



eni S.p.A.
Exploration & Production
Division

Doc. SICS 195
Studio di Impatto Ambientale
Progetto "Bonaccia NW"

Appendice 6

Appendice 6

**Analisi degli impatti ambientali sulla costa e
sui fondali marini dovuti alla subsidenza
indotta dall'estrazione di gas**



Eni s.p.a. Divisione E&P

ANALISI degli IMPATTI della SUBSIDENZA sul TERRITORIO



Impatti ambientali sulla costa e sui fondali marini dovuti alla subsidenza indotta dalla estrazione di gas dai Campi di BONACCIA, BONACCIA Est e BONACCIA Nord-Ovest (Adriatico Centrale).

Novembre 2011

Impatti ambientali sulla costa e sui fondali marini dovuti alla subsidenza indotta dalla estrazione di gas dai Campi di BONACCIA, BONACCIA Est e BONACCIA Nord-Ovest (Adriatico Centrale).

INDICE

- 1) Premessa
- 2) Valutazione della subsidenza
- 3) Caratteristiche dei fondali
 - 3.1 Batimetria e morfologia
 - 3.2 Assetto del sottofondo
 - 3.3 I sedimenti superficiali
 - 3.4 Il benthos
- 4) Effetti della subsidenza
 - 4.1 Effetti sulla costa
 - 4.2 Effetti sui fondali marini
- 5) Conclusioni
- 6) Bibliografia
 - 6.1 Lavori citati
 - 6.2 Rapporti per Eni- E&P

ELENCO DELLE FIGURE

- 1.Ubicazione dell'area di indagine.
- 2.Mappa di un livello produttivo.
- 3.Andamento temporale della subsidenza.
- 4.Andamento valori di subsidenza. Caso DN.
- 5.Andamento valori di subsidenza. Caso 3P.
- 6.Subsidenza calcolata e misurata.
- 7 Ubicazione dell'area indagata con ecoscandaglio multi-beam.
- 8 Carta batimetrica 3D.
- 9 Dettaglio delle isobate .
- 10.Evoluzione del bacino adriatico.
11. Concrezioni viste al SSS.
- 12 Irregolarità del fondale.
- 13 Canali e depressioni.
- 14 Pendio e nicchia di distacco.
- 15 Esempi di registrazione sismica.
- 16.Strutture a cupola.
- 17.Collassi e riempimenti.
- 18.Schema della distribuzione dei sedimenti superficiali.
- 19.Stratigrafia di carote.
- 20.Schema della circolazione in Adriatico.
- 21.Estensione e spessori della *mud belt*.
- 22.Velocità di sedimentazione nella *mud belt*.
- 23.Batimetria di dettaglio della zona 1 del Campo Bonaccia.
- 24.Batimetria di dettaglio della zona 2 del Campo Bonaccia.
- 25.Immagini da ROV Zona1.
- 26.Immagini da ROV Zona 2.
- 27.Composizione dei *Phyla* presenti tra Bonaccia e Bonaccia Est.
- 28.Importanza biologica dei *pockmark*.
- 29.Particolari della costa del Conero.
- 30.Distanza della piattaforma Bonaccia dalla costa.
- 31.Foto satellitare della distribuzione dei materiali fini.
- 32.Formazione dei carbonati autigeni.

1)PREMESSA

La gestione del territorio ai fini della salvaguardia ambientale deve giustamente considerare come facente parte del territorio nazionale tutta la piattaforma continentale. Ne consegue che debbono essere considerate e attentamente valutate la pericolosità e la vulnerabilità territoriale connesse ad ogni attività antropica in mare, al fine di cercare di mitigare i rischi che eventualmente possano sorgere non solo sulla costa ma anche sui fondali marini al largo. Tra le attività *offshore* particolare importanza rivestono la ricerca e lo sfruttamento delle risorse minerarie che pongono molte problematiche, affrontate con diverse metodologie di prevenzione. Un aspetto poco valutato e studiato è quello della subsidenza indotta dallo sfruttamento di gas che provoca una diminuzione delle pressioni nel sottosuolo e quindi abbassamenti locali della superficie dei fondali.

Scopo del presente lavoro è quello di valutare i possibili impatti ambientali sulla costa e sui fondali marini connessi al progetto di sviluppo dei campi a gas di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest (Fig.1).

I campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest sono ubicati su di un alto strutturale situato sull'asse mediano del Mare Adriatico, tra Italia e Croazia, circa al traverso di Ancona. Il suo andamento segue la classica direzione appenninica NW-SE. Alcune sue culminazioni ospitano i livelli produttivi di gas.

BONACCIA



Fig.1. Ubicazione dell'area di indagine e posizione dei campi Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest.

Lo sfruttamento del campo di Bonaccia è iniziato nel 1999, mentre il campo Bonaccia Est è stato messo in produzione nel 2009. Bonaccia Nord-Ovest verrà sfruttato in un prossimo futuro.

2) VALUTAZIONE DELLA SUBSIDENZA

Allo scopo di valutare l'entità della subsidenza che si verificherebbe in seguito alla produzione di gas, Eni-E&P ha prodotto uno studio geomeccanico di previsione ipotizzando due scenari che considerano il caso che non vengano aperti altri pozzi (DN = stato attuale) oppure che venga messo in produzione anche il campo Bonaccia Nord-Ovest (3P).

Nel primo caso (DN), la produzione dovrebbe terminare nel Dicembre 2030, ma al fine di valutare l'effetto della redistribuzione delle pressioni nel sottosuolo dopo la chiusura dei pozzi, la simulazione è stata protratta fino al Dicembre 2060. Nel caso invece che venga attivato lo sfruttamento anche di Bonaccia Nord-Ovest (3P), la produzione terminerà nel Dicembre 2040 e lo studio di previsione protratto, a pozzi chiusi, fino al Dicembre 2070.

In definitiva, sono stati elaborati due modelli geomeccanici e dinamici che coincidono per il lasso di tempo fino al 2011, ma si discostano sensibilmente per i periodi seguenti.

Il calcolo della subsidenza prevista è stato eseguito con il codice ad elementi finiti Abaqus, considerando la geometria e la geologia dei giacimenti, le proprietà dei terreni interessati, l'andamento delle pressioni nei livelli mineralizzati e negli acquiferi connessi e la compattazione. I modelli fluido-dinamici interessano un'area di circa 42x36 km (Fig. 2).

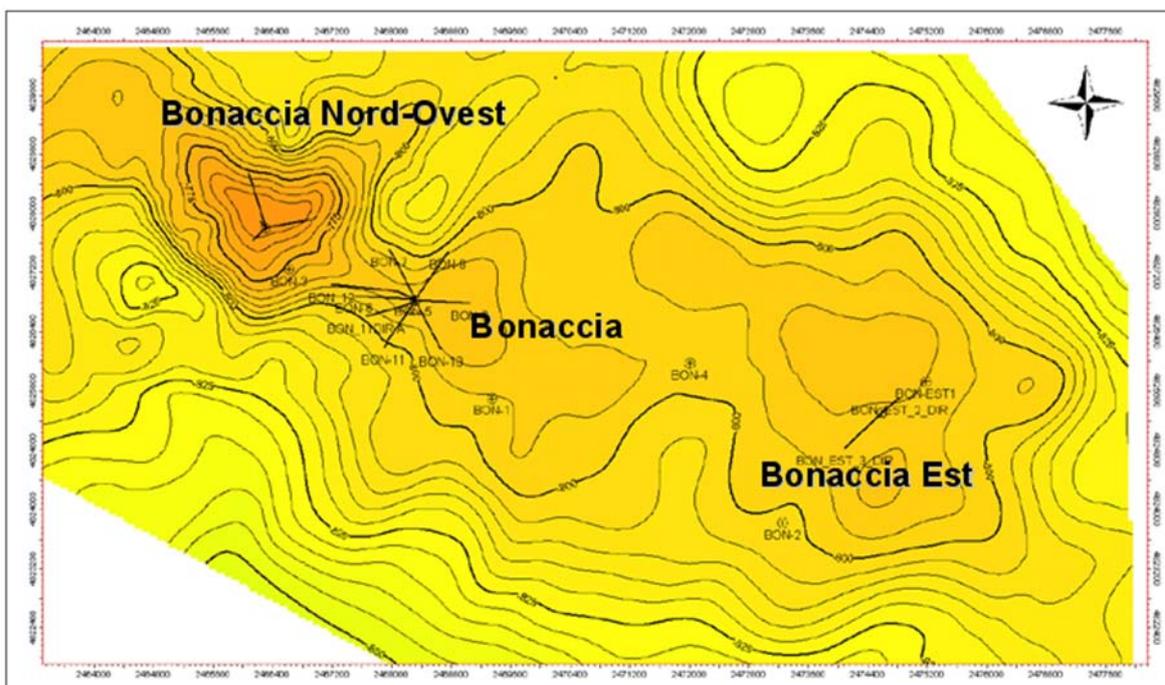


Fig.2. Mappa dell'andamento del livello produttivo PLQ1-A1 che mostra chiaramente le culminazioni che ospitano i campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest.

I risultati delle simulazioni indicano che nel caso DN, al 31/5/2011 la massima subsidenza per i Campi Bonaccia e Bonaccia Est risulta essere 108 cm, mentre alla fine della produzione (31/12/2030) raggiungerebbe 127 cm e al termine della simulazione (31/12/2060) 126 cm.

Nel caso 3P, con lo sfruttamento anche del Campo Bonaccia Nord-Ovest, il 31/12/2040 la massima subsidenza raggiungerebbe i 245 cm alla fine della produzione, per ridursi a 235 cm alla fine della simulazione. Fig.3.

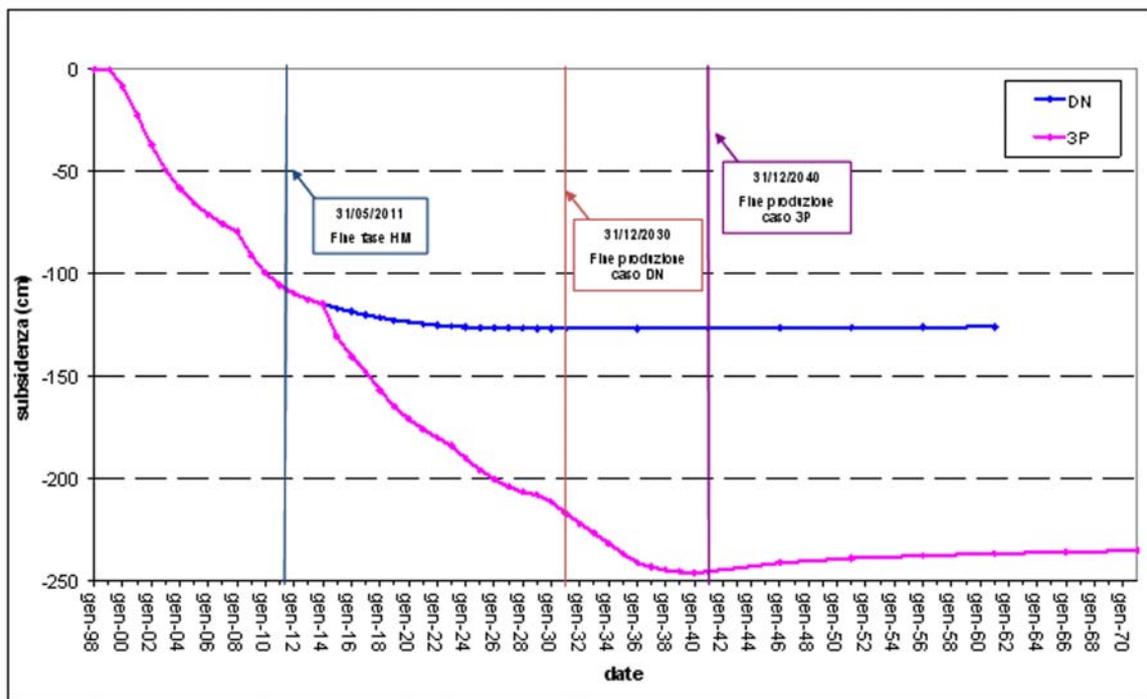


Fig.3. Andamento temporale dei valori di massima subsidenza previsti.

Il valore massimo di subsidenza è stato individuato sulla culminazione di Bonaccia Nord-Ovest nel punto di coordinate (Gauss Boaga): 2466315 m E, 4827886 m N. Da tale punto, per definire l'ampiezza della anomalia sul fondale indotta dalla subsidenza, sono state calcolate le distanze dalla linea di iso-subsidenza dei 2 cm lungo un segmento "A" con direzione Nord Ovest-Sud Est e lungo il segmento "B", in direzione della costa.

Nel caso DN, al termine della produzione, il fenomeno di subsidenza si estenderebbe per circa 11 km in direzione NO-SE (segmento "A") e per circa 4 km in direzione della costa (segmento "B") (Fig.4).

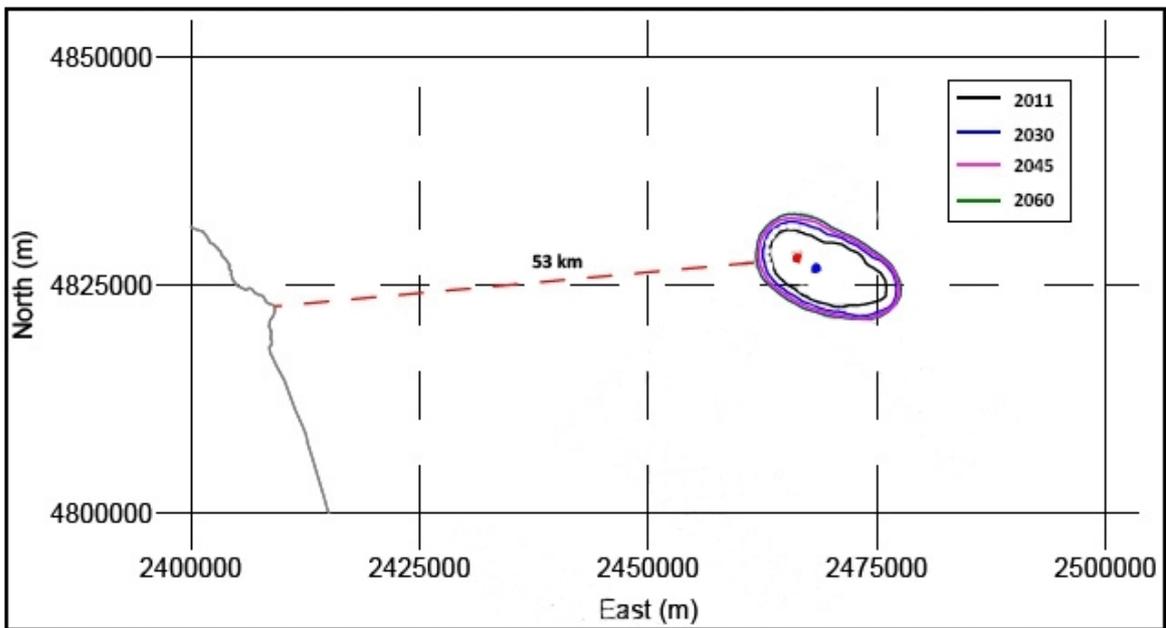


Fig.4. Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm nel caso DN. In blu è riportata la posizione della piattaforma di Bonaccia e in rosso il punto di massima subsidenza.

Nel caso 3P, al termine della produzione, la massima estensione dell'anomalia si svilupperebbe per circa 12 km in direzione NO-SE dal punto di massima subsidenza e per circa 6 km in direzione della costa (Fig.5).

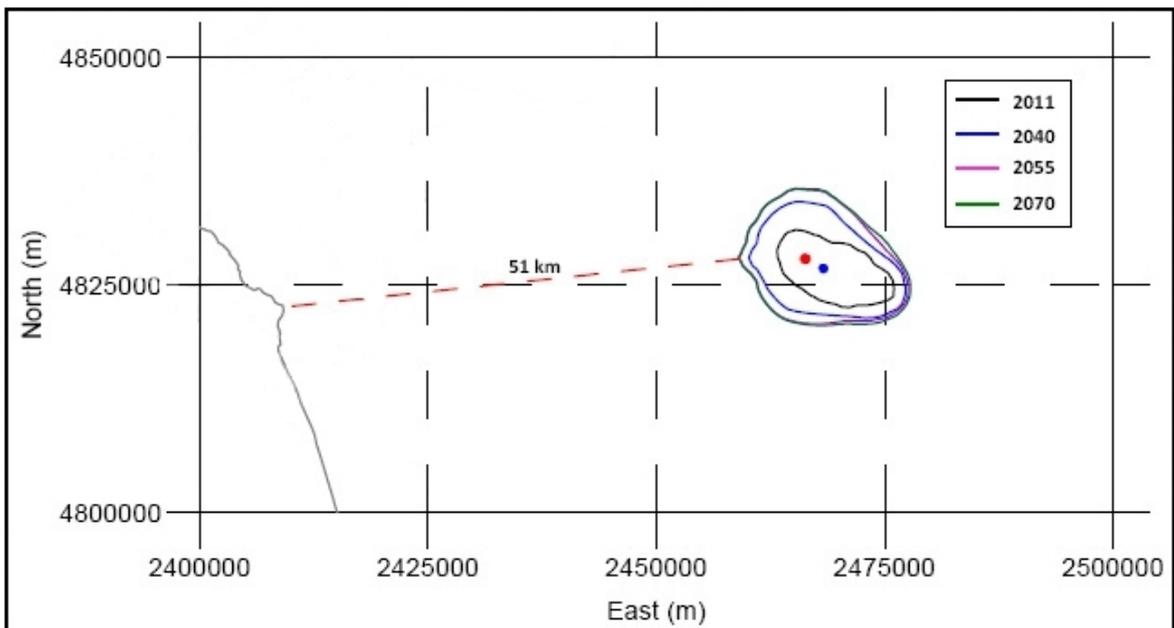


Fig. 5. Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm nel caso 3P. In blu è riportata la posizione della piattaforma di Bonaccia e in rosso il punto di massima subsidenza.

Per il caso DN, la massima estensione della subsidenza al termine della simulazione (31/12/ 2060) sarebbe di circa 12 km in direzione NO-SE e di circa 4 km in direzione della costa. Per il caso 3P, alla fine della simulazione (31/12/2070) si avrebbe sempre una subsidenza estesa per 12 km in direzione NO-SE, ma di circa 7 km verso costa. La tabelle seguenti riassumono i dati sopra elencati.

Date	Massima subsidenza (cm)	Massima estensione A (km)	Massima estensione B (km)
31/05/2011	108	10	3
31/12/2030	127	11	4
31/12/2040	127	12	4
31/12/2060	126	12	4

Tabella 1. Previsione dei massimi valori di subsidenza e di estensione del fenomeno per il caso DN.

Date	Massima subsidenza (cm)	Massima estensione A (km)	Massima estensione B (km)
31/05/2011	108	10	3
31/12/2030	217	12	5
31/12/2040	245	12	6
31/12/2060	237	12	7
31/12/2070	235	12	7

Tabella 2. Previsione dei massimi valori di subsidenza e di estensione del fenomeno per il caso 3P

I valori numerici ottenuti con il modello geomeccanico sono stati confrontati con i dati forniti da una stazione CGPS installata sulla piattaforma Bonaccia nel punto di coordinate 2468285.8 m E- 4826821.7 m N nel periodo Gennaio 2008-Maggio 2011. Da questi dati è stato possibile calcolare un valore medio di velocità di subsidenza pari a circa 11,52 cm/anno, mentre il modello per lo stesso periodo ha fornito un valore di 9,24 cm/anno. Dal confronto dei dati delle misure CGPS con i valori calcolati, emerge una buona corrispondenza, ma soprattutto un trend generale comune che convalida il processo del calcolo di previsione. Fig. 6.

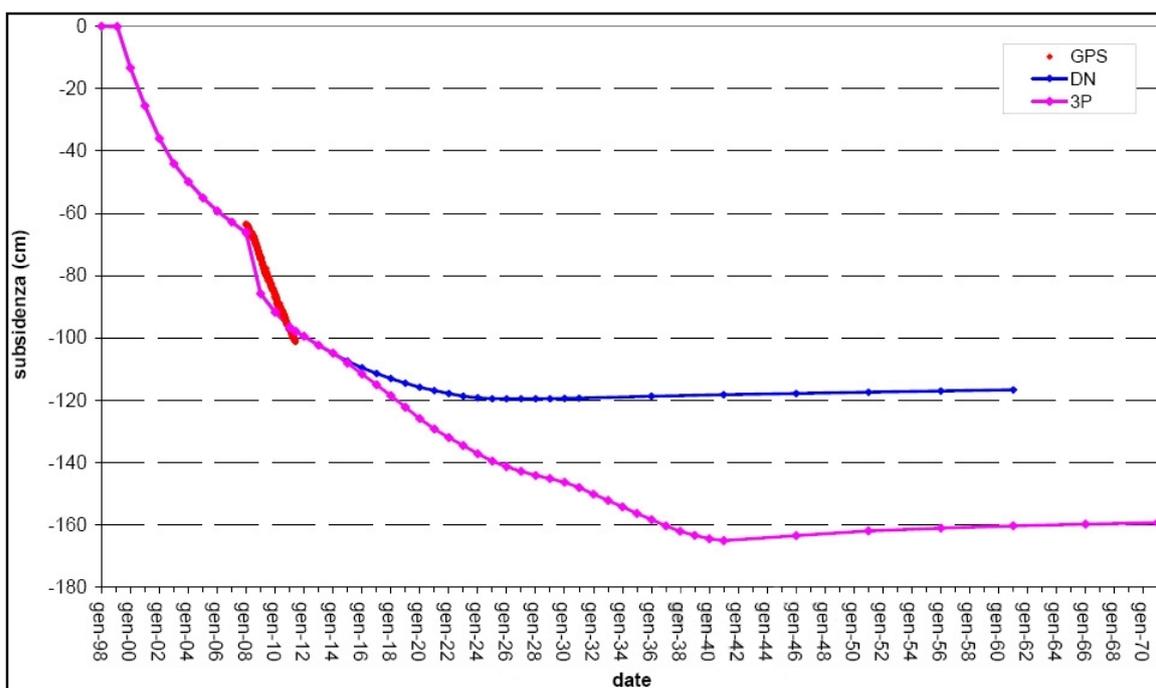


Fig.6. Subsidenza calcolata per i due scenari e misurata dalla stazione CGPS sulla piattaforma Bonaccia.

Da ultimo, e ad ulteriore conferma delle previsioni, dal confronto tra la batimetria eseguita nel Dicembre 2004 con quella di precisione eseguita nel Gennaio 2010, risulta che la differenza di profondità dovuta alla subsidenza è di 60 cm, con ottima corrispondenza dei dati CGPS registrati dal Dicembre 2007 con quelli calcolati.

3) CARATTERISTICHE dei FONDALI

L'abbondante bibliografia relativa a diversi aspetti scientifici dell'Adriatico Medio e i numerosi rapporti tecnici che hanno accompagnato la progettazione e la realizzazione delle opere ingegneristiche per lo sfruttamento della risorsa mineraria, permettono di tracciare un quadro delle condizioni ambientali che caratterizzano l'area interessata dai Campi Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest.

3.1 BATIMETRIA e MORFOLOGIA

Tra gli anni 2009 e 2010, Eni-E&P ha fatto svolgere un rilievo batimetrico di precisione mediante ecoscandaglio *multi-beam* su di un'ampia area (410 Km²) posta al largo di Ancona in acque territoriali italiane e croate (Report AM 517). Il rilievo eseguito è un documento fondamentale per la gestione del territorio marino e per la valutazione delle sue condizioni ambientali.

L'area indagata, che comprende i campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest, è mostrata nella Fig. 7. La carta batimetrica che ne deriva evidenzia una topografia alquanto accidentata caratterizzata da una sorta di depressione centrale (profondità massima rilevata 91,4 m) limitata verso NW e verso SE da due superfici più alte e regolari in lieve pendenza. La rappresentazione 3D in Fig. 8 mostra chiaramente l'andamento generale e le strutture sedimentarie dei fondali, mentre il dettaglio delle isobate è riportato in Fig. 9.

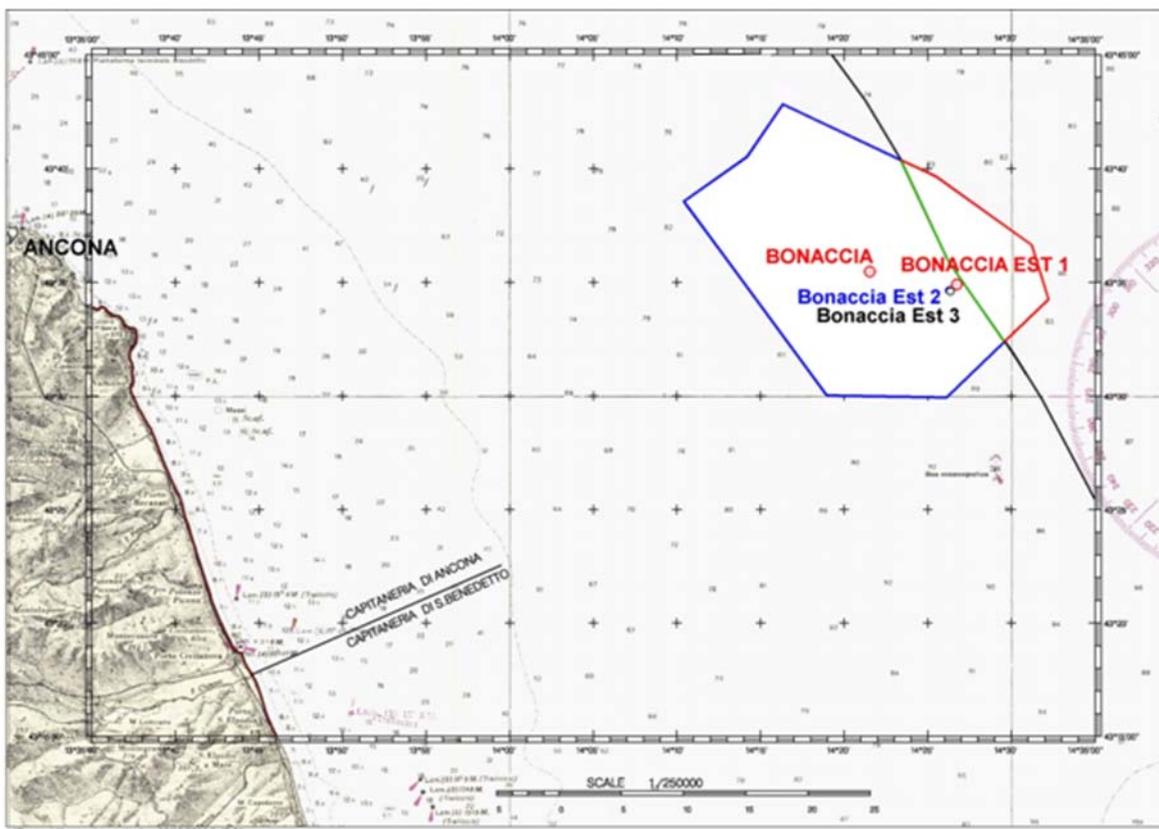


Fig.7. Ubicazione dell'area indagata con ecoscandaglio *multi-beam* e localizzazione dei Campi a gas.

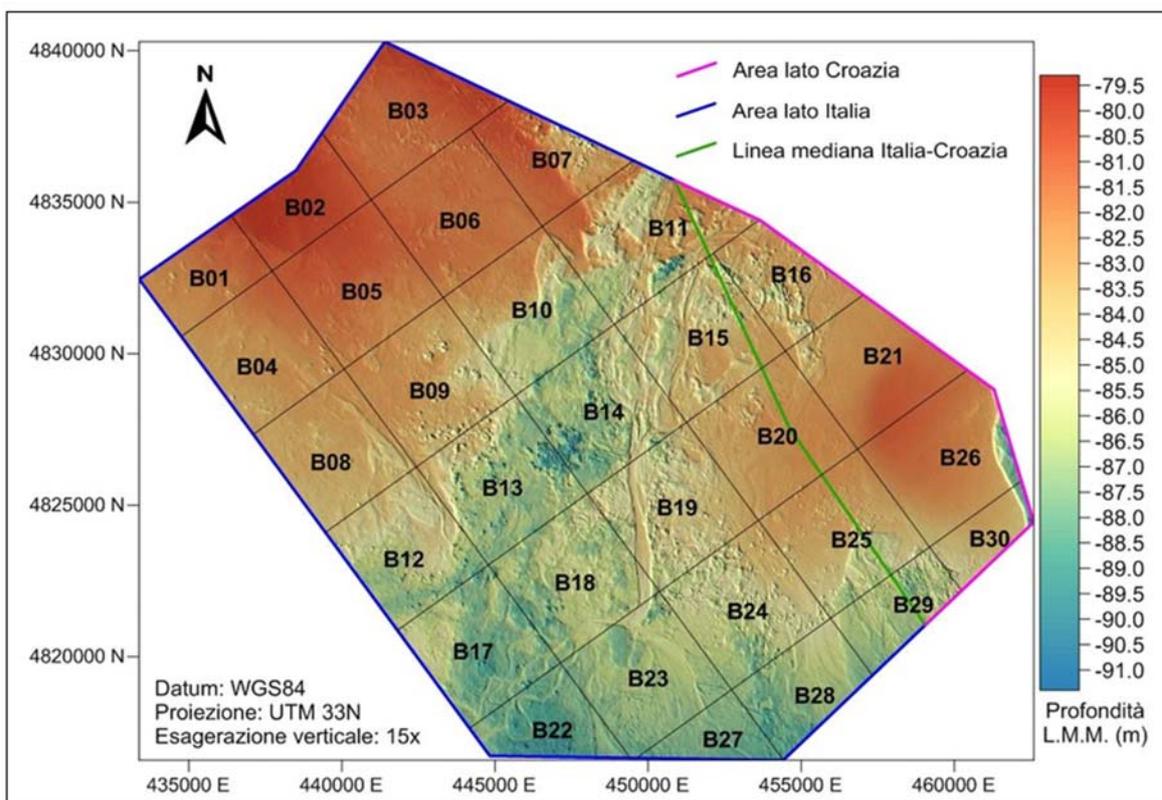


Fig. 8. Carta batimetrica 3D dell'area rilevata.

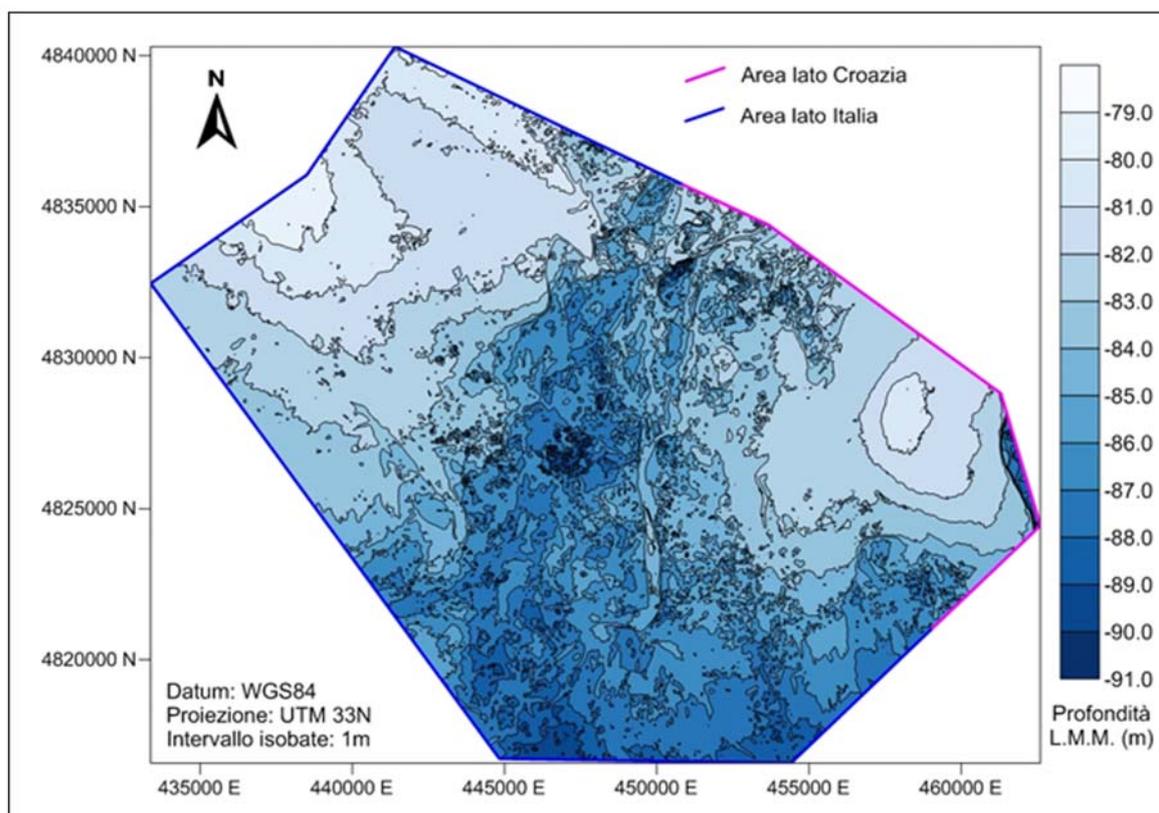


Fig. 9. Dettaglio delle isobate rilevate.

In particolare nella carta 3D (Fig.8), si può notare come nella zona centrale sia presente una sorta di sistema di drenaggio fluviale con un canale principale che si divide verso Sud in una serie di canali distributori minori, spesso a meandri. Queste strutture possono essere ricondotte ad un paleo-delta, attivo quando il livello del mare era più basso dell'attuale e far parte dell'antico cuneo di progradazione padano (Correggiari *et al.*, 1996)(Fig.10). E' infatti noto da un'abbondante bibliografia scientifica che durante l'ultima fase glaciale, culminata 18-20 mila anni fa, tutto alto Adriatico era emerso fino circa al traverso di San Benedetto - Pescara e l'attuale piattaforma continentale era una vasta pianura drenata da un paleo-Po e dai suoi numerosi affluenti appenninici (Colantoni *et al.*, 1979). In questa fase di mare basso si formarono depositi sabbiosi e limosi con torbe di palude e di stagni costieri (*low stand system tract* della stratigrafia sequenziale). Successivamente, il miglioramento climatico incominciò a far risalire il livello del mare che portò alla rielaborazione dei sedimenti depositati e alla formazione di nuovi depositi di spiaggia (*trasgressive system tract*). Con l'*optimum climatico* (circa 6000 anni fa) il mare raggiunse la sua massima altezza e incominciò la sedimentazione attuale con sabbie costiere e limi di piattaforma (*high stand system tract*) che lasciano tuttavia scoperte ampie zone al largo ove possono affiorare morfologie subaeree e sedimenti di deposito antico (sedimenti relitti).

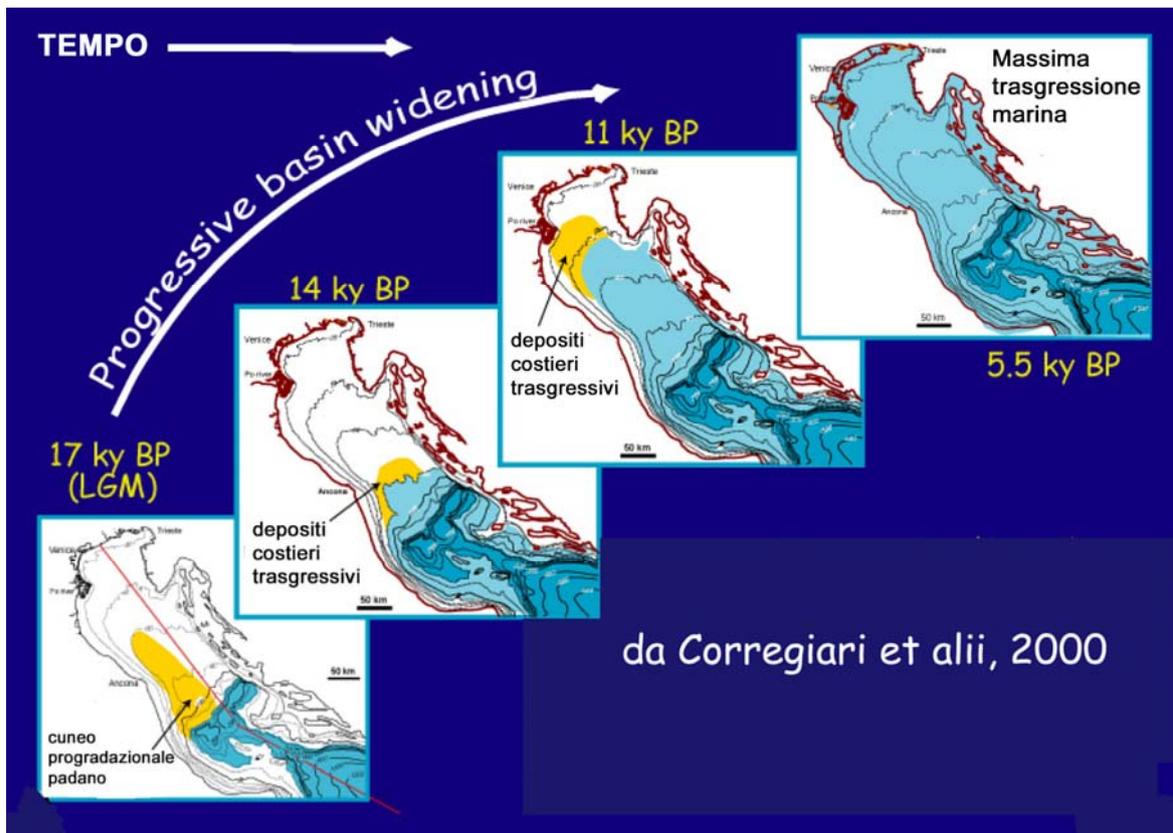


Fig.10. Evoluzione del bacino adriatico e della sedimentazione negli ultimi 18 000 anni.

La batimetria di grande dettaglio mostra numerose strutture depresse e altre elevate, chiaramente dovute alle diffuse risalite di gas che raggiungono la superficie topografica. La presenza di gas che impregna i sedimenti superficiali è da tempo nota in Adriatico ove è stata oggetto di diversi studi particolareggiati (Stefanon 1979., Stefanon e Mozzi 1973, Colantoni e Gallignani 1980, Colantoni et al.1997, Curzi e Veggiani 1985, Conti et al., 2002). Nell'area in esame sono evidenti depressioni a forma generalmente sub circolare che nella zona centrale hanno un diametro che può raggiungere diverse centinaia di metri e la profondità di oltre 3 m, mentre nelle aree laterali sono generalmente più piccole e profonde circa 1 metro. Solo in sedimenti superficiali fini (limi e argille) si osservano alcuni *pockmark* dalla classica forma ad imbuto. Per contro, le strutture elevate sono generalmente di piccole dimensioni (diametri dell'ordine del metro) e spesse solo di qualche decimetro (Fig.11). Sono gli unici affioramenti di rocce compatte nella zona ed ospitano spesso un ricco benthos di substrato duro, tanto da essere indicate come "concrezioni biogeniche". Si tratta generalmente di areniti a cemento calcareo e di calcari a grana fine interpretati come dovuti a precipitazione di carbonato per ossidazione anaerobica del metano (MDAC = *Methane-derived Authigenic Carbonate*). Per una trattazione più dettagliata dell'argomento e la ricca bibliografia, si veda il Report AM 522.



Fig.11. Concrezioni dovute all'ossidazione del gas evidenziate dal rilievo SSS (AM 316).

Analizzando le zone in cui può essere divisa l'area coperta dal rilievo multi-beam, si può notare come la zona centrale sia la più irregolare e presenti diffuse emanazioni di gas, accompagnate da ampie depressioni, affioramenti di rocce e qualche vulcano di fango. Un esempio delle strutture più tipiche che contribuiscono alla irregolarità del fondale è mostrato in Fig. 12.

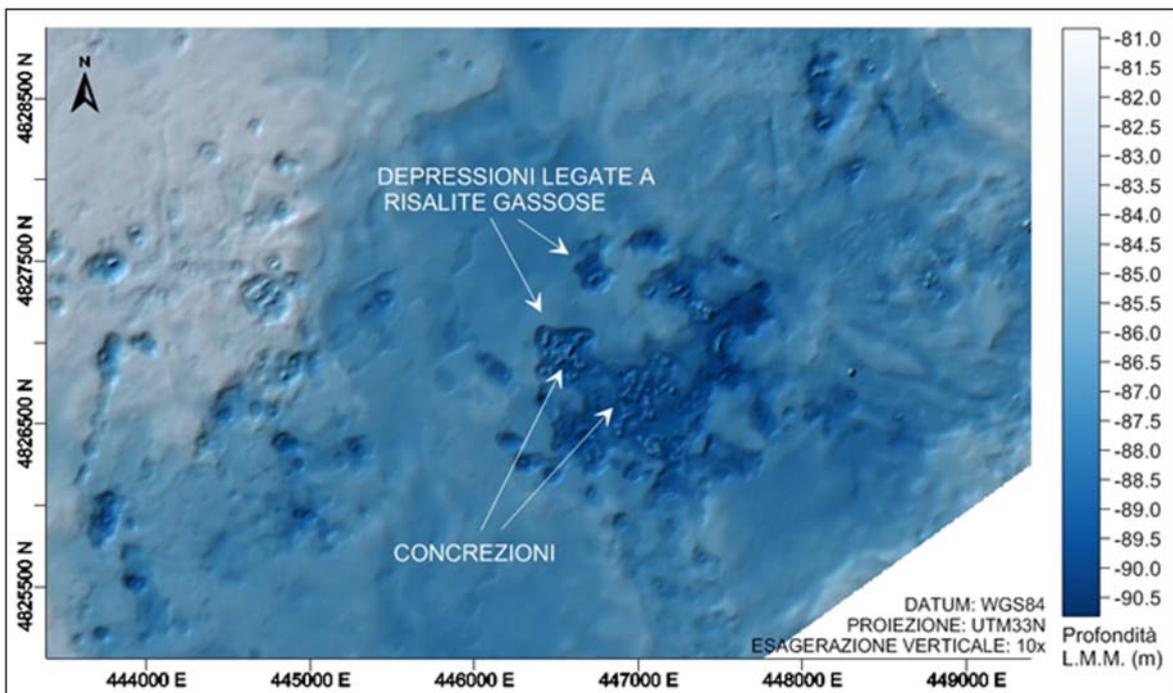


Fig. 12. Irregolarità di un tratto di fondale della zona centrale dovute a risalita di gas e a concrezioni.

Canali e molte strutture tipo *pockmark*, buchi e depressioni accompagnate da qualche concrezione sono presenti anche nella zona di Nord-Ovest (Fig. 13).

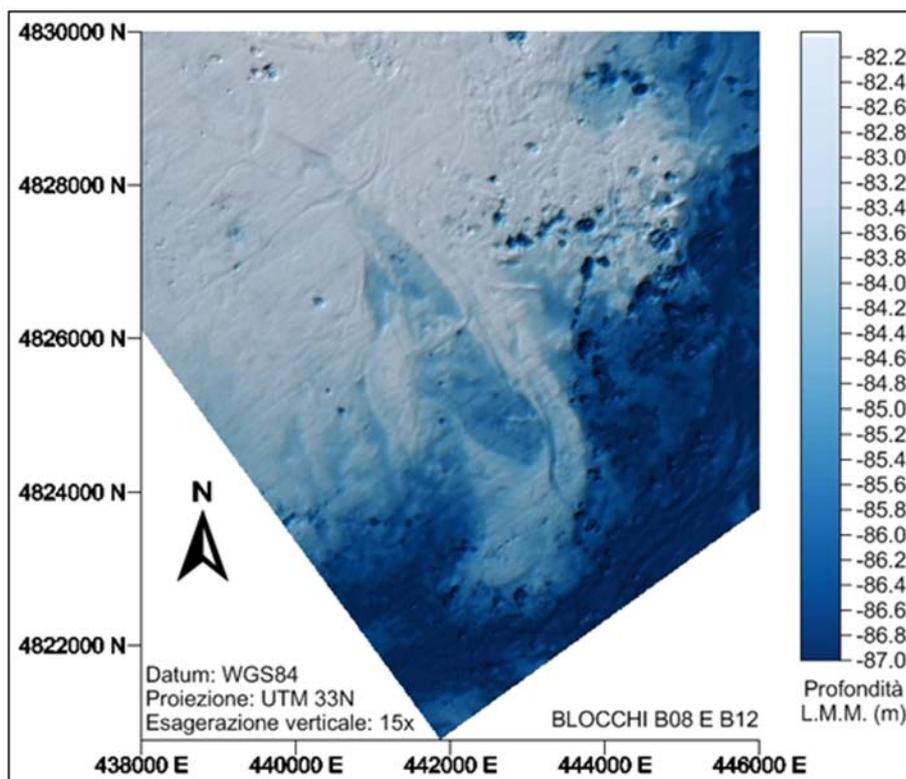


Fig. 13. Canali e molte depressioni irregolari dovute a fuoriuscita di gas nella zona di Nord-Ovest.

Più regolare appare invece il dolce pendio della zona di Sud-Est, il quale è tuttavia interrotto verso Est da una netta rottura di pendenza, con un gradino da 83 a 87 m di profondità, causato dalla nicchia di distacco di una frana sottomarina (Fig. 14).

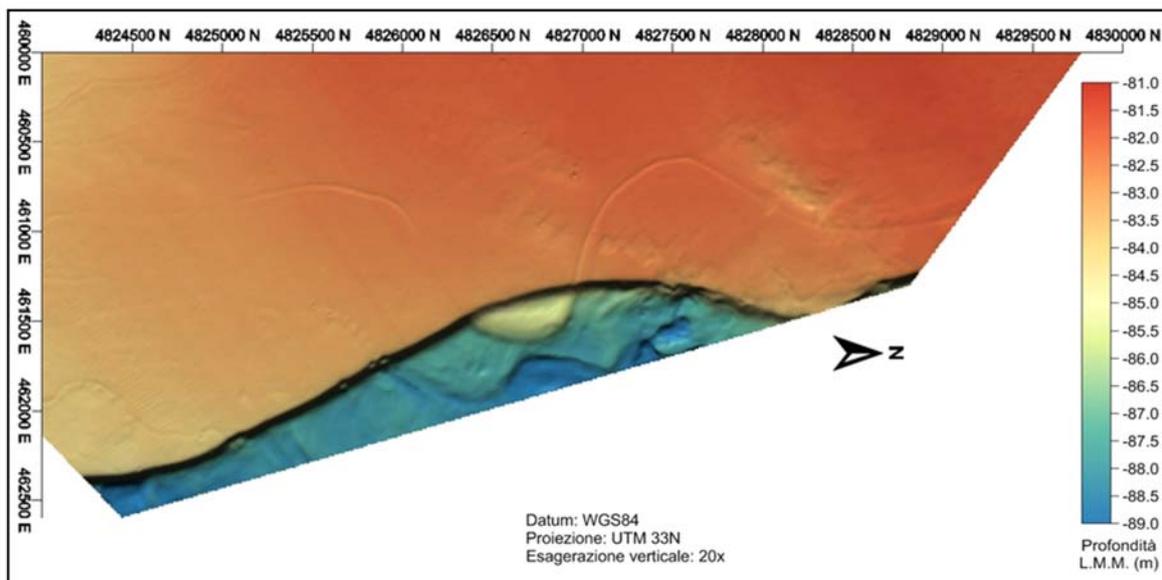


Fig. 14. Pendio regolare della zona di Sud-Est interrotto dalla nicchia di distacco di una frana.

3.2 ASSETTO DEL SOTTOFONDO

L'assetto e le strutture dei primi metri dei terreni che formano i fondali della zona in esame sono stati studiati con metodi sismici (Report AM 265, AM 369). La penetrazione delle onde acustiche e quindi i risultati dei rilievi ad alta definizione del Sub Bottom Profiler sono stati però condizionati e limitati dalla diffusa presenza di gas, che è la caratteristica saliente della zona. Nei primi 20 m di penetrazione sono stati tuttavia osservati almeno tre riflettori sub-paralleli e discontinui che marcano unità semi-trasparenti costituite da materiali fini e sabbia. Nell'unità superiore sono pure presenti strutture riconducibili a depositi fluviali o costieri. Il gas interrompe frequentemente la continuità dei riflettori e i sedimenti impregnati si mostrano come nubi torbide senza limiti netti, spesso cancellano il segnale acustico ma talora ne accentuano la forza. Quando il gas raggiunge la superficie dei sedimenti si osservano ampie depressioni nelle sabbie e *pockmark* e *mud volcano* nei limi. Frequenti sono pure riflessioni e iperboli isolate dovute a concrezioni. La Fig.15 fornisce un esempio di registrazione sismica della zona della piattaforma Bonaccia.

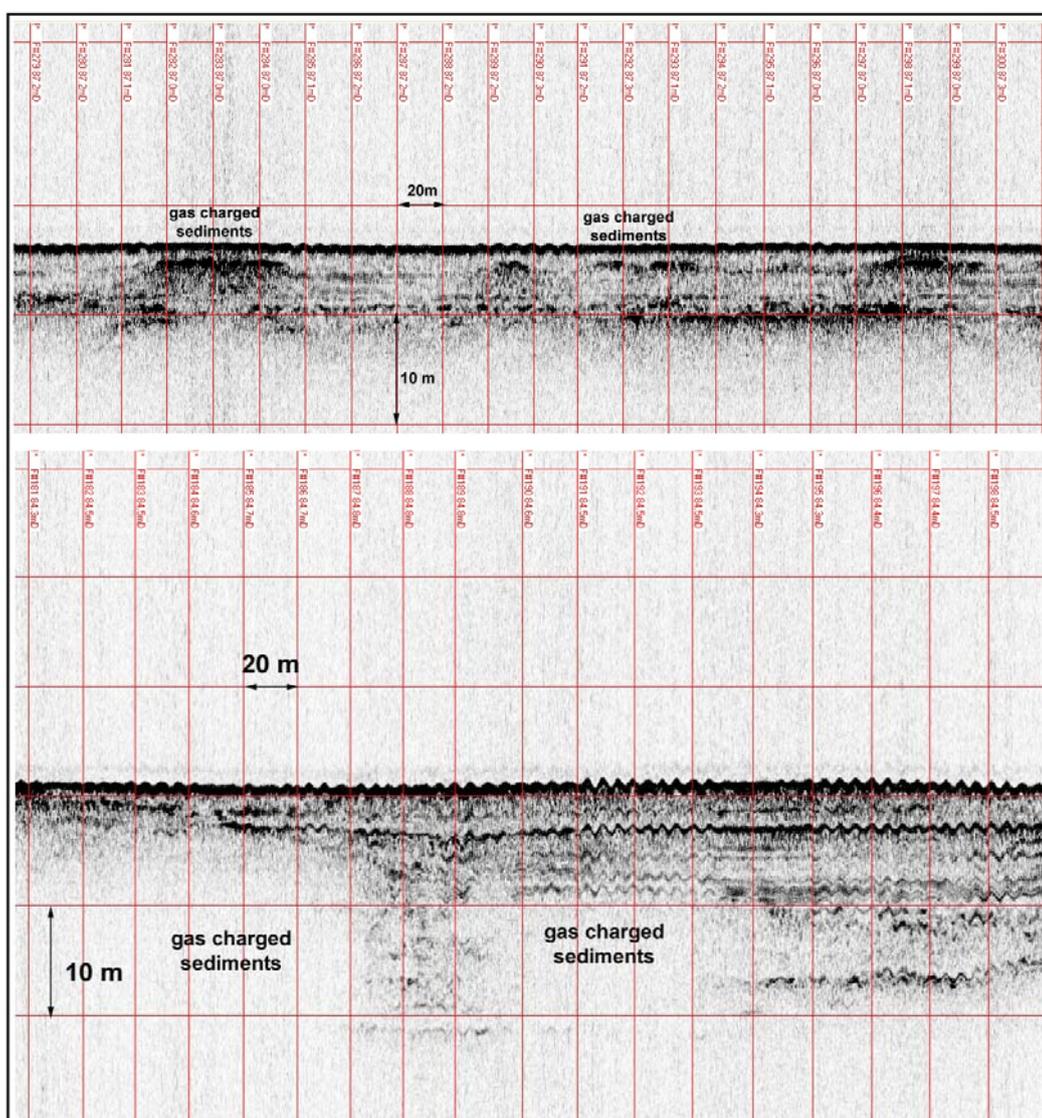


Fig.15. Esempi di registrazione sismica SBP nella zona di Bonaccia (AM 369).

Le concrezioni assumono aspetti diversi con rilievi di modesta estensione e localizzati in corrispondenza di fuoriuscite di gas. Sono tuttavia pure frequenti le strutture a cupola accompagnate da risalita di sedimenti fini (Fig.16). Completano il quadro delle strutture del sottofondo colassi locali e riempimenti di vecchi *pockmark* inattivi (AM 265) (Fig.17).

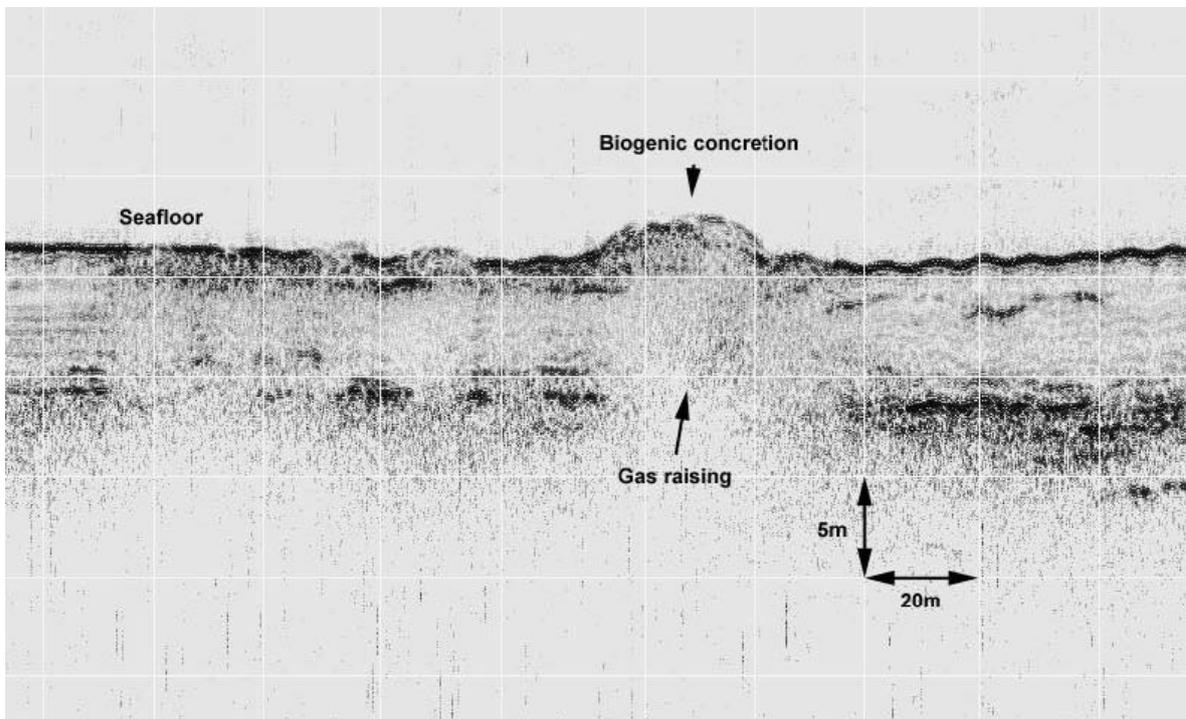


Fig. 16. Strutture rilevate dovute a risalite di gas e sedimenti

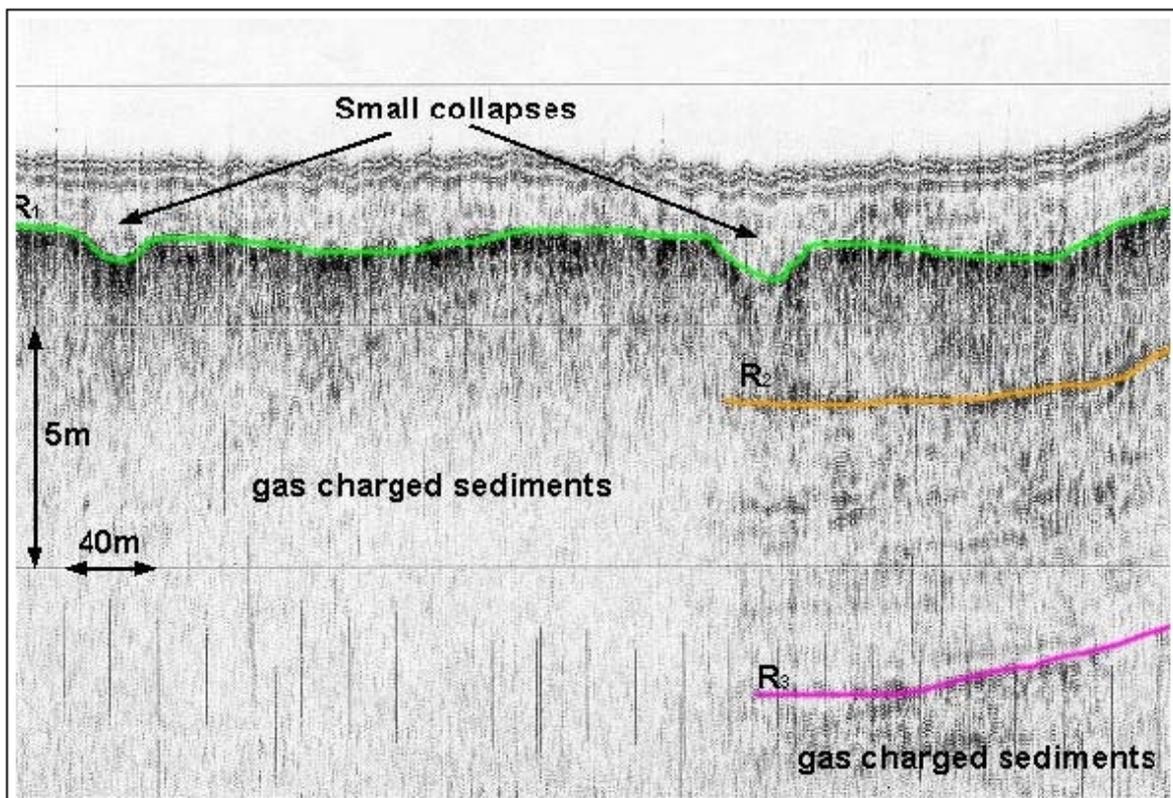


Fig.17. Collassi locali e riempimento di *pockmark* inattivi (AM 265).

L'immediato sottofondo, campionato con molte difficoltà per mezzo di carotieri a gravità, mostra una successione che è dominata da sabbie ricche di resti di conchiglie che costituiscano il livello in cui si raccoglie il gas.

3.2 I SEDIMENTI SUPERFICIALI

L'area interessata dai campi di Bonaccia è situata al limite tra la zona prevalentemente limosa di sedimentazione attiva e la zona di transizione alle sabbie di piattaforma esterna a sedimentazione attuale praticamente nulla (sabbie relitte) (Fig. 18).

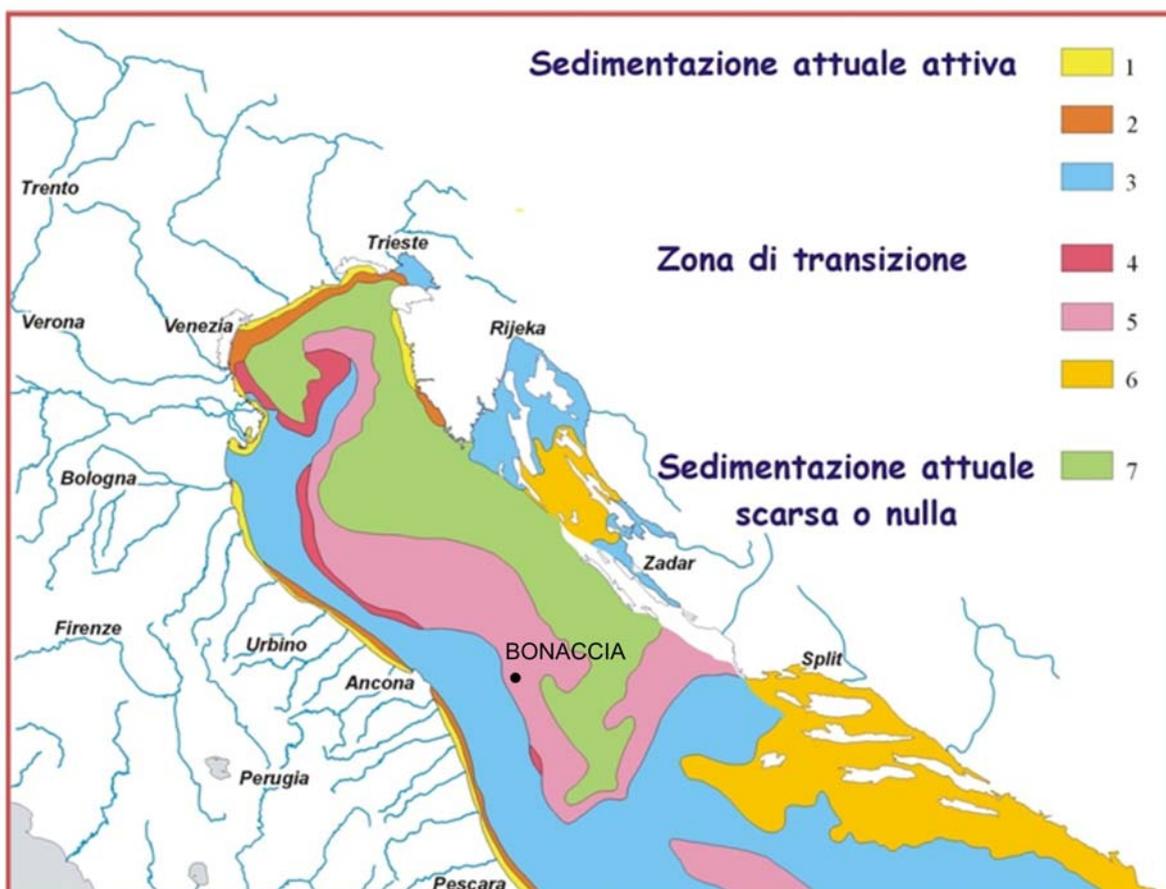


Fig.18. Schema della distribuzione dei sedimenti superficiali in Adriatico. 1: sabbie costiere; 2: sabbie siltose e silt sabbiosi; 3: sit argillosi e argille siltose; 4: loam ; 5: sabbie argillose; 6: sabbie di piattaforma e costiere; 7: sabbie di piattaforma.

Nell'area di studio, nonostante la presenza di cementazioni precoci dovute al gas, sono infatti stati raccolti campioni di sedimenti sciolti costituiti in prevalenza da silt sabbiosi e sabbie ricche di resti di conchiglie (Report 265, 369 e 372). La Fig.19 riporta la successione stratigrafica osservata in due delle poche carote che è stato possibile ottenere: è un esempio della successione della transizione da depositi antichi di livello basso del mare (limi sovra-consolidati, torbe e sabbie) ai depositi marini attuali (limi).

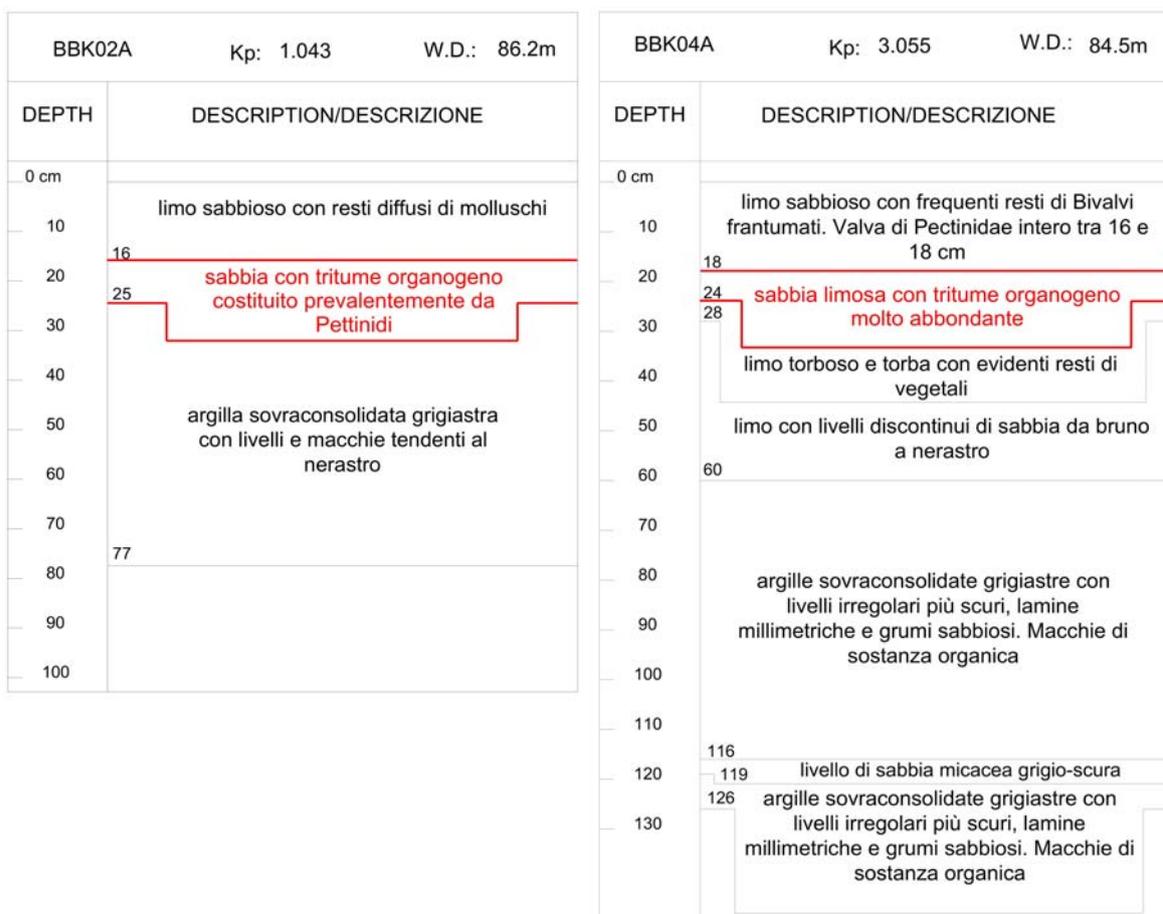


Fig.19. Stratigrafia schematica di due carote raccolte nella zona di Bonaccia Est che mostra la successione da depositi continentali a depositi di transizione e marini. In rosso sono evidenziati i livelli di sabbia e resti di bivalvi che richiamano il gas diffuso nei sedimenti (AM 369).

Come messo in risalto da molti Autori, la distribuzione dei sedimenti attuali è definita dall'andamento delle correnti che trasportano in Adriatico prevalentemente materiale in sospensione proveniente dal Po e dagli altri fiumi del settore occidentale. La generale circolazione ciclonica (Artegiani *et al.* 1997) tende a mantenere il carico sedimentario accostato alla costa e a limitare la sua diffusione sull'intera piattaforma, ove possano così affiorare le antiche sabbie relitte (Fig.20).

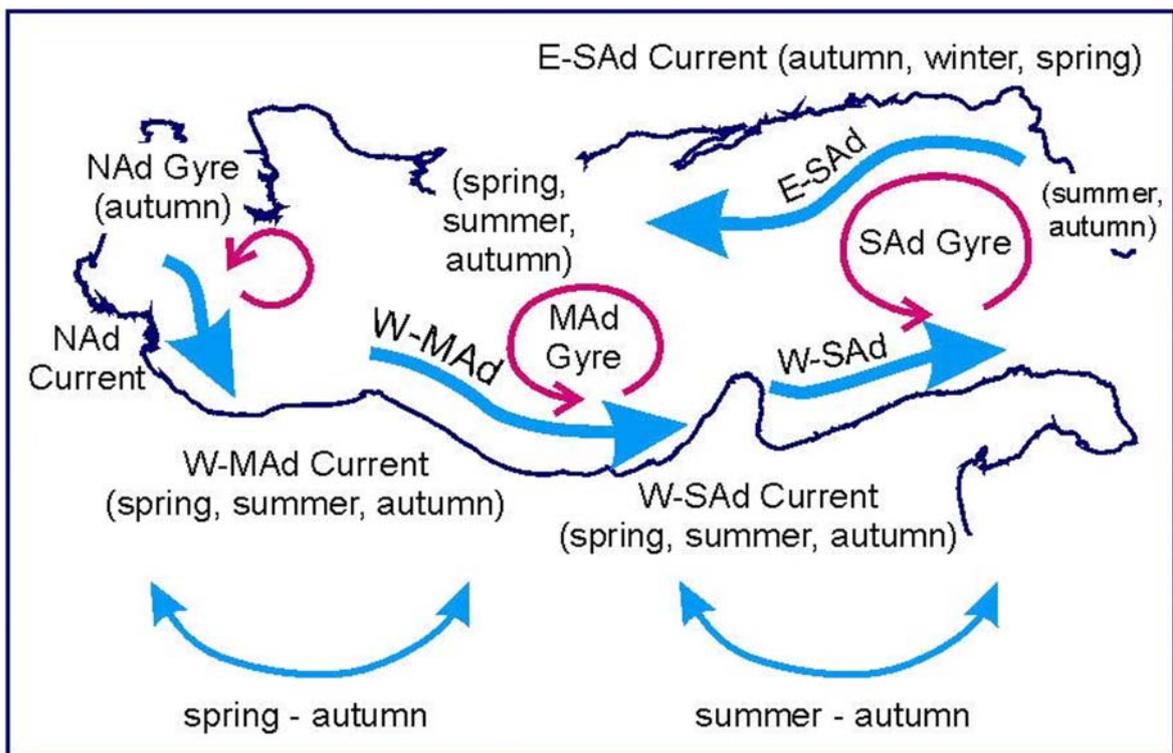


Fig.20. Schema della generale circolazione in Adriatico (da Artegiani *et al.* 1997).

Lungo la costa italiana, le sabbie e ciottoli hanno generalmente spessori molto modesti e si estendono verso il largo solo fino a profondità di circa 5-7 m. La loro origine è chiaramente dovuta all'abbattimento delle coste e soprattutto agli scarichi dei vari fiumi, rielaborati e distribuiti lungo la riva dalle correnti indotte dal moto ondoso. Verso mare i depositi costieri passano rapidamente ai fanghi o peliti del largo che formano una fascia ampia 25-50 km (*mud belt*). Il suo spessore passa da circa 5 m davanti al Po a più di 35 m al largo di Ancona (Colantoni *et al.*, 1978, Trincardi *et al.*, 1994, Correggiari *et al.*, 1996). Questi fanghi costituiscono un cuneo sedimentario che termina, attraverso un'ampia zona di transizione composta da silt, argille e sabbie (*loam*), sulle sabbie relitte. Debbono la loro origine al carico portato in sospensione dai fiumi e disperso dalla generale circolazione del bacino (Fig.21).

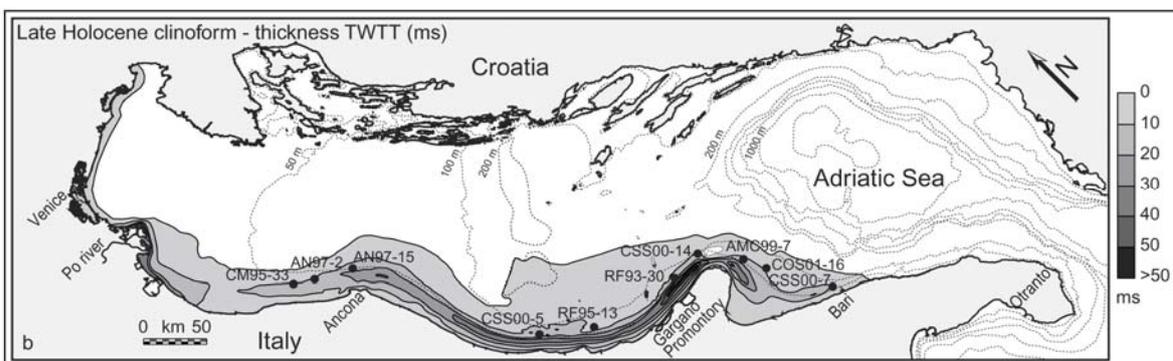


Fig.21. Estensione e spessori della *mud belt*. (da Nieroda *et al.* 2005).

Recentemente, a causa dei cambiamenti climatici e soprattutto della gestione del territorio, è drasticamente diminuito l'apporto in mare di sedimenti grossolani (ciottoli e sabbia), mentre è aumentata la torbidità dell'acqua e quindi immissione nel bacino di material fini (pelite).). L'attuale tasso di sedimentazione delle peliti è stato valutato ad oltre $2\text{g/cm}^2/\text{anno}$ alle foci del Po, ove prevalgono fenomeni di flocculazione, ma cala a meno di $0,15\text{g/cm}^2/\text{anno}$ procedendo verso Sud (Frignani *et al.* 2005) (Fig.22).

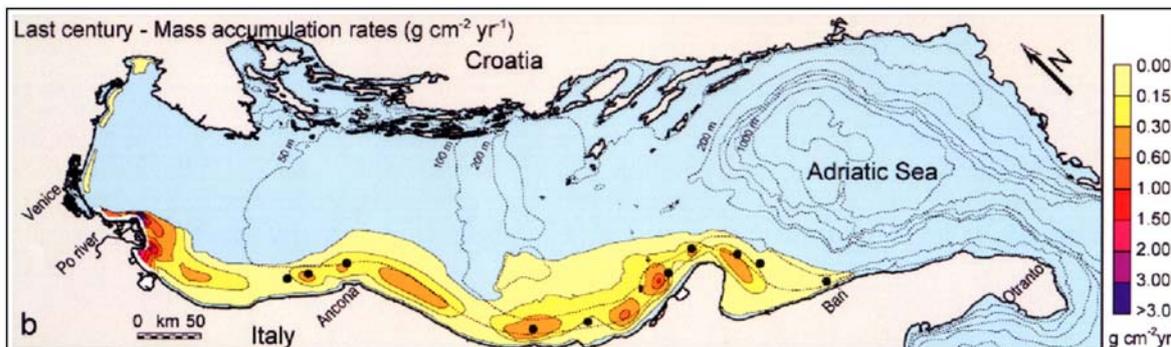


Fig.22. Valori della velocità di sedimentazione nella *mud belt*.

3.3 IL BENTHOS

Come riportato dai *survey* ambientali eseguiti nelle aree di Bonaccia e Bonaccia Est (Report AM 369, AM 372, AM 446, AM 469, AM 523) nella zona occorre distinguere: 1) biocenosi di substrato duro, che si insediano sulle rocce dovute alle cementazioni precoci ed ai carbonati legati alla risalita di gas, e 2) biocenosi dei sedimenti sciolti o mobili.

1)-Il Benthos di substrato duro è distribuito in chiazze ove localmente è molto fiorente, tanto che si parla frequentemente di concrezioni biogene in senso lato per intendere tutti gli affioramenti di rocce colonizzate che si elevano dal fondo tra limi e sabbie. Le osservazioni eseguite mediante l'impiego di un ROV in due aree nella zona del Campo Bonaccia, ove era nota la presenza di concrezioni in corrispondenza di risalite gassose, permettono alcune precisazioni. Le Figg. 23 e 24 mostrano il dettaglio della morfologia dei due siti studiati.

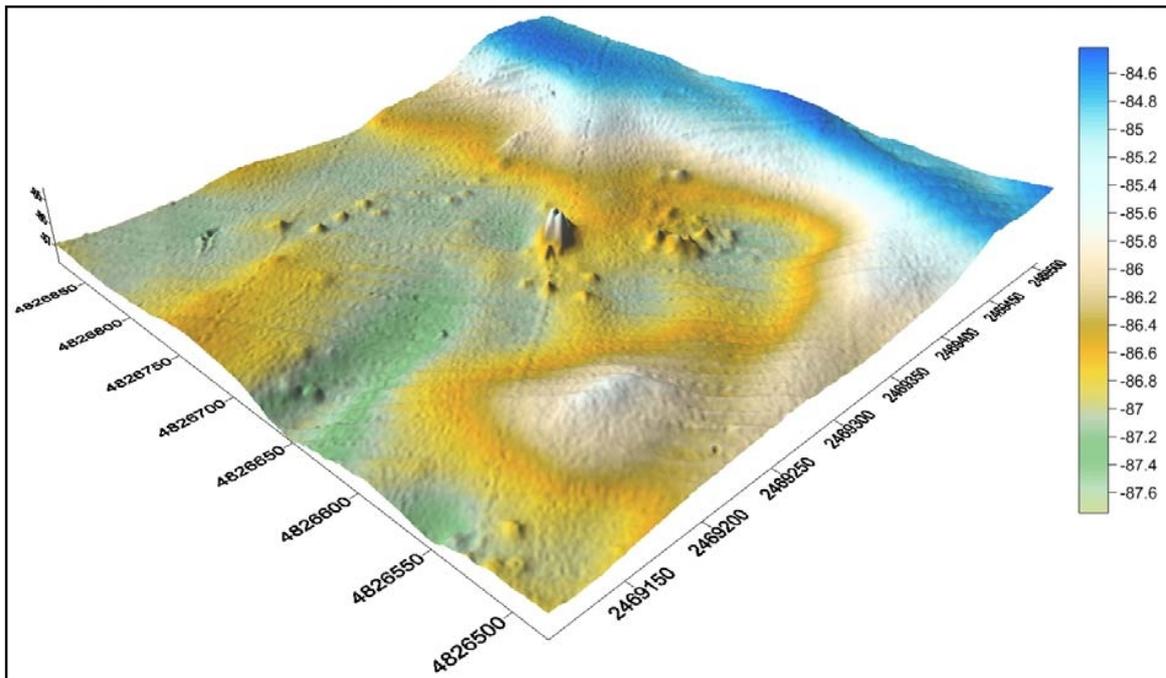


Fig.23. Batimetria di dettaglio nella zona 1 del Campo Bonaccia ove sono presenti affioramenti di concrezioni.

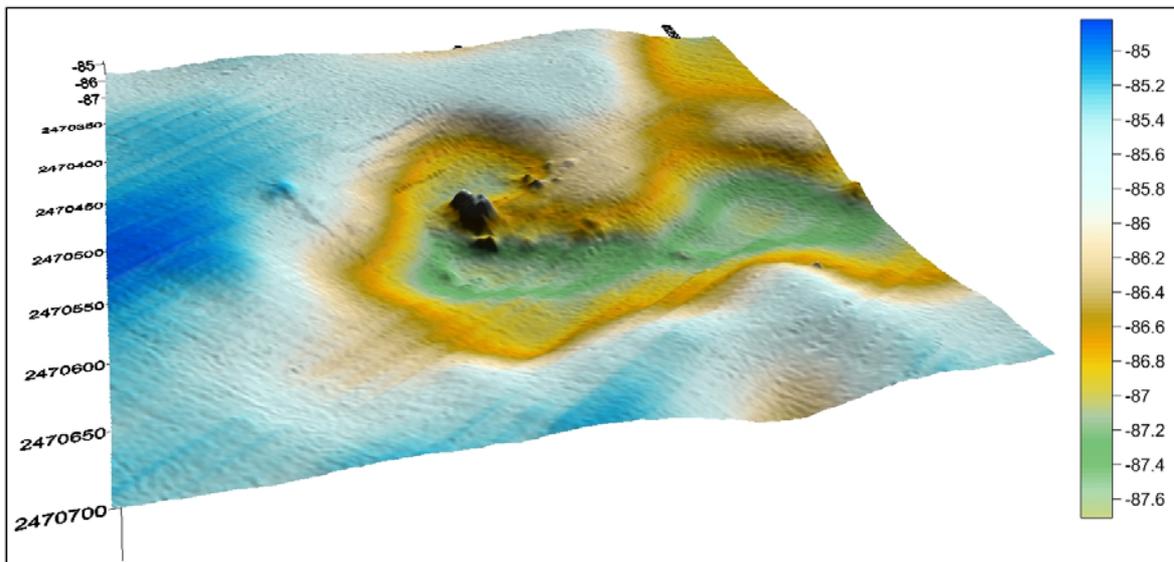


Fig.24. Batimetria di dettaglio nella zona 2 del Campo Bonaccia ove sono presenti depressioni e affioramenti di concrezioni in un grande pockmark.

I popolamenti appaiono costituiti essenzialmente da Poriferi, Antozoi e Ascidiacei. In particolare, malgrado la difficoltà e l'incertezza della identificazione fotografica, sembra di poter riconoscere nelle immagini ROV della zona 1 (Fig.25) una spugna a cannule (*Haliclona* ?) ed un'altra globosa (*Geodia* ?), oltre all'Ascidia *Phallusia mamillata* (?).



Fig. 25. Immagini da ROV ottenute nella zona 1 del Campo Bonaccia.

Nella zona 2 di Bonaccia (Fig.26) sono invece evidenti *Alcyonum palmatum* e gruppi di altri Antozoi (*Antipathes* ?).

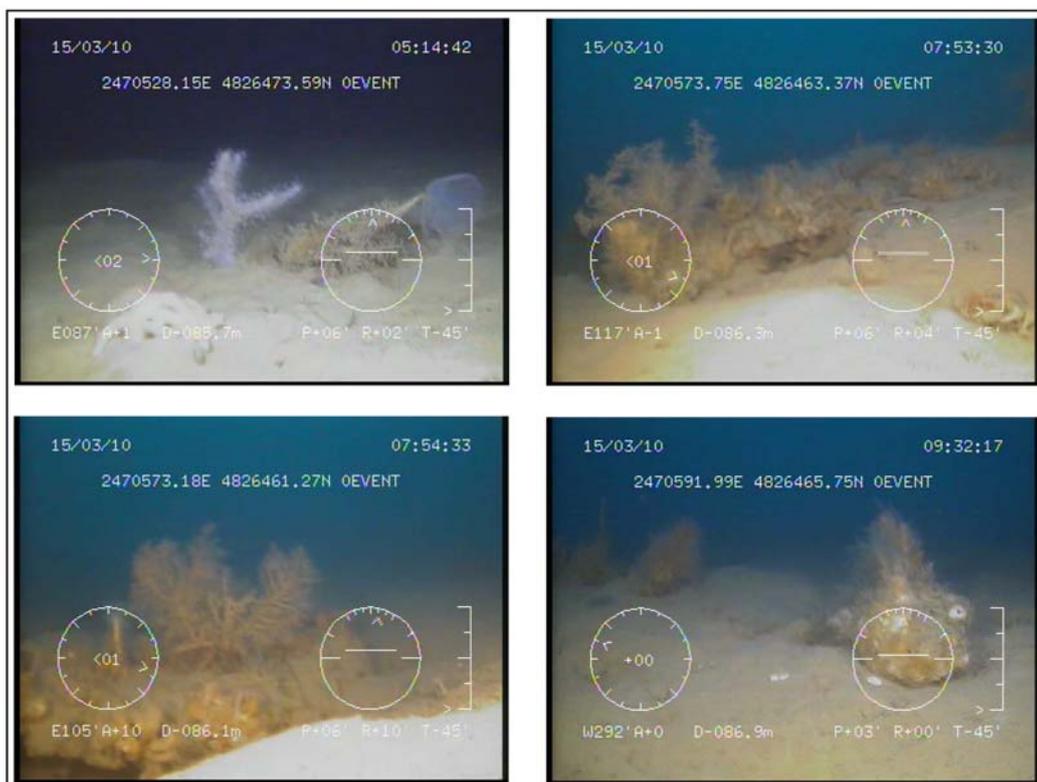


Fig.26. Immagini da ROV ottenute nella zona 2 del Campo Bonaccia.

Sono *taxa* che vivono di solito su pietre o su sabbia grossolana, noti in tutto l'Adriatico e particolarmente frequenti sulle sabbie relitte, tanto che i pescatori che praticano la pesca a strascico chiamano questi fondali "fondi sporchi". Nella zona del Campo Bonaccia non sono stati osservati organismi chemio-trofici, ma, essendo le specie osservate tutte filtratrici, potrebbero trarre vantaggio dalla intensa attività batterica che accompagna le fuoriuscite di gas (chemio-sintesi di *cold seeps*) e giustificare così la loro abbondanza.

Alcune lastre carbonatiche, tubi calcarei, resti di risalite di gas (*gas-escape chimney*) e piccole concrezioni sono state dragate nella stessa zona (Taviani *et al.*, 1997). I campioni non mostrano la fauna sopra-descritta, ma resti di alghe calcaree abbondanti (da giustificare il termine "concrezioni biogeniche") e appaiono intensamente perforati da Clionidi.

2)-Il Benthos dei sedimenti sciolti, come indicato dall'indagine ambientale lungo il tracciato Bonaccia-Bonaccia Est (Report AM 372), è principalmente rappresentato da Anellidi e Molluschi. Questi *Phyla* sono presenti con percentuali che vanno rispettivamente da 50,6 a 58,74 % e da 20,0 a 38,61 % dell'intera comunità (Fig. 27).

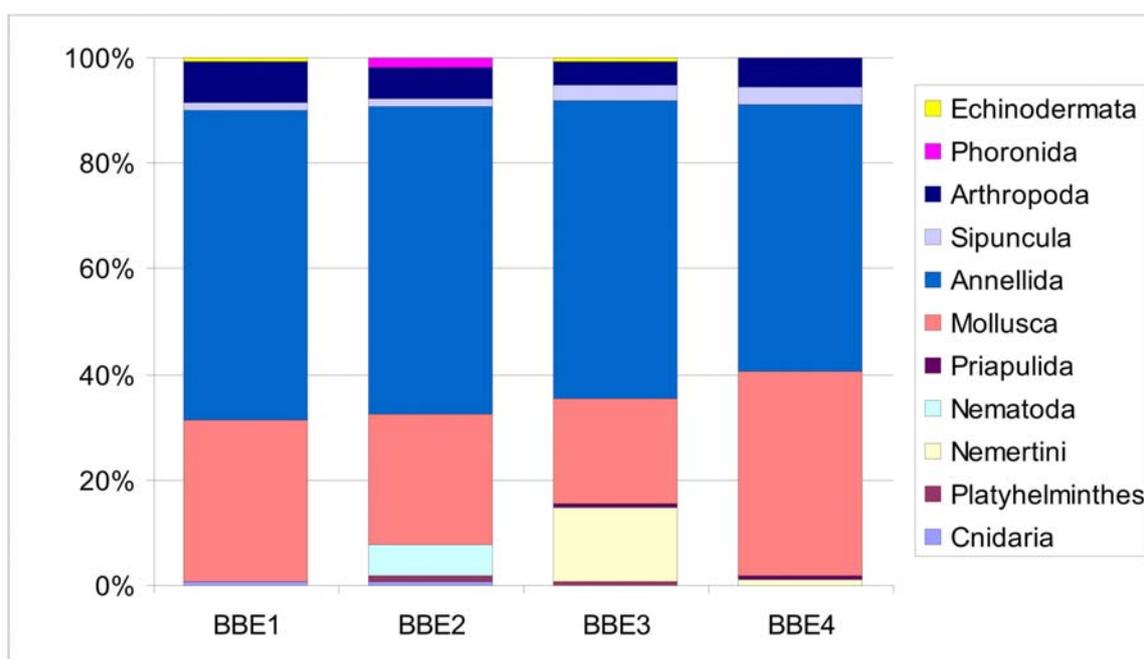


Fig.27. Composizione percentuale dei *Phyla* riconosciuti tra Bonaccia e Bonaccia Est.

Le associazioni osservate sono piuttosto simili e riferibili alle classiche biocenosi definite da Vatova 1949 e Gamulin Brida 1967. In particolare appartengono alla "Biocenosi dei fanghi terrigeni costieri", caratterizzata da forme sessili, anche se con il *survey* non sono stati campionati elementi caratteristici. Gli indici di diversità, di ricchezza e omogeneità relativi alla fauna raccolta mostrano comunque che le comunità bentoniche sono ben equilibrate e non mostrano segni di alterazioni di rilievo.

Nel report AM 369, relativo all'indagine geofisica e geotecnica della stessa zona (Bonaccia-Bonaccia Est), è ampiamente riportata la presenza di resti di Pectinidi sia nei campioni superficiali che nelle carote (vedi Fig. 19). Densi accumuli di bivalvi morti e disarticolati, ma anche vivi, sono stati osservati all'interno di molti *pocmark* nel Mare del Nord (Hovland e Judd, 1988), ove i particolari ricchi addensamenti sono stati interpretati come dovuti alla competizione per la posizione più favorevole per la concentrazione di

cibo fornito dalle emanazioni di gas. Una situazione analoga potrebbe essere suggerita anche per la zona dei campi Bonaccia e spiegare la diffusa presenza di bivalvi filtratori come *Chlamys spp.* e *Pecten jacobaeus* (Cappasanta), sulle sabbie delle depressioni, mentre altrove sono ormai rare per l'eccessivo sforzo di pesca cui attualmente sono soggette. La Fig. 28 (da Hovland e Judd 1988) mostra schematicamente l'importanza biologica dei *pockmark*: il gas fuoriesce dal fondo all'interno dei *pockmark* ove il sottofondo ha minor resistenza. Qui può causare la precipitazione di carbonati che vanno a formare un substrato duro per gli organismi sessili ed arricchiscono i sedimenti, determinando l'instaurarsi di condizioni molto favorevoli per diverse forme di vita.

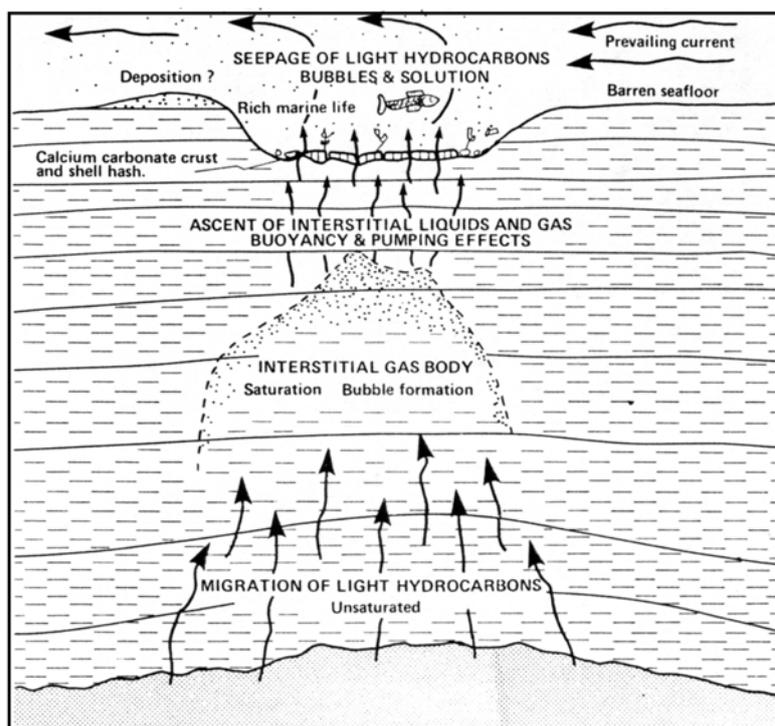


Fig.28. Importanza biologica dei *pockmark* e schema dei flussi (da Hovland e Judd 1988).

4) EFFETTI DELLA SUBSIDENZA

La subsidenza indotta dall'estrazione di fluidi dal sottosuolo è sempre un fenomeno locale e di modesta estensione areale. Tuttavia, nel caso specifico, la produzione dei Campi Bonaccia e Bonaccia Est avrebbe causato un abbassamento del fondale valutato nel 2011 in 108 cm ma che nel 2060 (termine della simulazione dei modelli geomeccanici) raggiungerebbe i 126 cm. Se si considera la messa in produzione anche del Campo Bonaccia NW, nel 2040 la subsidenza indotta sarebbe di 245 cm (fine estrazione) e di 235 cm alla fine della simulazione (2060). Questi alti valori si distribuirebbero su una vasta zona che, nel caso della massima subsidenza prevista (Bonaccia NW), si estenderebbe in un'area di 11 x 4 km o di 12 x 6 km a seconda delle simulazioni dei modelli previsionali. Il fenomeno della subsidenza indotta, pur determinando un cono di abbassamento che presenta un ampio diametro, non può quindi essere ignorato. Esso infatti può provocare:

- -alterazione della morfologia del fondo
- -movimenti di sedimenti
- -introduzione di fluidi nell'ambiente marino
- -variazioni dell'attività biologica

Occorre pertanto valutare questi possibili impatti ambientali sulla costa e sui fondali marini interessati.

4.1 EFFETTI sulla COSTA

La costa antistante l'area interessata dall'estrazione di gas dai campi *offshore* di Bonaccia è una zona di grande pregio ambientale, presentando emergenze di grande interesse dal punto di vista geomorfologico e naturalistico, oltre che storico e culturale. Essa rientra infatti nel Parco Naturale del Conero, che si estende da Ancona alla foce del Musone. La struttura che lo caratterizza è il rilievo calcareo del Monte Conero, che nel versante marino presenta pareti alte e acclivi ai cui piedi sono sviluppate piccole spiagge soggette a continua erosione. Nel tratto tra Ancona e Portonovo, la costa è a falesia con un andamento NW-SE ed è praticamente inaccessibile, mentre più a Sud, ha un andamento Nord-Sud ed è più articolata e soggetta a frequenti fenomeni franosi. Oltre alla Baia di Portonovo, formata da una antica grande frana, l'unico tratto di vera spiaggia sabbiosa della zona è costituito dalla piana formata dalla deriva verso Nord dei sedimenti portati dal F. Musone. Di particolare interesse geomorfologico sono lo "Scoglio del Trave", testata di uno strato che dalla costa si prolunga in mare per più di un chilometro, e gli "Scogli delle due Sorelle", bell'esempio di stratificazione della formazione calcarea della "Maiolica", che formano due faraglioni che prolungano l'estrema propaggine orientale del promontorio (Fig.29).



Fig. 29. Particolari della costa del promontorio del Conero. a) spiaggia di Mezzavalle e Scoglio del Trave, b) Scogli delle Due Sorelle, c) spiaggia ciottolosa dei Sassi Neri, d) spiaggia sabbiosa di Marcelli a Sud di Numana.

I giacimenti dei Campi di Bonaccia sono contenuti in strutture con direzione principale NW-SE (andamento Appenninico). Lungo questa direzione si sviluppa l'asse principale dell'ellisse di previsione della subsidenza, il cui eventuale propagarsi non può andare ad interessare l'area costiera che ha praticamente lo stesso andamento, rimanendovi all'incirca parallela. Non può quindi andare ad interferire con la stabilità dei versanti. D'altra parte, considerando la piattaforma Bonaccia come centro dell'area in esame, essa dista ben 60 km circa dalla punta estrema della costa, mentre i punti di massima subsidenza calcolati si ubicherebbero a 51-53 km (Figg. 4 e 5), restando pertanto ben lontani dalla linea dei 10 km dalla costa, considerata il limite per le attività di ricerca e di estrazione (Fig.30).

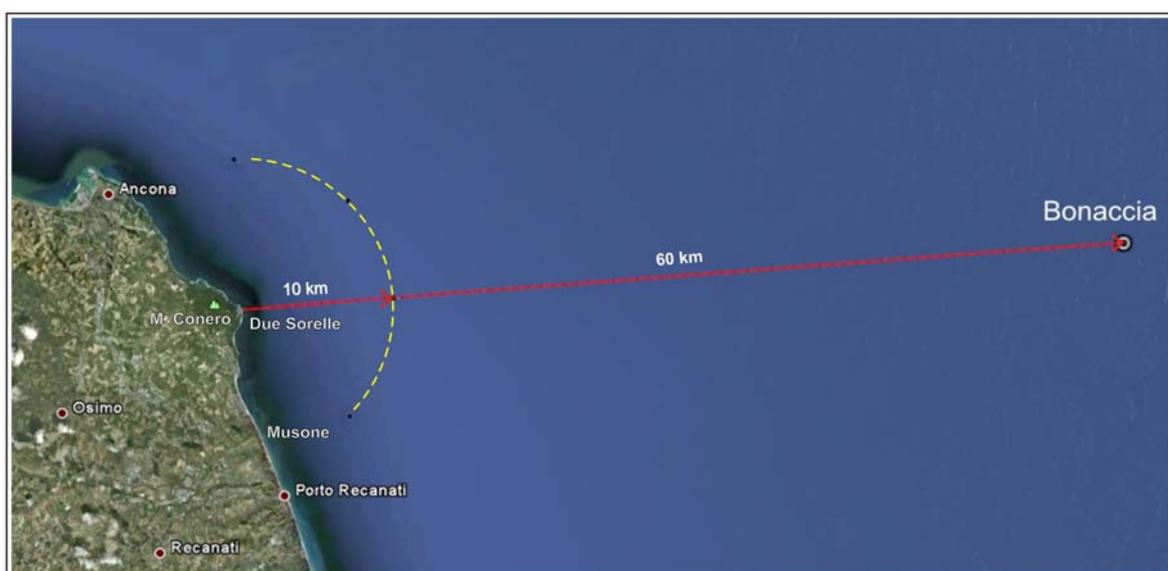


Fig.30. Distanza della piattaforma Bonaccia dalla costa.

Per quanto riguarda il movimento dei sedimenti, occorre ricordare che la dinamica della zona litorale è ovviamente dominata dal moto ondoso che, tra la linea dei frangenti e la riva, può generare correnti di deflusso (*rip current*) in grado di causare un trasporto solido trasversale (*cross-shore*) e correnti lungo costa in grado di generare un trasporto solido longitudinale parallelo alla battigia (*long-shore*). Il tratto di costa tra Ancona e Portonovo, avendo un andamento NW-SE, è direttamente investito dalle onde generate dal vento dominante di Bora (Grecale) ed è maggiormente soggetto all'abbattimento della riva e alla formazione di ripide falesie. Qui, più che altrove lungo le coste alte del Conero, le rocce sono soggette ad abrasione e crolli che generano blocchi e frammenti di dimensioni molto varie che frequentemente formano solo una cimosa di ciottoli della stessa litologia della costa, che si accumula ai piedi delle falesie in piccole baie (*pocket beaches*). Solo in queste piccole rientranze della costa è possibile che si verifichino, per rifrazione delle onde, correnti di deflusso che allontanano i detriti verso il largo. Procedendo verso Sud il fenomeno delle correnti trasversali è più frequente ed importante anche se meno intenso, a causa delle ondatazioni da Greco e Levante sulla costa che ha un andamento N-S.

Il vento regnante di Scirocco (da SE) è invece la causa delle correnti verso Nord e quindi del trasporto longitudinale di materiale nelle piccole spiagge e soprattutto del movimento di sabbia dalla foce del Musone a Numana.

Questo materiale grossolano della costa non può spingersi verso il largo, neppure se fosse richiamato dalle depressioni dei Campi Bonaccia e accelerare così i fenomeni di erosione della costa. Si tratta infatti di elementi mossi come carico di fondo che necessita un'elevata forza di trazione, mentre la dinamica della zona è piuttosto la scarsa, anche con eventi

meteo-marini eccezionali. Il movimento verso il largo è inoltre impedito dalla presenza della corrente geostrofica verso Sud e quindi dalla deposizione della fascia di fanghi (*mud belt*). La *mud belt* è tuttavia alimentata (scarsamente) dal poco materiale fine portato in sospensione e disperso verso Sud, come mostra, ad esempio, una fotografia da satellite (Fig. 31).



Fig. 31. Foto satellitare che mostra la dispersione del materiale fine.

Le biocenosi di substrato duro e mobile della costa non possono risentire di modificazione alcuna indotta sul loro habitat. Si può quindi concludere che il sistema costiero non ha alcuna connessione con la zona *offshore* e con la sua locale subsidenza indotta.

4.2 EFFETTI sui FONDALI MARINI

La prima alterazione dei fondali marini causata dalla subsidenza indotta dall'estrazione di gas è la modifica della morfologia locale. Le previsioni a lungo termine alla fine della vita produttiva dei campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest (anno 2040) prevedono la formazione di depressioni con valori di abbassamento massimo dell'area di 127-245 cm per un'estensione massima di 12 km x 4-6 Km. Queste depressioni sono di un ordine di grandezza paragonabile con quello dei collapsi dei *pockmarks* che caratterizzano la zona, ma soprattutto si instaurano su una morfologia già molto accidentata, esasperandola localmente. E' appropriato quindi discutere il problema dei possibili impatti della subsidenza assieme ai fenomeni causati dalla risalita di gas. I *pockmarks* infatti non sono solo particolari strutture sedimentarie potenzialmente pericolose, ma modificano sensibilmente tutto l'ambiente.

Il cono di depressione dovuto alla subsidenza presenta bordi più regolari e generalmente meno acclivi di quelli dei *pockmarks* attivi. Il fondo dei *pockmarks* ospita inoltre concrezioni locali e ammassi di benthos che possono subire modeste dislocazioni a causa della subsidenza e della presenza diffusa nel sottofondo di gas che diminuisce la coesione dei sedimenti. Tutto questo determina un aumento delle asperità del fondo ed altera localmente le caratteristiche geotecniche dei fondali che difficilmente possono essere evitate nella messa in opera di piattaforme di perforazione e coltivazione. Queste strutture possono vedere compromessa la loro stabilità. Problemi possono sorgere anche nella posa di condotte sottomarine per le quali aumenta il pericolo di flessioni e di *free spans*. Nella progettazione delle strutture si raccomanda quindi di considerare con attenzione questa problematica.

Le aumentate asperità del fondo costituiscono infine un ottimo deterrente per la pesca a strascico.

La zona in esame presenta anche vistose erosioni e superfici di non-deposizione che la subsidenza potrebbe cancellare o esasperare. L'evenienza che questi fenomeni si verificano è tuttavia da escludere in quanto le superfici esposte rappresentano strutture antiche di mare molto basso, rimaste evidenti malgrado siano state interessate da un veloce innalzamento del livello marino che non ha tuttavia movimentato sufficienti sedimenti per seppellirle. La sedimentazione della zona è infatti molto scarsa e mantenuta tale dalla corrente geostrofica del bacino e dal flusso di fondo dovuto all'acqua densa che dall'alto Adriatico scende verso la "fossa" meso-adriatica ripulendo i fondali. La subsidenza indotta non potrà quindi avere alcun ruolo nella dinamica dei sedimenti, e quindi negli apporti e nelle asportazioni.

La subsidenza, ridistribuendo le pressioni nel sottofondo, potrebbe anche causare l'aumento di emissioni gassose che modificano l'ambiente. Già nel *survey* eseguito nel 2004 nel tratto tra Bonaccia e Bonaccia Est (Report AM 372) è apparso che i fondali soffrono di una scarsa ossigenazione, documentata da un pH tra 7,39 e 7,88 ed un Eh negativo (tra -10 e -120). Si può interpretare questa situazione come dovuta all'ossidazione del metano e conseguente formazione di CO₂ che si diffonde nell'ambiente. Questa situazione può essere localmente incrementata e favorire corrosioni o precipitazioni di carbonati nella depressione di subsidenza. La precipitazione di carbonati da gas superficiale è infatti un fenomeno ricorrente da considerare con attenzione (Fig.32).

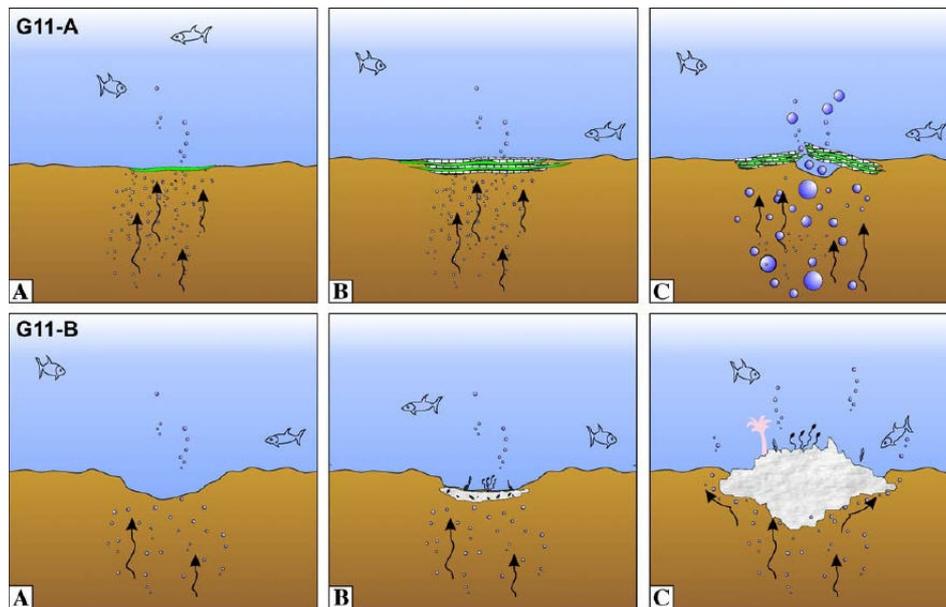


Fig. 32 **G11-A**: con la lenta risalita dal fondo di gas, si concentrano agenti microbici che iniziano l'ossidazione anaerobica del metano (A) che provoca la precipitazione del carbonato sul fondo in forma di croste lateralmente estese (B) finché la fuoriuscita abbondante di gas espulso non ne provoca la rottura (C). **G11-B**: la risalita diffusa di idrocarburi forma *pockmarks* sul fondo (A) e quindi la precipitazione di carbonati autigeni nell'immediato sottofondo (B), finché la formazione di grandi depositi impedisce l'ulteriore risalita di fluidi deviandoli lateralmente e favorendone l'espansione (C). (da Mazzini *et al.* 2006).

L'impatto più cospicuo dell'incremento di emanazioni gassose sul fondo, riguarda certamente la vita bentonica. I pochi *surveys* visivi eseguiti nei *pockmarks* e in corrispondenza di emissioni hanno evidenziato un incremento nella locale produttività biologica, senza tuttavia che venissero individuati speciali organismi chemio-trofici. Molti popolamenti di filtratori trarrebbero comunque vantaggio dall'attività batterica associata al gas superficiale, ma sembra anche (Hovland e Judd 1988) che ogni flusso di fluidi verso la superficie dei sedimenti rappresenti una possibilità di nutrimento per tutti i tipi di microrganismi, detritivori e filtratori, fertilizzando tutto l'ambiente marino circostante.

5) CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto, si possono trarre le seguenti conclusioni riassuntive:

- La subsidenza indotta dall'estrazione di gas dai campi Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord-Ovest, già attualmente (2011) di 108 cm è destinata ad aumentare fino a valori massimi di 245 cm nel 2040.
- Valori di questa entità determinano la necessità di valutare attentamente i possibili impatti sulla costa prospiciente i giacimenti e sul fondo marino interessato.
- I pozzi offshore in produzione, o che verranno tra breve attivati, distano circa 60 km dalla linea di riva più vicina e la depressione indotta, secondo le previsioni, resterà a 51-53 km dalla costa. La subsidenza non potrà pertanto interferire con la stabilità della costa.
- I sedimenti della costa sono generalmente grossolani e non potranno essere richiamati verso il largo perché la dinamica marina è insufficiente per il loro trasporto. La loro dispersione è inoltre condizionata dalle deboli correnti costiere e dalla presenza di una estesa fascia di limi che li divide dall'ambiente dell'*offshore* a causa dei depositi dovuti alla corrente del circuito generale del bacino adriatico.

- La subsidenza indotta causerà necessariamente un cambiamento nella morfologia dei fondali marini istaurandosi su un paesaggio naturale già molto accidentato a causa della diffusa risalita di ingenti quantità di gas. Il cono di subsidenza andrà a sommarsi alle depressioni dei *pockmarks* e potrebbe interessare anche i depositi di carbonati autigeni aumentando le asperità del fondo con possibili conseguenze sulla stabilità delle piattaforme e delle condotte sottomarine di cui si terrà debito conto in fase di progettazione e realizzazione.
- La sedimentazione locale è molto scarsa o nulla, tanto da lasciare scoperte antiche strutture deposizionali di mare più basso. I fondali non possono d'altra parte richiamare altri sedimenti a causa delle correnti che fluiscono verso Sud. La sedimentazione non può quindi modificare l'aspetto morfologico dei fondali.
- La subsidenza, modificando la distribuzione delle pressioni nell'immediato sottofondo, può anche causare una variazione delle emissioni di gas superficiale che può formare nuove strutture e modificare l'ambiente in generale interferendo con i cicli della CO₂. L'ossidazione del metano per l'attività batterica può infine favorire precipitazioni di ingenti quantità di carbonati autigeni.
- L'attività del benthos trova invece vantaggio dall'attività batterica legata alle emissioni di gas. Nuova energia e cibo non dovuti alla fotosintesi permettono il prosperare di ricche biocenosi, con grande vantaggio dell'ambiente in generale.

In sintesi si può affermare che la subsidenza indotta dall'estrazione di gas dai campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia Nord Ovest non provoca sensibili variazioni alla pericolosità dell'area.



Prof. Paolo Colantoni
professore onorario Università di Urbino

Paolo Colantoni

6) BIBLIOGRAFIA

6.1 OPERE CITATE

- Artegiani A., Bregant D., Paschini E., Pinardi N., Raicich F., Russo A., 1997. *The Adriatic Sea general circulation. I and II. Jour. Phys. Oceanogr.*, 27, (8), 1492-1532.
- Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G. P., Marabini F., Marocco R., 1988. *Carta sedimentologica dell'Adriatico centrale*. C.N.R.- P.F. Oceanografia e Fondi Marini. IGDA, Novara.
- Cattaneo A., Trincardi F., Langone L., Asioli A., Puig P., 2004. *Clinofom generation on Mediterranean margin*. *Oceanography*, 17, 105-117.
- Colantoni P., Gabbianelli G., Ricchiuto T. e Ceffa L., 1997. *Methane-derived cementation of recent sediments from the Adriatic Continental Shelf*. IAS. 18th European Meeting of Sedimentology.
- Colantoni P., Galignani P., Lenaz R., 1979. *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Continental Shelf (Italy)*. *Marine Geology*, 33, 41-50, Amsterdam.
- Conti A., Stefanon A. e Zuppi G.M., 2002. *Gas seeps and rock formation in the northern Adriatic Sea*. *Continental Shelf Research*, 22, 2333-2344.
- Correggiari A., Roveri M., Trincardi F., 1996. *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. *II Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9 (2), 697- 704.
- Curzi P.V. e Veggiani A., 1985. *I pockmarks nel mare Adriatico Centrale*. *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense*, 21, 89-90.
- Frignani M., Langone L., Ravaioli M., Sorgente D., Alvisi F., Albertazzi S., 2005. *Fine-sediment mass balance in the western Adriatic continental shelf over a century time scale*. *Marine Geology*, 222-223, 113-133.
- Mazzini A., Sevensen H., Hovland M., Plankes S., 2006. *Comparison and implications from stringly different authigenic carbonates in a Nyegga complex pockmarks, G 11, Norwegian Sea*. *Marine Geology*, 231, 89-102.
- Hovland M. e Judd A. Q., 1988. *Seabed Pockmarks and Seepages*. Graham & Trotman. 293 pp.
- Morigi C., Jorissen F.J., Fraticelli S., Horton B., Principi M., Sabbatini A., Capotondi L., Curzi P.V., Negri A., 2005. *Benthic foraminiferal evidence for the formation of Holocene mud-belt and bathymetrical evolution in the central Adriatic Sea*. *Marine Micropaleontology*, 57, 25-49.
- Niedoroda A. W., Reed C. W., Das H., Fagherazzi S., Donoghue J. F. & Cattaneo A., 2005. *Analyses of a large-scale depositional clinoformal wedge along the Italian Adriatic coast*. *Marine Geology*, 222-223, 179 – 192.
- Poulain P.M. e Cushman-Rosin, 2001. *Circulation*. In: *Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Past, Present and Future*. Kluwer Academic Publ., 67-109.

- Taviani M., Correggiari A., Roveri M., Trinardi F., Aharon P., e Froglija C., 1997. *Shallow-water, hydrocarbon-imprinted authigenic carbonates from the Adriatic continental shelf: petrographical, geochemical and paleobiological aspect and implications for the genesis of mudmounds*. COLD-E-VENT, Bologna, Abstracts, 21.
- Tomadin L., 2000. *Sedimentary fluxes and dispersion mechanism of the clay sediments in the Adriatic basin*. Rend. Fis. Acc. Lincei, s.9,11, 161-174, Roma.
- Zavattarelli M. e Pinardi M., 2003. *The Adriatic Sea modeling system : a nested approach*. Annales Geophysicae.

6.2 RAPPORTI per Eni- E&P

- AM 000. 1997. Bottom Survey Bonaccia in Mare Adriatico al largo di Ancona. GAS s.a.s.
- AM 255. 2001. Bonaccia bottom survey. GAS s.r.l.
- AM 265. 2001. Well site survey Bonaccia 1 Est. Gas s.r.l.
- AM.316. 2002. Bottom Survey Bonaccia. GAS s.r.l.
- AM 369. 2004. Sealine Survey Bonaccia-Bonaccia Est. GAS s.r.l.
- AM 372. 2004. Futuro Sealine Bonaccia-Bonaccia Est –Studio di Impatto Ambientale. GAS s.r.l.
- AM 469. 2008. Studio bibliografico Concrezioni Biogene. GAS s.r.l.
- AM 515. 2010. Batimetria di precisione BMS. GAS s.r.l.
- AM 522. 2010. Ispezione visiva su due concrezioni del Campo Bonaccia. GAS s.r.l.
- AM 563. 2011. Bonaccia Nord-Ovest –Bonaccia. Pre-Engineering Survey.GAS s.r.l.