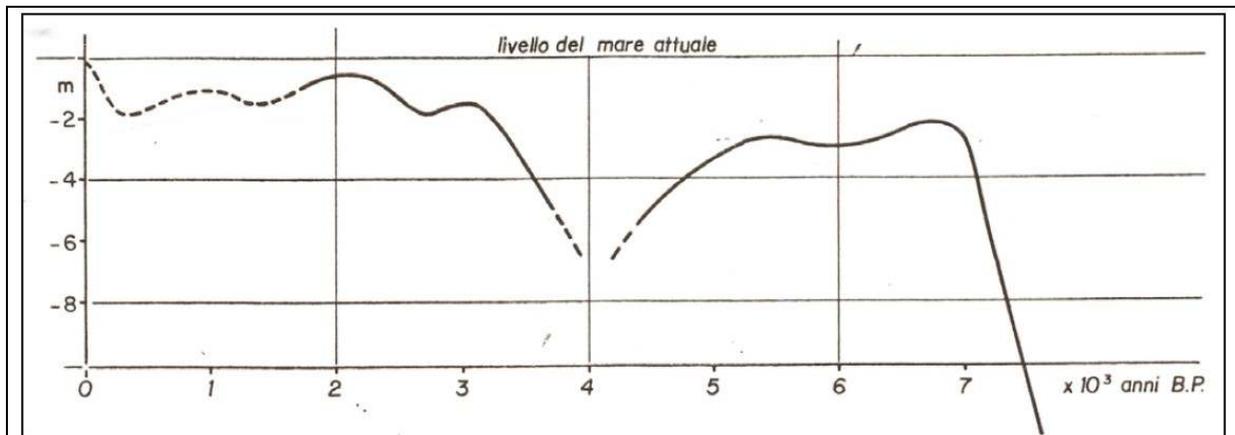


Fig. 2 – Ricostruzione delle variazioni oloceniche del livello marino (da Dai Pra & Hearty, 1988).

Infatti, oltre che sulla terraferma, anche nelle aree sommerse si rinvencono tuttora tracce evidenti di pregresse fasi di modellazione costiera, meglio conservatesi soprattutto nei domini di affioramento di formazioni lapidee poco erodibili, come ad esempio nel tratto compreso tra Otranto e Santa Maria di Leuca (Centenaro et Al., 2003). D'altronde, le variazioni di quota del livello marino hanno influenzato fortemente anche i meccanismi morfogenetici di ambiente continentale, modificando ciclicamente il livello di base dei corsi d'acqua e quindi anche lo sviluppo e l'evoluzione dei solchi erosivi e vallivi (Mastronuzzi & Sansò, 2002; Mastronuzzi et Al., 2011).

In linea generale, l'offshore di Brindisi presenta una struttura morfologica e tettonico-stratigrafica che riflette l'andamento generale delle aree emerse, ovvero è caratterizzata dalla presenza di un potente substrato calcareo mesozoico non affiorante ("Calcare di Altamura"), in quanto dislocato nel sottosuolo da sistemi di faglie dirette con direzione NW-SE. La profondità di dislocamento, generalmente crescente da ovest verso est, delinea una struttura a "gradini" con approfondimento progressivo del substrato calcareo dalla zona costiera in direzione del margine esterno della piattaforma continentale.

Di norma, la crescente profondità di dislocamento del basamento mesozoico è accompagnata da un incremento dello spessore dei sedimenti di copertura, i quali, quantomeno in prossimità della costa, sono verosimilmente costituiti da una successione costituita da depositi detritico-organogeni del Pleistocene inf. ("Calcarene di Gravina"), sormontati da una formazione terrigena sempre del Pleistocene inf. ("Argille Subappennine") e dai più recenti depositi di terrazzo di età tardo-pleistocenica ("Depositati Marini Terrazzati").

3 INDAGINE MORFO-BATIMETRICA

Il rilievo morfo-batimetrico del fondale è stato condotto utilizzando un sistema combinato di misure batimetriche con ecoscandaglio Single Beam e immagini Side Scan Sonar.

I risultati dell'indagine morfo-batimetrica sono illustrati negli elaborati **ELAB-SIA-05/a-e**.

3.1 Strumentazione Single Beam

Il sistema Single Beam utilizzato per i rilievi batimetrici, mod. ELAC HYDROSTAR 4300, è un ecoscandaglio idrografico a doppia frequenza operativa (30/200 kHz). L'ecoscandaglio viene interfacciato al sistema di navigazione e la posizione del trasduttore è definita costantemente in relazione al punto dell'antenna DGPS.

I rilievi sono stati georeferenziati in tempo reale utilizzando un sensore di posizionamento DGPS A100, assicurando così la precisa posizione di ogni misura di profondità. Tale sistema integra anche un sensore di moto che, insieme al sistema di posizionamento globale dell'imbarcazione consente di ottenere in un'unica soluzione sia la posizione che l'assetto in 3D dell'imbarcazione. Le antenne GPS possono essere utilizzate autonomamente, ottenendo un'accuratezza nel posizionamento migliore di 1 m, oppure corrette in differenziale per una maggiore accuratezza.

Il software idrografico QINSY INSHORE ha permesso la gestione del rilievo batimetrico in tutte le sue parti. Infatti, tale software consente la gestione della navigazione tramite linee di navigazione, waypoint, nonché l'acquisizione e il processing dei dati single beam.

3.2 Strumentazione Side Scan Sonar

Il sistema acustico impiegato per indagare la morfologia del fondale, è invece il sonar a scansione laterale o Side Scan Sonar, mod. L-3 Klein K3900 (v. [Fig. 3](#)), a doppia frequenza ad altissima risoluzione.

Il sistema è costituito da un'unità di bordo per l'acquisizione, il controllo e la registrazione dei dati e da un veicolo sottomarino ("pesce") che, mentre viene trainato sott'acqua, emette degli impulsi di energia acustica ad intervalli regolari di tempo. Subito dopo l'emissione dell'impulso, il sistema riceve gli eco di ritorno dal fondo marino e dal sottosuolo. La quantità di energia riflessa dipende dalla variazione di impedenza acustica tra gli elementi presenti nel sottosuolo, mentre il tempo di riflessione dipende dalla profondità della superficie stratigrafica o dell'oggetto che generato la riflessione.

Il GPS e il Side Scan Sonar sono collegati in *real time* ad una stazione di registrazione mediante software di acquisizione-navigazione con capacità di registrazione delle coordinate geografiche (v. [Fig. 4](#)).

Il Towfish, tramite due trasduttori sistemati ai lati del "pesce" trainato dall'imbarcazione, consente di ottenere l'immagine del fondo su di una registrazione grafica e digitale. Grazie alla forma, dimensioni e posizionamento dei trasduttori, si ottiene un fascio acustico a forma di ventaglio giacente nel piano verticale e perpendicolare alla direzione del movimento del mezzo trainante. Col procedere del battello, le successive trasmissioni danno luogo ad una copertura continua del fondo analoga ad una fotografia aerea a volo radente. Tale strumento permette di individuare anche piccole caratteristiche morfologiche dei fondali, quali massi affioranti, discontinuità nella morfologia dei fondali o la presenza di oggetti sul fondale.



Specifiche tecniche: frequenza acustica: 445 - 900 kHz; beams orizzontali: 0.21°; verticali 40°; 500 Watt; ingresso per GPS (Global Positioning System); range di scala 12 valori da 10 a 200m; range massimo 150 metri a 445 KHz, 50 metri a 900 kHz; ingresso per compensatore d'onda; dimensioni: altezza 8.9 x larghezza 122; peso: 29 kg.

Fig. 3 – Side Scan Sonar K3900.

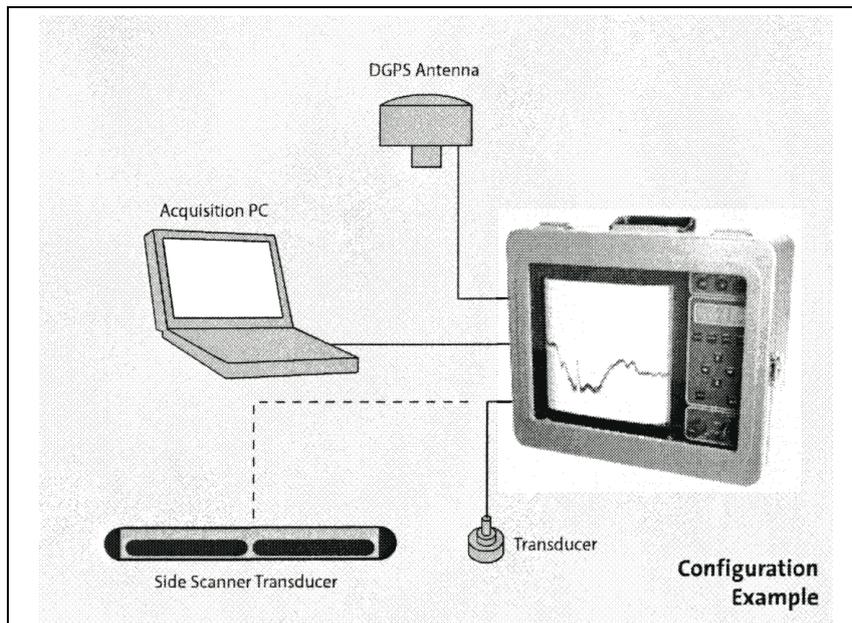


Fig. 4 – Schema di configurazione del Side Scan Sonar.

L'immagine fornita è divisa in due bande corrispondenti al lato sinistro e destro del fondale rispetto al percorso della sorgente trainata. In essa i riflettori più forti danno luogo ad un segno più scuro, mentre le zone chiare corrispondono ad una eco molto debole o nulla. Le immagini vengono interpretate in base alla forma ed intensità degli echi e delle ombre acustiche.

Ogni eventuale anomalia viene annotata e georeferenziata in base alle misure di posizione rilevate dal sistema di navigazione DGPS. Le immagini acquisite possono essere convertite in

presa diretta in immagini digitali georeferenziate, le quali vengono poi elaborate con il software di "mosaiking" Chesapeake SONAR WIZ MAP. In questo modo si ottiene una mappa digitale del fondo marino, utile alla redazione di carte batimetriche, morfologiche e profili delle strisciate eseguite.

3.3 Modalità di esecuzione dell'indagine morfo-batimetrica

I rilievi sono stati condotti lungo transetti, principalmente paralleli alla costa ed in parte ortogonali, calibrando lo strumento con range laterale di 100 metri e un overlap di 50 metri, in modo tale da avere una copertura totale dell'area indagata.

I sonogrammi ottenuti, registrati in formato XTF e georeferenzati in UTM-WGS 84 fuso 33, sono stati elaborati mediante software dedicati. Le principali fasi di elaborazione sono state:

- pulizia dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione);
- applicazione della correzione slant range;
- produzione del fotomosaico in formato raster.

Il fotomosaico ad alta risoluzione è stato interpretato con lo scopo di elaborare carte tematiche di dettaglio nell'area interessata dall'impianto eolico off-shore ed in particolare nelle porzioni di fondale marino interessate dal posizionamento degli aerogeneratori e dal tracciato della condotta al fine di valutare la valenza conservazionistica degli habitat presenti.

3.4 Considerazioni sulla morfologia dei fondali

I risultati dell'indagine relativa alla mappatura e valutazione tipologica degli habitat bentonici sono commentati e descritti nell'apposito elaborato specialistico allegato allo Studio di Impatto Ambientale. In queste sede si riportano solo le osservazioni e considerazioni di carattere morfologico, scaturite dai risultati d'indagine.

In particolare, esaminando l'andamento delle isobate del fondale marino ricostruite sulla base dei rilievi effettuati, si possono fare le seguenti osservazioni:

1. il fondale marino più a nord (al largo di Capo di Torre Cavallo – Punta della Contessa) presenta una batimetria decisamente più regolare rispetto a quella delle zone più a sud, approfondendosi con una pendenza media dello 0,5%;
2. la fascia di fondale più vicina alla costa, della larghezza di circa 600 metri, si presenta un po' ovunque come una blanda scarpata con inclinazione media pari a circa l'1,7%;
3. nell'offshore a sud di Punta della Contessa, ai piedi della scarpata litorale, si estende una zona di fondale assai poco inclinato (pendenza media ~ 0,3%), larga circa 2 Km, seguita da una secca, ovvero una fascia stretta e allungata parallelamente alla costa in cui il fondale risale di 5÷8 metri, talvolta in maniera piuttosto brusca;
4. la scarpata orientale della secca (quella rivolta verso il largo) ha una pendenza media di circa l'1,2% e segna il passaggio ad una fascia esterna di fondale, di batimetria compresa tra i 25 e i 30 metri sotto il l.m., quasi pianeggiante (pendenza media ~ 0,2%);
5. la fascia di fondale più distante dalla costa è caratterizzata da una batimetria regolare e da un incremento progressivo di profondità con pendenze dell'ordine dello 0,6%.

In riferimento alle osservazioni sopra elencate, si può ragionevolmente affermare che la scarpata di cui al punto 2. e la zona pianeggiante che si estende ai suoi piedi individuano un antico terrazzo marino correlabile a quello che si rinviene scolpito nei fondali di aree costiere

più stabili ad una profondità di circa 10 metri sotto il l.m. (Centenaro et Al., 2003).

La secca di cui al punto 3., per le sue caratteristiche geometriche e morfologiche, può invece essere interpretata in vari modi, ovvero:

- come il relitto di un antico corpo dunare fossile, creatosi in condizioni paleogeografiche caratterizzate da un livello marino più basso;
- come una barra costiera creata dalle dinamiche di trasporto dei sedimenti sabbiosi lungo la fascia litorale;
- come un lembo relitto di depositi pleistocenici di terrazzo che ha resistito alle pregresse fasi di smantellamento erosivo ed arretramento della linea costa in quanto costituito da litofacies calcarenitiche ben cementate e tenaci.

Nella rappresentazione digitale del fondale marino (v. fotomosaico ad alta risoluzione di cui all'elaborato **PRO-TAV-01/a**) è inoltre possibile individuare delle fasce di fondale sabbioso a sviluppo lineare o serpeggiante e con direzione ortogonale alla costa: tali elementi morfologici possono essere interpretati come tracce di antiche linee di deflusso, ovvero paleo-incisioni che, nella maggior parte dei casi, è possibile correlare con il tracciato di alcuni dei più importanti canali che solcano attualmente la Piana di Brindisi.

4 INDAGINE SUB-BOTTOM PROFILER

Con l'obiettivo di acquisire informazioni sulla stratigrafia dei terreni presenti al di sotto del fondale marino interessato dagli interventi di progetto, la GEOPROSPECTOR S.r.l. di Bari ha eseguito n. 6 profili sismici con il sistema Sub-bottom Profiler, la cui ubicazione è riportata nell'elaborato **ELAB-SIA-05/f÷o**.

4.1 Strumentazione Sub-bottom Profiler

L'indagine è stata eseguita con un sistema di acquisizione del tipo Sub-bottom Profiler 3100-P della EdgeTech (v. [Fig. 5](#)) costituito da una unità di bordo per l'acquisizione, il controllo e la registrazione dei dati (v. [Foto 1](#)) e da un veicolo sottomarino SB-216S (v. [Foto 2](#)) che viene trainato sott'acqua (v. [Foto 3](#)) lungo definite linee di navigazione, emettendo degli impulsi di energia acustica ad intervalli regolari di tempo.



Fig. 5 – Sub-bottom Profiler.



Foto 1



Foto 2

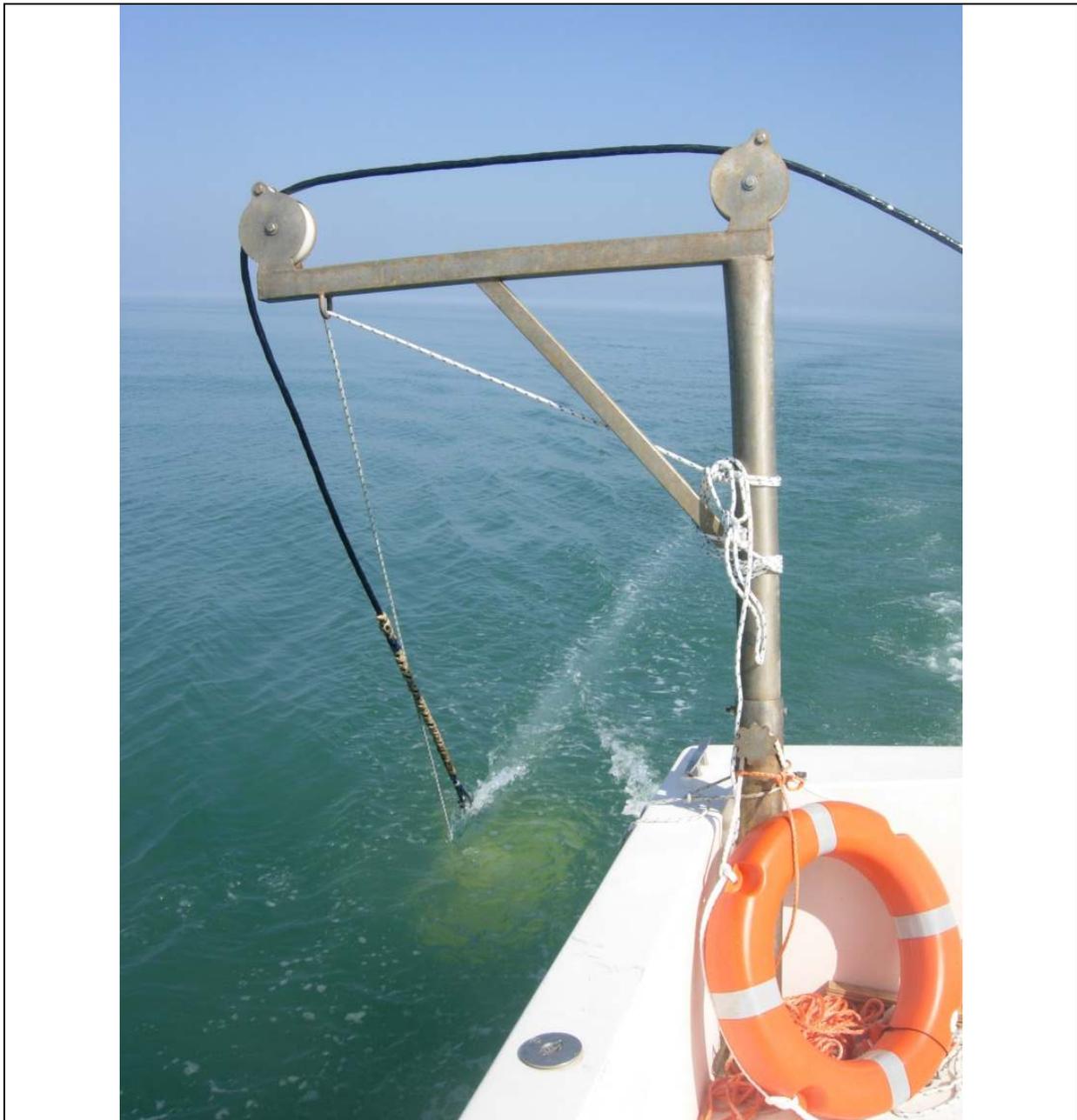


Foto 3

Le onde acustiche trasmesse dal sub-bottom profiler sono riflesse ad ogni variazione di densità e velocità del mezzo in cui si propagano, descrivendo così la geometria deposizionale degli strati del sottofondo e fornendo indicazioni indirette sulla natura dei sedimenti attraversati. Le onde riflesse vengono registrate dal trasduttore ed inviate al processore posto a bordo dell'imbarcazione. I dati acquisiti sono visualizzati e georeferenziati in tempo reale sul computer di acquisizione ed immagazzinati in files sottoposti ad elaborazione ed analisi successive.

Il sistema Edgetech 3100-P genera uno spettro di frequenze comprese tra i 2 ed i 16 kHz che garantisce una buona penetrazione dei sedimenti del sottofondo, variabile da 6 a 80 m, al diminuire delle caratteristiche di densità e compattezza dei sedimenti.

4.2 Elaborazione dei dati Sub-bottom

In fase di processing, i dati acquisiti con Sub-bottom Profiler ed immagazzinati in formato SEG Y sono stati trasformati in formato COD ed elaborati mediante il software Coda Geosurvey della Coda Octopus Group Inc..

In particolare, per le sei linee acquisite, sono state effettuate le seguenti operazioni:

1. amplificazione del segnale di tipo logaritmico;
2. filtraggio del segnale in frequenza del tipo passabanda;
3. lisciamento cross-track;
4. filtraggio del moto ondoso;
5. mixaggio.

Il software ha restituito i dati acquisiti in formato TIF, successivamente riportati in scala 1:1.250 per quanto riguarda le distanze, mentre per le profondità è stata adottata una scala temporale con passo di 2,5 millisecondi per centimetro. Questo significa che in acqua 2,5 msec corrispondono a circa 0,95 metri di profondità, considerando una velocità media dell'acqua di 1500 m/sec; per il fondale 2,5 msec, corrispondono invece a circa 1,25 metri di profondità, considerando una velocità media del fondale di 2000 m/sec.

4.3 Risultati d'indagine

I profili ottenuti (v. elaborati **ELAB-SIA-05/g+n**) evidenziano una notevole attenuazione del segnale, con conseguente bassa penetrazione dello stesso (circa 10-15 metri). Ciò è verosimilmente imputabile ad una certa rigidità del fondale, ovvero ad una sua natura tendenzialmente litoide.

Nel caso specifico, i segnali si mostrano piuttosto discontinui, con numerose iperboli di riflessione, in tutta l'area indagata. Spesso, soprattutto nelle zone depresse del fondale e più lontano dalla costa, si rilevano segnali superficiali sub-orizzontali, caratterizzati da una certa continuità.

Più in dettaglio, l'analisi delle sezioni sub-bottom ha permesso di riconoscere tre differenti patterns sismo-stratigrafici:

- 1- zone con segnali generalmente continui presenti fino a piccole profondità; a luoghi sono presenti anche segnali superficiali discontinui;
- 2- zone con segnali piuttosto continui e più profondi, spesso presenti in zone depresse del fondale;
- 3- zone con diffusi segnali iperbolici e discontinui presenti sin dalla superficie del fondale; più spesso rilevabili laddove il fondale è batimetricamente più articolato e/o più vicino alla costa.

Nell'elaborato **ELAB-SIA-05/o** "Interpretazione stratigrafica del fondale marino", vengono mostrate le zone con maggiori accumuli di sedimenti molli e le zone con substrato lapideo praticamente affiorante.

Per ciò che concerne la correlazione tra le rilevanze sismo-stratigrafiche e la geolitologia del fondale indagato, la grande distanza tra le linee eseguite e la mancanza di informazioni geologiche puntuali non possono permettere attribuzioni litologiche certe.

Tuttavia, data la bassa penetrazione raggiunta dal Sub-bottom e la notevole discontinuità dei

segnali rilevati, i fondali dovrebbero essere caratterizzati da una certa rigidità e assenza di stratificazione o stratificazione interrotta da numerose discontinuità litologiche. Tutto ciò rende ragionevolmente consistente un'associazione della sismo-stratigrafia rilevata con una formazione sabbioso-calcarenitica dalle caratteristiche litologiche e tecniche assimilabili a quella affiorante lungo la prospiciente fascia litorale (v. [Foto 4](#)).

Tale situazione non era affatto scontata, poiché, sebbene la formazione calcarenitica affiorasse lungo la linea di costa, era lecito attendersi che la stessa risultasse, nella fascia infralitorale e circalitorale, pressoché smantellata dai processi di abrasione marina.



Foto 4 – Facies sabbioso-calcarenitica affiorante a nord della centrale di Cerano.

La presenza, in alcune zone, di segnali continui solo nella parte superficiale dei fondali, indica l'esistenza di un sottile strato di sedimenti sabbiosi, che si approfondisce leggermente in corrispondenza delle zone più depresse e più lontane dalla costa e si assottiglia, fino a scomparire, nelle parti più accidentate e più vicine alla costa.

Tutto ciò trova sostanziale riscontro nelle indagini batimetriche-morfologiche-biologiche effettuate nell'ambito dell'area investigata dal Sub-bottom Profiler.

A causa del noto effetto di mascheramento del segnale sub-bottom da parte delle rocce rigide, che lo limitano a pochi metri di profondità, non si notano segnali sottostanti che possano consentire di valutare lo spessore dell'ipotizzato strato sabbioso-calcarenitico. Ciò significherebbe che tali rocce o sono profonde più della penetrazione consentita dal Sub-bottom Profiler utilizzato (circa 5-10 metri) oppure rendono talmente discontinui i segnali riflessi da schermare e rendere incoerenti anche i segnali riflessi più profondi.

Avendo constatato l'esistenza di un fondale quasi ovunque alquanto rigido con assenza di chiare stratificazioni, per analogia con la situazione stratigrafica esistente lungo la fascia costiera, sarebbe lecito attendersi la presenza di un "cappellaccio" calcarenitico di spessore modesto, probabilmente residuale, poggiante su sedimenti prettamente sabbiosi, passanti in profondità a limi sabbioso-argillosi.

5 CARATTERIZZAZIONE LITO-STRATIGRAFICA E TECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DEGLI AEROGENERATORI

5.1 Condizioni di assetto stratigrafico della zona offshore

L'indagine sub-bottom ha evidenziato una situazione stratigrafica del fondale compatibile con la diffusa presenza di una formazione sabbioso-calcarenitica pressoché affiorante e solo a luoghi ricoperte da sottili spessori di sedimenti sabbiosi molli.

La presenza sul fondale marino di sedimenti calcarenitici simili a quelli affioranti lungo la costa è peraltro compatibile e correlabile con il sistema di terrazzi marini che borda l'intero litorale salentino e che è quasi sempre caratterizzato dalla presenza di sequenze stratigrafiche ("Depositi Marini Terrazzati") contenenti rocce calcareo-detritiche spesso ben cementate ("carpari") e con intercalati banchi calciruditici in facies di "panchina", particolarmente duri e resistenti, anche se di spessore assai limitato (generalmente ≤ 1 m).

Ipotizzando che i terreni affioranti sui fondali siano prevalentemente riconducibili alla formazione dei Depositi Marini Terrazzati, sono state ricostruite n. 2 sezioni geologiche interpretative passanti per la zona offshore, una ortogonale e l'altra parallela alla linea di costa (v. elaborato **ELAB-SIA-03/e**).

Nella ricostruzione delle condizioni di assetto stratigrafico del fondale interessato dagli interventi di progetto, l'orizzonte superiore è costituito da lembi relitti (spessore max 5 metri) di depositi di terrazzo del Pleistocene medio-sup. in facies prevalentemente calcarenitica.

Al di sotto dei depositi di terrazzo si rinviene una successione del Pleistocene inf. costituita da limi sabbioso-argillosi, passanti verso il basso a limi argillosi ed argille limose di colore grigio azzurro ("Argille Subappennine"). Questa formazione presenta spessori che si incrementano progressivamente in direzione del mare aperto, di pari passo con l'approfondimento del substrato geologico.

Alla base delle argille è presente una formazione calcareo-detritica ("Calcarenitide di Gravina") riferibile alla fase iniziale del ciclo sedimentario del Pleistocene inf.

La successione pleistocenica poggia verosimilmente sul basamento calcareo mesozoico, localmente costituito da litofacies calcareo-dolomitiche di età cretacea ("Calcare di Altamura"). Il substrato si approfondisce progressivamente procedendo da SW verso NE, essendo dislocato da sistemi di faglie dirette con prevalente direzione appenninica (NW-SE).

5.2 Tipologia dei terreni di fondazione

In base alla ricostruzione stratigrafica precedentemente descritta ed illustrata nelle sezioni geologiche interpretative, si ritiene che i terreni di fondazione degli aerogeneratori saranno costituiti principalmente dalle facies limoso-argillose del Pleistocene inf. attribuibili alla formazione delle "Argille Subappennine".

Ai fini di una prima caratterizzazione geotecnica, sono stati presi come riferimento i dati della campagna di indagini geognostiche eseguite a supporto del progetto esecutivo dei lavori di banchinamento in zona Capo Bianco e di dragaggio per l'approfondimento dei fondali antistanti la parte EST del Porto di Brindisi (Monterisi L., 2004). Si tratta di una copiosa mole di dati geotecnici - scaturiti da indagini in situ e di laboratorio - che hanno caratterizzato in maniera assai dettagliata i terreni costituenti la formazione delle "Argille Subappennine".

I numerosi sondaggi effettuati sia nella parte emersa che nella zona offshore del Porto di Brindisi hanno permesso di individuare due diversi orizzonti con caratteristiche tecniche differenti. In particolare, è stato distinto un livello sommitale, costituito principalmente da limi sabbioso-argillosi ed un livello medio-inferiore, costituito da argille limose.

Entrambi gli orizzonti sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico mediante esecuzione di prove di taglio diretto, triassiali ed edometriche. Si riporta di seguito una sintetica descrizione dei principali caratteri geotecnici dei terreni in esame, desunti dalla documentazione esaminata.

5.3 Limi sabbioso-argillosi sommitali

Il livello sommitale è costituito prevalentemente da limi con sabbia di colore grigio-azzurro, con presenza di occasionali e sottili strati di argilla (spessore < 200 mm). Al tetto lo strato in esame presenta alcuni livelli di sabbia con limo mentre verso la base si osserva un aumento della frazione argillosa. Questo strato ha uno spessore medio di circa 15 metri.

I terreni della parte superiore della formazione argillosa sono granulometricamente costituiti da una sequenza di sabbia con limi e limi con sabbia da debolmente argillosi ad argillosi (frazione sabbiosa $18 \div 85\%$, frazione limosa $14 \div 70\%$, frazione argillosa $2 \div 13\%$), privi di plasticità ($W_L=W_P=0$), a luoghi poco addensati, come evidenziato dai valori del peso di volume del secco e della porosità ($n = 35 \div 44\%$, $\gamma_d = 1,52 \div 1,75 \text{ g/cm}^3$).

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza meccanica, sulla scorta dei risultati delle prove di taglio diretto essi sono esprimibili, in termini di tensioni efficaci, attraverso i seguenti parametri:

$$c' = 0,50 \text{ Kg/cm}^2 \quad \Phi' = 30^\circ$$

Le prove di compressione triassiale del tipo consolidato non drenato (TRX, CIU) hanno invece fornito i seguenti parametri di resistenza meccanica, in termini di tensioni totali e di tensioni efficaci rispettivamente:

$$c = 0,63 \text{ Kg/cm}^2 \quad \Phi = 27^\circ$$

$$c' = 0 \text{ Kg/cm}^2 \quad \Phi' = 31^\circ$$

Dall'esame delle curve di compressibilità edometrica si ricava che tali terreni presentano una compressibilità media, come evidenziato dai parametri $C_c = 0,071 \div 0,107$ e $M = 324 \div 500 \text{ kg/cm}^2$ relativi all'intervallo di carico $6 \div 12 \text{ kg/cm}^2$. Non mancano, tuttavia, livelli a compressibilità medio-bassa ($C_c = 0,059$ e $M = 571 \text{ kg/cm}^2$) e medio-alta ($C_c = 0,165$ e $M = 200 \text{ kg/cm}^2$).

5.4 Argille grigio-azzurre di base

L'argilla grigio-azzurra di base, individuata nei sondaggi più profondi, al di sotto dello strato di limi con sabbie, presenta, fino alle profondità indagate, un'elevata componente limosa e secondariamente sabbiosa.

Questi terreni sono granulometricamente costituiti da limi con argilla e limi argilloso-sabbiosi (frazione sabbiosa $12 \div 20\%$, frazione limosa $55 \div 74\%$, frazione argillosa $14 \div 34\%$), mentre secondo la classificazione USCS basata sui limiti di Atterberg, essi sono classificabili come argille inorganiche CL di media plasticità e basso limite di liquidità ($W_L = 30 \div 37\%$, $W_P = 17 \div 20\%$, $PI = 13 \div 20\%$). Detti terreni presentano inoltre bassi valori del peso di volume del secco ($n = 39 \div 44\%$, $\gamma_d = 1,53 \div 1,66 \text{ g/cm}^3$), verosimilmente coerente con il basso grado di

consolidazione raggiunto dalla formazione.

Le caratteristiche di resistenza meccanica, valutate con prove di compressione triassiale del tipo consolidato non drenato (TRX, CIU), sono esprimibili attraverso i seguenti parametri in termini di tensioni totali e di tensioni efficaci rispettivamente:

$$c = 0,12 \text{ Kg/cm}^2 \quad \phi = 15^\circ$$

$$c' = 0 \text{ Kg/cm}^2 \quad \phi' = 25^\circ$$

Per quanto riguarda, infine, la compressibilità di detti litotipi, dall'esame delle curve di compressibilità edometrica si desume che il materiale in esame presenta generalmente compressibilità medio-alta, come evidenziato dai parametri $C_c = 0,162 \div 0,197$ e $M = 171 \div 207 \text{ kg/cm}^2$ relativi all'intervallo di carico $6 \div 12 \text{ kg/cm}^2$.

6 RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'indagine geologico-tecnica eseguita sull'area offshore interessata dagli interventi di progetto portano a formulare le seguenti conclusioni:

1. la zona in cui è prevista l'installazione degli aerogeneratori si colloca su una porzione di fondale marino ricadente in un intervallo batimetrico compreso tra le isobate 25 e 35 metri sotto il l.m.;
2. la morfologia del fondale risulta più regolare nella fascia nord rispetto alla zona sud, ove è presente un dosso sommerso di forma stretta e allungata, disposto sub-parallelelamente alla linea di costa;
3. nel complesso, la morfologia del fondale è caratterizzata da basse pendenze, anche se conserva elementi geomorfologici relitti che testimoniano antiche fasi di modellamento costiero e continentale;
4. il rinvenimento di un fondale prevalentemente roccioso ha limitato drasticamente le possibilità di investigazione del sottosuolo tramite sub-bottom, impedendo allo stesso di penetrare in profondità e di fornire indicazioni sull'assetto stratigrafico dei terreni situati al di sotto delle rocce calcarenitiche;
5. la ricostruzione del modello geologico della zona offshore indica che le condizioni di assetto stratigrafico del sottosuolo sono localmente caratterizzate dalla presenza di sottili spessori relitti di depositi di terrazzo del Pleistocene medio-sup., giacenti su di una formazione limoso-argillosa del Pleistocene inf., caratterizzata da una potenza significativa, che va incrementandosi progressivamente da SW verso NE;
6. in base allasuddetta ricostruzione stratigrafica, i terreni di fondazione degli aerogeneratori saranno costituiti dai terreni limoso-argillosi attribuibili alla formazione delle "Argille Subappennine", del Pleistocene inf..

Lecce, marzo 2013

GEOAMBIENTE S.R.L.

Dott. Geol. Giuseppe CALO'

(Albo Geologi Regione Puglia n. 148)

Dott. Geol. Donato LUCREZIO

(Albo Geologi Regione Puglia n. 362)

7 FONTI DOCUMENTALI E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ❖ Aiello G. – *Architettura stratigrafica dei cunei progradanti pleistocenici di lowstand sulla piattaforma continentale del Salento (Offshore della Puglia, Adriatico Meridionale)*. Atti del 29° Convegno Nazionale GNGTS, Prato, 26-28/10/2010.
- ❖ Aiello G. & Budillon F. – *Pleistocene lowstand prograding wedges of the Salento continental shelf (Apulia, Southern Italy): the role of glacio-eustatic sea level changes and regional tectonics*. Final Conference Project IGCP 437 “Quaternary coastal morphology and sea level changes”; Otranto/Taranto 22-28 settembre 2003.
- ❖ Aiello G. & Budillon F. – *Lowstand prograding wedges as fourth-order glacio-eustatic cycles in the Pleistocene continental shelf of Apulia (Southern Italy)*. In: *Cyclostratigraphy: Approaches and case histories*. SEPM Spec. Publ. n. 81, 2004.
- ❖ Antonioli F., Ferranti L., Fontana A., Amorosi A., Bondesan A., Braitenberg C., Dutton A., Fontolan G., Furlani S., Lambeck K., Mastronuzzi G., Monaco C., Spada G., Stocchi P. - *Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines*. *Quaternary International*, Vol. XXX, 2009.
- ❖ Auriemma R., Iannone A., Mastronuzzi G., Mauz B., Sansò P., Selli G. - *Late Holocene sea-level in Southern Apulia (Italy)*. Final Conference Project IGCP 437 “Quaternary coastal morphology and sea level changes”; Otranto/Taranto 22-28 settembre 2003.
- ❖ Auriemma R., Mastronuzzi G., Sansò P. - *Middle to late Holocene relative sea-level changes recorded on the Coast of Southern Apulia (Italy)*. *Géomorphologie*, Vol. 1, 2004.
- ❖ Budillon F. & Aiello G. – *Evoluzione pleistocenica della piattaforma continentale del salento orientale: fattori di controllo tettonici e/o eustatici*. *Italian Journal of Quaternary Sciences*, Vol. 12, n. 2, 1999.
- ❖ Centenaro E., Gianfreda F., Mastronuzzi G., Quinif Y., Sansò P., Selli G. – *Late quaternary sea-level change evidences in a stable coastal area*. Final Conference Project IGCP 437 “Quaternary coastal morphology and sea level changes”; Otranto/Taranto 22-28 settembre 2003.
- ❖ Dai Pra G. & Hearty P. J. – *I livelli marini pleistocenici nel Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica*. *Mem. Soc. Geol. Ital.* n. 41, 1988.
- ❖ Delle Rose M. & Elia T. – *Aspetti geologici della conservazione delle spiagge del Salento*. *Geologi e Territorio* n. 1/2, 2008.
- ❖ De Santis V., Maracchione M.I., Caldara M., Centenaro E., Mastronuzzi G., Palmentola G., Sansò P., Sergio A. – *The coastal features of Puglia region*. Final Conference Project IGCP 437 “Quaternary coastal morphology and sea level changes”, Otranto/Taranto 22-28 September 2003.
- ❖ Dini M., Mastronuzzi G., Sansò P. - *The effects of relative holocene sea level changes on the coastal morphology of southern Apulia (Italy) during the Holocene*. In: *Geomorphology and Global Environmental Change*, John Wiley & Sons, 2000.
- ❖ Gentile G.N., Monterisi L., Ventrella N.A. – *Erosione del litorale adriatico ed arretramento della falesia a sud di Brindisi (Puglia)*. *Memorie Società Geologica Italiana* n. 51, 1996.
- ❖ Loiacono F. – *Growth process of a long-lived late Pleistocene spit along the Adriatic coast*

- (Brindisi, Southern Italy). Italian Journal of Quaternary Sciences n. 23, Vol. 2, 2010.
- ❖ Mastronuzzi G., Pignatelli C., Sansò P. – *Geological and geomorphological setting of Puglia Region*. Final Conference Project IGCP 437 “Quaternary coastal morphology and sea level changes”, Otranto/Taranto 22-28 September 2003.
 - ❖ Mastronuzzi G., Caputo R., Di Bucci D., Fracassi U., Iurilli V., Milella M., Pignatelli C., Sansò P., Selleri G. – *Middle-late Pleistocene evolution of the adriatic coastline of southern Apulia (Italy) in response to relative sea-level changes*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* n. 34, 2011.
 - ❖ Mastronuzzi G. & Sansò P. – Pleistocene sea-level changes, sapping processes and development of valley networks in the Apulia region (Southern Italy). *Geomorphology*, Vol. 46, 2002.
 - ❖ Monterisi L. – *Relazione di consulenza per le indagini geognostiche e geotecniche per il progetto esecutivo dei lavori di banchinamento in zona Capo Bianco e di dragaggio per l'approfondimento alle quote (-12) e (-9) dei fondali antistanti – Parte lato EST del Porto di Brindisi*. Comm. Autorità Portuale di Brindisi, 2004.
 - ❖ Ricchetti G., Ciaranfi N., Luperto Sinni E., Mongelli F., Pieri P. – *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo*. *Memorie Società Geologica Italiana* n. 41, 1988.
 - ❖ Tozzi M. – *Assetto tettonico dell'Avampaese Apulo meridionale (Murge meridionali – Salento) sulla base dei dati strutturali*. *Geologica Romana* n. 29, 1993.