

dPT 3059

All. 2A



# **ISTANZA DI PERMESSO DI RICERCA “MONTE NEGRO”**

## **“RELAZIONE TECNICA E GEOLOGICA DELL'AREA”**

(Comunicato Ministeriale del 27 febbraio 2006 – B.U.I.G. n.3 del 31 marzo 2006)

**Presentata da**

***Celtique Energie Petroleum Ltd.***

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE</b>                              | <b>4</b>  |
| <b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>                   | <b>5</b>  |
| <b>2.1 PIATTAFORMA APPENNINICA</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>2.2 BACINO LAGONEGRESE S.L. ED UNITÀ ESTERNE</b> | <b>8</b>  |
| <b>2.3 LA PIATTAFORMA APULA</b>                     | <b>10</b> |
| <b>2.4 L'AVANFOSSA BRADANICA</b>                    | <b>13</b> |
| <b>2.5 EVOLUZIONE STRUTTURALE</b>                   | <b>15</b> |
| <b>3. TEMI DI RICERCA NELL'AREA IN ISTANZA</b>      | <b>20</b> |
| <b>3.1 ROCCIA SERBATOIO</b>                         | <b>20</b> |
| 3.1.1 Reservoir in depositi carbonatici             | 20        |
| 3.1.2 Reservoir in depositi silicoclastici          | 24        |
| <b>3.2 ROCCIA DI COPERTURA</b>                      | <b>24</b> |
| <b>3.3 ROCCIA MADRE</b>                             | <b>25</b> |
| <b>3.4 TRAPPOLE</b>                                 | <b>28</b> |

## INDICE DELLE FIGURE

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - CARTA STRUTTURALE SCHEMATICA D'ITALIA (DA CATALANO ET AL. 2004, MODIFICATA).  | 5  |
| FIGURA 2 - CARTA GEOLOGICA DELL'ITALIA MERIDIONALE CON I PRINCIPALI DOMINI GEOLOGICI ED UNITÀ STRATIGRAFICO STRUTTURALI.   | 6  |
| FIGURA 3 - SEZIONE GEOLOGICA REGIONALE ATTRAVERSO L'APPENNINO MERIDIONALE. LA SCALA VERTICALE È ESAGERATA SECONDO UN RAPPORTO DI 2:1. DA TURRINI ET AL. (2003).  | 7  |
| FIGURA 4 - PROFILO SISMICO CROSTALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE E SUA INTERPRETAZIONE (CROP 4).   | 7  |
| FIGURA 5 - RELAZIONI GEOMETRICHE TRA LE PRINCIPALI UNITÀ GEOLOGICHE NELL'APPENNINO MERIDIONALE.  | 8  |
| FIGURA 6 - PALEOGEOGRAFIA REGIONALE DEI PRINCIPALI DOMINI DELL'APPENNINO MERIDIONALE, RIFERITA ALL'INTERVALLO Tortoniano-Messiniano (DA PARLOTTO ET AL. (2004), MODIFICATA).   | 9  |
| FIGURA 7 - EVOLUZIONE SCHEMATICA E UNITÀ PRINCIPALI DELL'APPENNINO MERIDIONALE, DAL MESOZOICO AL PLEISTOCENE.  | 10 |
| FIGURA 8 - SEZIONE ILLUSTRANTE IL PASSAGGIO PERMO-TRIASSICO NEL POZZO PUGLIA 1.  | 12 |
| FIGURA 9 - CARTA GEOLOGICA DELL'ITALIA MERIDIONALE, CON I PRINCIPALI DOMINI GEOLOGICI E STRUTTURALI.   | 14 |
| FIGURA 10 - STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO ATTRAVERSO LA CATENA APPENNINICA DAL PLIOCENE AL PLEISTOCENE (PARLOTTO ET AL., 2004).  | 14 |
| FIGURA 11 - SEZIONE NE-SO SCHEMATICA CON LA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DEI PRINCIPALI CORPI SABBIOSI TORBIDITICI PLIO-PLEISTOCENICI. DA CASNEDI (1998), MODIFICATO.  | 15 |
| FIGURA 12 - PROFILI GEOLOGICI A SCALA REGIONALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE. DA MOSTARDINI ET AL. (1988), MODIFICATO.   | 17 |
| FIGURA 13 - DISTRIBUZIONE DEI SEDIMENTI DI AVANFOSSA PLIO-PLEISTOCENICI. DA IHS.   | 18 |
| FIGURA 14 - SCHEMATIZZAZIONE DEI PRINCIPALI TIPI DI OBIETTIVI DELL'AVANFOSSA BRADANICA E RELATIVE SCOPERTE.  | 18 |
| FIGURA 15 - ESEMPIO DI CORRELABILITÀ SU LUNGHE E BREVI DISTANZE TRA ALCUNI POZZI DELL'AREA IN CONSIDERAZIONE.  | 19 |
| FIGURA 16 - DIFFERENTI RESERVOIR ASSOCIATI AI DEPOSITI CARBONATICI E A QUELLI SILICOCLASTICI E A TRAPPOLE DIVERSE. CAMPO A IDROCARBURI DI GROTTOLE-FERRANDINA. DA SELLA ET AL. (1988), MODIFICATO.   | 21 |
| FIGURA 17 - DIFFERENTI RESERVOIR ASSOCIATI AI DEPOSITI CARBONATICI E A QUELLI SILICOCLASTICI E A TRAPPOLE DIVERSE. CAMPO A IDROCARBURI DI PISTICCI. DA SELLA ET AL. (1988), MODIFICATO.  | 22 |
| FIGURA 18- IN ALTO: POROSITÀ VACUOLARE ASSOCIATA A DISSOLUZIONE SELETTIVA DEI GUSCI DI RUDISTE NEI CALCARI DEL CRETACEO SUPERIORE. IN BASSO: STILE DI DEFORMAZIONE FRAGILE, CON FRATTURAZIONE VERTICALE DEI CALCARI. PIATTAFORMA APULA, MURGE. | 23 |





|  |    |
|--|----|
| FIGURA 19 - FAGLIAZIONE NEI CALCARI DELLA PIATTAFORMA APULA.....   | 24 |
| FIGURA 20 - SEZIONE ATTRAVERSO IL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE NEL POZZO MASCHITO 1. SI NOTI LA<br>DISTRIBUZIONE DEI LIVELLI TORBIDITICI SABBIOSI. ....  | 25 |
| FIGURA 21 - POROSITÀ E FATTORE DI RECUPERO RELATIVI A 60 CAMPI PETROLIFERI LOCALIZZATI<br>NELL'AVANFOSSA BRADANICA.....  | 26 |
| FIGURA 22 - DISTRIBUZIONE DEI DIFFERENTI TIPI DI OLI IN ITALIA MERIDIONALE. DA SELLA ET AL. (1988),<br>MODIFICATO. ....  | 27 |
| FIGURA 23 - TIPI DI IDROCARBURI NEI DEPOSITI MESOZOICI E PLIO-PLEISTOCENICI (SELLA ET AL., 1988)..   | 27 |
| FIGURA 24 - SCHEMI DELLE TRAPPOLE (E RELATIVI CAMPI) IMPOSTATESI SUL SUBSTRATO CARBONATICO PRE-<br>PLIOCENICO. (DA SELLA ET AL. (1988), MODIFICATO) E TRAPPOLE IN SUBSTRATO PLIO-PLEISTOCENICO.<br>..... | 30 |
| FIGURA 25 - SCHEMI DELLE TRAPPOLE (E RELATIVI CAMPI) IMPOSTATESI NEI DEPOSITI DI TORBIDITICI DI<br>AVANFOSSA PLIO-PLEISTOCENICI. DA SELLA ET AL. (1988), MODIFICATO. ....                                | 30 |



## 1. INTRODUZIONE

L'Avanfossa Bradanica e l'Appennino meridionale lucano rappresentano due delle province esplorative per idrocarburi presenti in Italia, sia da un punto di vista geologico che per quanto riguarda le potenzialità esplorative e produttive.

La zona nella quale ricade l'area in istanza è geologicamente complessa in quanto cade tra il sistema di catena ed il sistema di Avanfossa parzialmente deformato dagli ultimi impulsi della tettonica terziaria appenninica. Da un punto di vista deposizionale i sedimenti variano da depositi clastici accumulati nell'Avanfossa Plio-Pleistocenica composti da emipelagiti e depositi di torbida, ai carbonati della piattaforma Apula. La presenza di una così grande varietà di litologie implica la possibile presenza di diversi tipi di rocce serbatoio.

Da un punto di vista esplorativo, l'attività in questa zona è stata molto intensa tra gli anni 60 e gli anni 80. In seguito a questa campagna esplorativa l'area in esame divenne la principale zona di produzione di idrocarburi liquidi e gassosi in Italia. Queste campagne esplorative confermarono la presenza di vari tipi di reservoir e sistemi petroliferi. Negli anni 80 il declino della produzione non è stato arrestato dalla scoperta di nuovi giacimenti di piccole dimensioni.

Tutti questi dati da un lato confermano le potenzialità del sistema petrolifero da un punto di vista geo-minarario e dall'altro confermano la complessità da un punto di vista esplorativo dell'area, in quanto gli accumuli di idrocarburi sono di dimensioni areali ridotte ed associati a trappole strutturali e/o stratigrafiche complesse.

Celtique Energie Petroleum Ltd. (di seguito "Celtique") ha raccolto tutte le informazioni disponibili da un punto di vista geologico e della storia produttiva dell'area, riuscendo a costruire un proprio modello geologico strutturale che conferma le potenzialità dell'area in oggetto per tutti i temi di ricerca tipici dell'area quali i livelli sabbiosi Pliocenici e Pleistocenici in trappole strutturali, stratigrafiche e miste e nei livelli porosi pre-Pliocenici in trappole strutturali.

Su questo modello Celtique ha costruito una strategia esplorativa innovativa per l'area in esame per riuscire ad evidenziare grazie alle moderne tecnologie esplorative nuovi accumuli di idrocarburi sfruttabili per la produzione.





## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'oggetto dell'istanza di permesso di ricerca è costituito da un'area compresa tra le propaggini più esterne dell'Appennino Meridionale Campano-Lucano e la parte più interna dell'Avanfossa Bradanica. Quest'ultimo dominio geologico rappresenta il depocentro della sedimentazione proveniente dalla messa in posto della catena appenninica, in maggior parte caratterizzata da depositi silicoclastici.



Figura 1 - Carta strutturale schematica d'Italia (da Catalano et al. 2004, modificata).





Schematicamente, questa zona è caratterizzata da tre grandi e differenti sistemi geologico-strutturali, i quali sono tra di loro legati da un punto di vista geodinamico: i) l'Appennino Campano-Lucano; ii) l'Avanfossa Bradanica e iii) l'avampaese Apulo (Fig. 1 e 2).

L'Appennino Campano-Lucano è caratterizzato dal sovrascorrimento di due grandi unità tettono-stratigrafiche alloctone su un avampaese parzialmente mobilizzato, avvenuto durante fasi tettoniche Appenniniche. Tali unità sono state prodotte dalla deformazione e dell'accavallamento - al di sopra dell'avampaese Apulo - di sedimenti Mesozoici e Cenozoici associati sia ad ambienti bacinali (Unità Lagonegresi) sia di piattaforma carbonatica (Piattaforma Appenninica).

Nella zona più occidentale del sistema di catena, infatti, affiorano le unità associate al dominio di Piattaforma Appenninica, sovrascorse sulle unità del dominio Lagonegrese (Val d'Agri). Queste ultime, sono accavallate al di sopra della Piattaforma Apula, la quale costituisce l'unità strutturale nota più profonda (Figure 3 e 4).

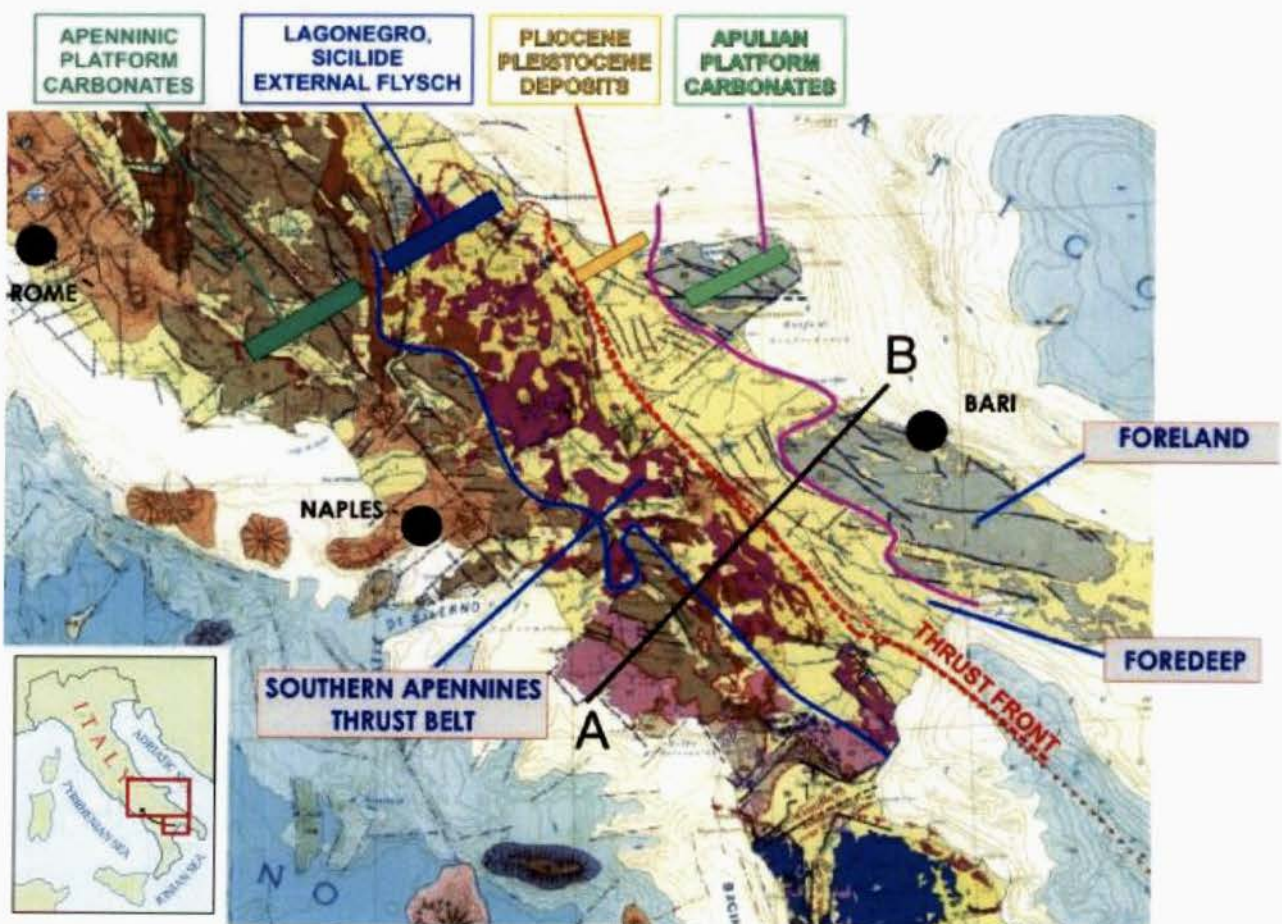


Figura 2 - Carta geologica dell'Italia Meridionale con i principali domini geologici ed unità stratigrafico-strutturali.





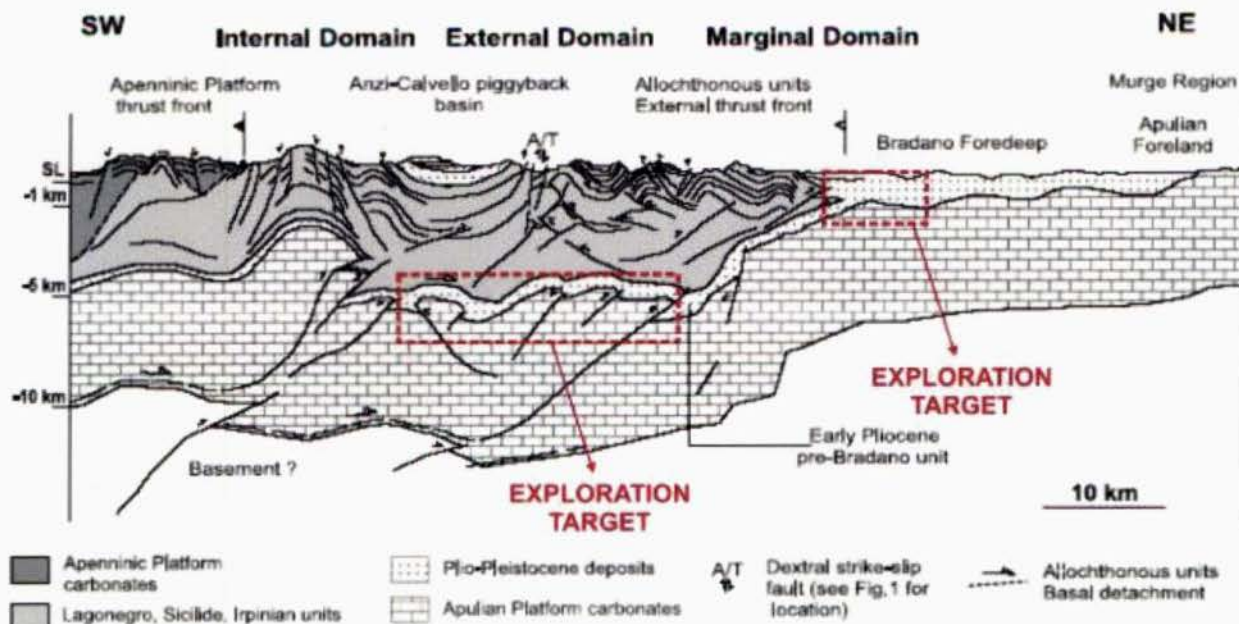


Figura 3 - Sezione geologica regionale attraverso l'Appennino meridionale. La scala verticale è esagerata secondo un rapporto di 2:1. Da Turrini et al.(2003).

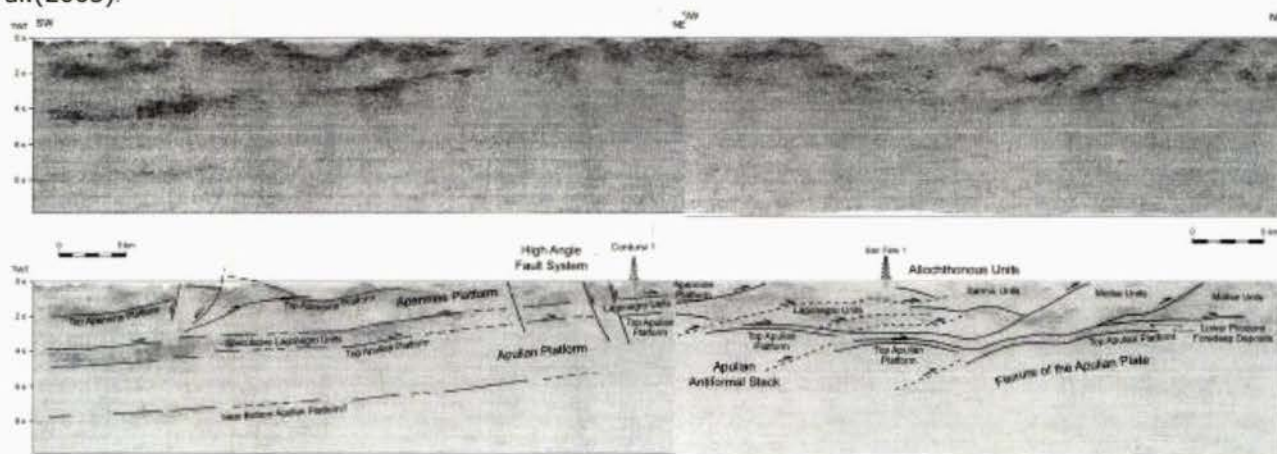


Figura 4 - Profilo sismico crostale dell'Appennino meridionale e sua interpretazione (CROP 4).

## 2.1 Piattaforma Appenninica

Le unità della Piattaforma Appenninica più orientali sono composte prevalentemente da dolomie e calcari di acqua bassa che, verso oriente, passano a facies di margine di piattaforma e scarpata. Lo sviluppo di questi depositi è ripetutamente interrotto da superfici di discordanza stratigrafica, marcate da brusche variazioni verticali di facies.

Questa piattaforma carbonatica è stata fortemente interessata dalla deformazione tettonica appenninica, avvenuta durante il Neogene, con un notevole trasporto tettonico delle unità verso l'avampaese Apulo, sovrascorrendo le corrispondenti unità di margine e bacino poste più ad oriente (Fig. 3 e 4).



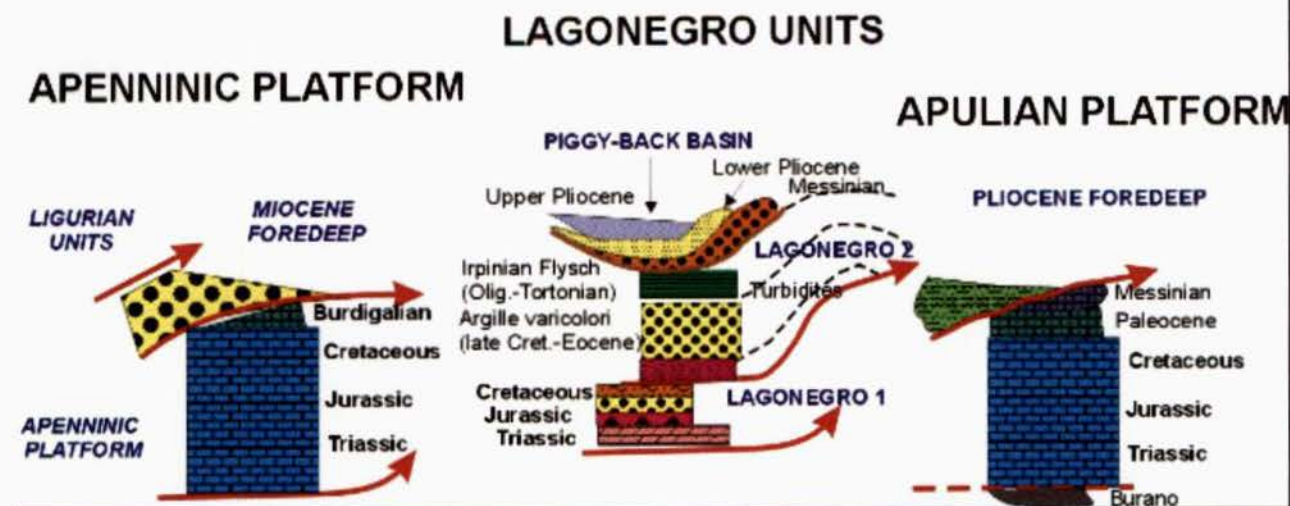


Figura 5 - Relazioni geometriche tra le principali unità geologiche nell'Appennino meridionale.

Il trasporto tettonico subito dalle unità appenniniche di piattaforma è avvenuto secondo un meccanismo non omogeneo, portando alla scomposizione della Piattaforma Appenninica in settori distinti separati da lineamenti trasversali, i quali hanno accomodato lo stress principale in diverse maniere.

Nel sottosuolo dell'area in istanza di permesso non si rinvenivano depositi relativi alla Piattaforma Appenninica (Figure 3 e 7).

## 2.2 Bacino Lagonegrese s.l. ed Unità Esterne

Le unità relative al bacino del Lagonegrese si depositarono in un'area depocentrale – rispetto alle adiacenti unità di piattaforma – che rappresentava un bacino Mesozoico conseguente ad un rift Triassico. Queste unità mostrano caratteristiche deposizionali differenti a seconda della loro posizione paleogeografica e in funzione dell'evoluzione temporale del bacino stesso. Esse risultano affioranti in una posizione intermedia, limitata a ovest dai terreni della Piattaforma Appenninica e ad est dai depositi dell'avampaese Apulo-Garganico (Figure 2 e 3).

Le successioni del bacino lagonegrese si estendono dal Triassico all'Eocene, e sono composte prevalentemente da torbiditi carbonatiche, calcari con selce, radiolariti e marne silicizzate. Inoltre, torbiditi silico-clastiche compaiono alla fine del Paleogene. I depositi gravitativi carbonatici risultano attribuibili a sistemi deposizionali alimentati direttamente dalle piattaforme adiacenti, probabilmente durante periodi d'intensa produttività in aree prossime alla scarpata deposizionale, oppure di emersione della piattaforma, oppure ancora di instabilità gravitativa del margine. Le litofacies risultano caratterizzate da calcari selciferi, radiolariti e marne silicizzate corrispondenti ad una normale sedimentazione da *fall-out* avvenuta in ambiente pelagico. L'assenza di materiale carbonatico in questi depositi, o perlomeno la sensibile diminuzione degli stessi, è imputabile a periodi di crisi di produttività carbonatica, con intervalli temporali di anche 10Ma. Complessivamente, il bacino lagonegrese può essere



considerato come un sistema sedimentario simile ai cosiddetti *bahamian seaOays*, cioè del tutto simili ai bacini d'intra-piattaforma (Figura 6).

Nel periodo compreso tra la fine del Paleogene e l'inizio del Neogene, i movimenti compressivi legati alla deformazione appenninica, hanno prodotto un ingente carico litostatico, il quale ha provocato la formazione di un'area bacinale d'Avanfossa ad est del fronte di sovrascorrimento principale (*peripheral buldge*).

In questo settore depresso, durante il Miocene, è avvenuta la deposizione dei cosiddetti "flysch esterni" (Flysch Numidico, Formazione di Serrapalazzo e di Castelvetero).

Successive fasi deformative tardive hanno prodotto tipiche geometrie di *piggy-back*, con bacini di *thrust-top*. In tali aree, caratterizzate da estensione limitata e da notevole differenza da area ad area, si sono depositati sedimenti torbiditici a composizione litica (Flysch di Gorgoglione, Langhiano-Tortoniano).

Durante il Pliocene, un'ultima fase tettonica compressiva ha provocato il sovrascorrimento dei "flysch esterni" e di parte del bacino lagonegrese sui carbonati dell'avampaese della Piattaforma Apula (Figura 7).

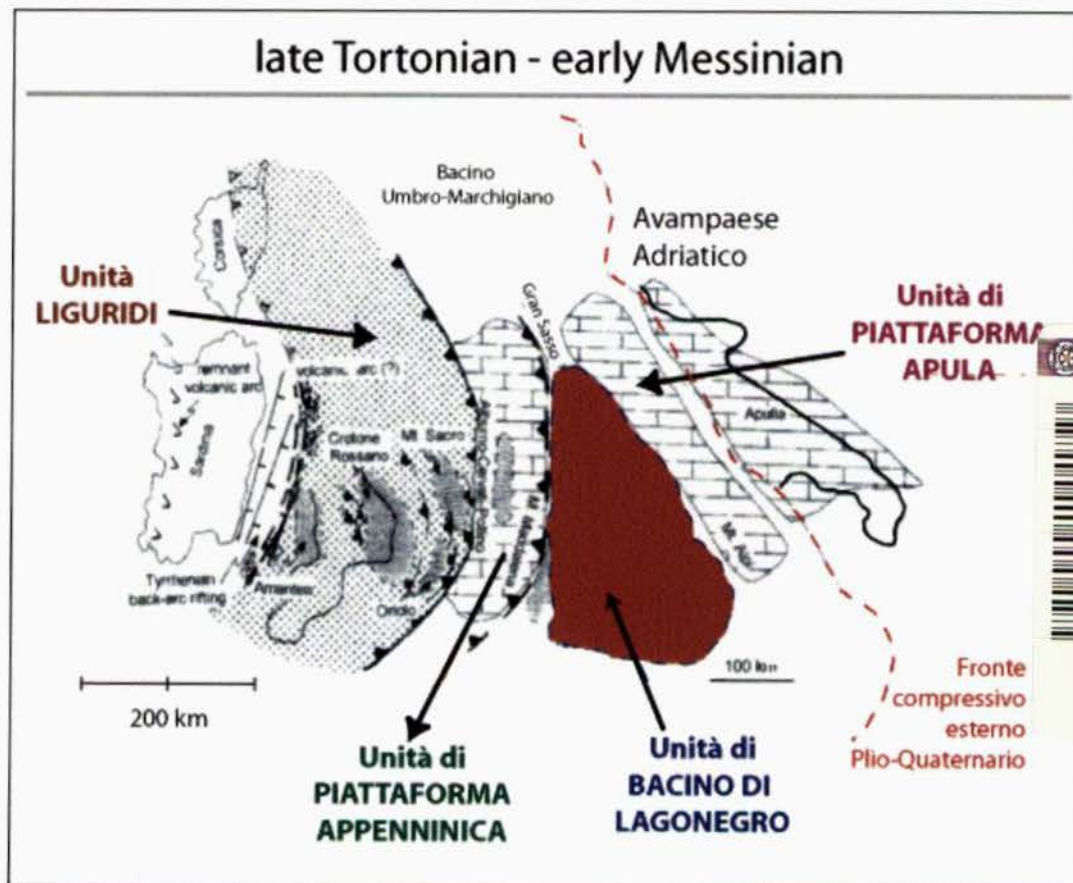


Figura 6 - Paleogeografia regionale dei principali domini dell'Appennino meridionale, riferita all'intervallo Tortoniano-Messiniano (da Parlotto et al. (2004), modificata).

## SCHEMATIC TECTONIC EVOLUTION OF SOUTHERN APENNINES

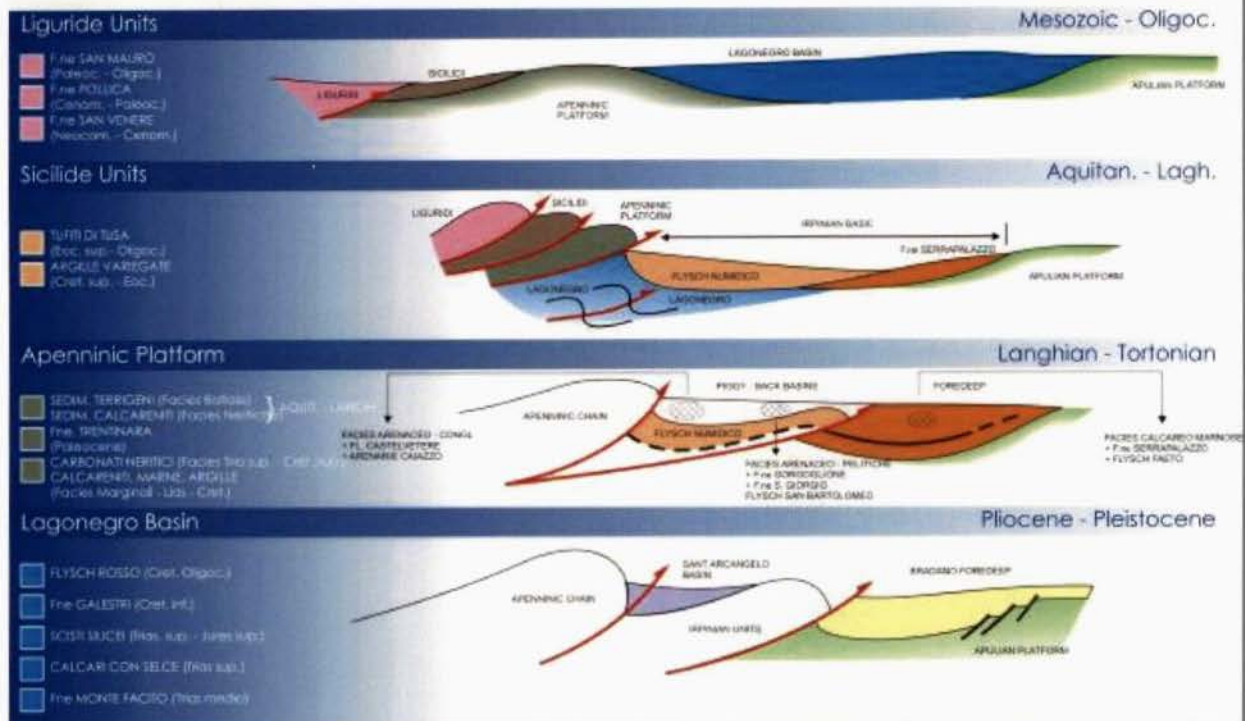


Figura 7 - Evoluzione schematica e unità principali dell'Appennino meridionale, dal mesozoico al Pleistocene.

### 2.3 La Piattaforma Apula

La Piattaforma Apula rappresenta il sistema più orientale dell'iniziale sistema triassico di piattaforme carbonatiche di tipo bahamiano. Inoltre, essa può essere considerata, a scala maggiore, una zona di avampaese intra-orogenico sopra due zone di subduzione, rispettivamente immergenti verso ovest, sotto gli Appennini, ed una verso est sotto il sistema orogenico dinarico.

I depositi di quest'unità mostrano spessori di oltre 6000m di carbonati neritici, tipici di una sedimentazione di piattaforma carbonatica (vedi pozzo Puglia 1, Figura 8). Verso est questi depositi sono interessati solo marginalmente da deformazioni tettoniche, mentre ad occidente risultano coinvolti nelle deformazioni compressive (Figure 3, 4 e 5).

Alcune delle unità appartenenti alla Piattaforma Apula (Formazione di Altamura - Cretacico superiore) affiorano nelle Murge pugliesi (a oriente della zona in istanza) e rappresentano attualmente l'avampaese della catena Appenninica (Figure 2 e 6). I depositi mostrano un assetto strutturale poco deformato, con geometrie monoclinali ben evidenti nei profili sismici (Figure 3 e 4).

Nell'area interessata le unità calcaree della piattaforma Apula si possono ritrovare anche nel sottosuolo da profondità poco elevate, come ad esempio nelle zone a idrocarburi di Tempa Rossa, poche decine di chilometri a Nord della zona in istanza, fino ad affiorare nelle Murge



(Figure 6 e 7). Ad esempio, alcuni pozzi perforati nelle vicinanze della zona in istanza di permesso hanno rinvenuto la piattaforma Apula a profondità di poco superiori a 1000m (pozzi del campo di Accettura nelle confinanti concessioni di coltivazione di Garaguso o di Grottole-Ferrandina).

L'evoluzione stratigrafico-strutturale del dominio Apulo va dal Mesozoico al Miocene e può essere sinteticamente suddiviso in tre fasi (Figura 7).

### **Triassico-Cretacico superiore**

La successione carbonatica della piattaforma Apula, come detto, presenta un considerevole spessore e pertanto la parte basale della stessa è nota solo tramite i dati derivanti dal pozzo Puglia 1 (Figura 8). Dai dati di pozzo, le successioni basali sono costituite da anidriti e dolomie triassiche, su cui poggia la successione giurassico-cretacea. Quest'ultima è costituita da carbonati neritici con una scarsa variabilità di facies sia verticale che orizzontale, probabilmente indice di un tasso di subsidenza relativamente costante e compensato dal tasso di sedimentazione.

Alla sommità di tale successione si osserva la presenza di calcari di scogliera e di scarpata (limite Giurassico-Cretaceo), che registrano un generale approfondimento della piattaforma.

Facies intertidali con tipici livelli dolomitizzati caratterizzano il Cretacico inferiore, anche con episodiche intercalazioni di calcari a Rudiste, che si estendono fino alla parte alta del Cenomaniano. Questi depositi, affioranti nell'area delle Murge, indicano una sedimentazione di piattaforma protetta e periodicamente inondata, con conseguente sviluppo di facies più diversificate, cioè sia di ambiente più ristretto (lagunare), sia più aperto, con associazioni a Rudiste.

La successione cenomaniana è delimitata verso l'alto da un'estesa superficie di discordanza stratigrafica, spesso con i caratteri di una vera e propria discordanza angolare, indicante una netta emersione della piattaforma, probabilmente dovuta ad un basculamento verso SO della piattaforma, con possibile sviluppo di sistemi carsici. La superficie è localmente caratterizzata dalla presenza di depositi residuali (lateriti, bauxiti), che caratterizzano anche l'area del Gargano e della Maiella e altre successioni neritiche dell'Appennino centrale, evidenziando quindi un fenomeno a scala regionale.

### **Cretacico superiore-Paleocene**

La discordanza cenomaniano-turoniana, e la sua corrispondente concordante, costituisce la base per depositi di breccia, principalmente costituiti da frammenti pre-cenomaniani, cenomaniani e probabilmente anche turoniani, associati con la superficie d'erosione. La successione prosegue con depositi riferiti a diversi sub-ambienti, come laminati algali di ambiente tipicamente intertidale o sopratidale o Oackestone a foraminiferi e bioclasti e livelli a Rudiste originatisi in ambienti ossigenati. La frequenza dei depositi biocostruiti a Rudiste





aumenta verso l'alto, a scapito degli intervalli a laminiti algali, indicando un sensibile generale aumento del livello marino sulla piattaforma.

### POZZO PUGLIA 1

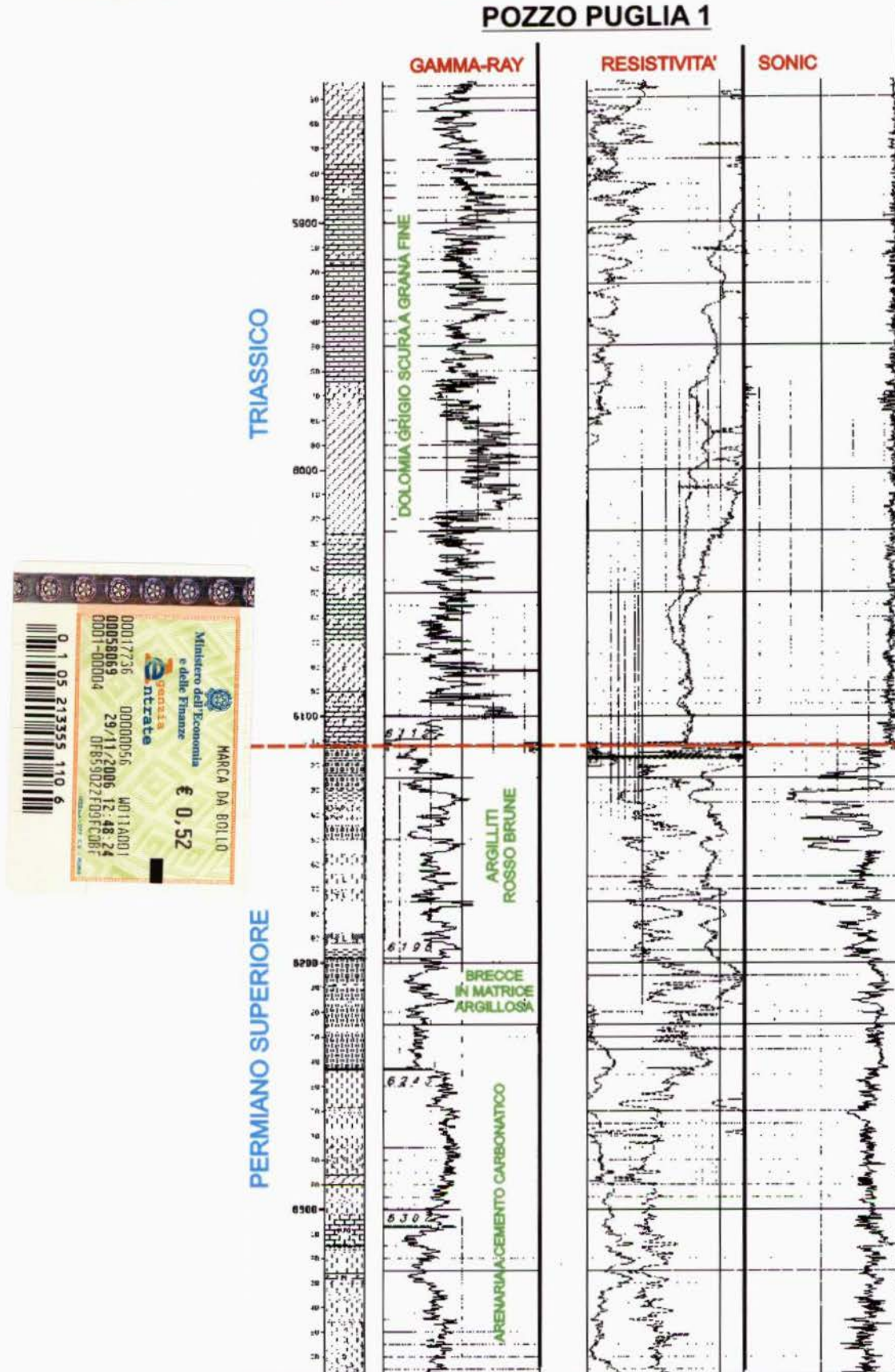


Figura 8 - Sezione illustrante il passaggio Permo-Triassico nel pozzo Puglia 1.



Il tetto di questi depositi, riferiti al Campaniano superiore, è rappresentato da un'altra discordanza stratigrafica da imputare ad una ulteriore inclinazione e sprofondamento di parte della piattaforma. Infatti i sedimenti della piattaforma aperta con scogliera a Rudiste sono seguiti superiormente da facies di scarpata carbonatica, i quali passano verso ovest a depositi pelagici ed emipelagici, di età compresa tra il Campaniano superiore ed il Maastrichtiano. Dati di superficie e di sottosuolo hanno mostrato la transizione da questi depositi campaniano-maastrichtiano a rocce ignee ultrabasiche, sotto forma di dicchi e subvulcani di probabile età eocenica.

### Eocene - Miocene

La successione eocenica è delimitata verso il basso da una nuova superficie di discontinuità stratigrafica, ed è composta da torbiditi carbonatiche su cui progradano sedimenti di piattaforma interna. Al di sopra di questi ultimi depositi, localmente si appoggiano facies trasgressive di piattaforma esterna/margine di piattaforma.

Su questa superficie di trasgressione marina è sviluppata, in particolar modo nel sottosuolo, una successione calcarea pelagica - ricca di fosfati - riferita al Miocene, che rappresenta la *drowning sequence* della piattaforma Apula. Questa sequenza di annegamento della piattaforma Apula è direttamente collegata alla subsidenza dovuta al carico prodotto dall'impilamento lungo il suo margine occidentale, coinvolto nelle deformazioni compressive appenniniche.

## 2.4 L'Avanfossa Bradanica

La formazione della catena appenninica è stata caratterizzata dalla migrazione del fronte compressivo, che ha coinvolto aree progressivamente da ovest verso est, probabilmente a causa di un meccanismo di subduzione di tipo *roll-back*. Questo ha portato alla migrazione del sistema catena-Avanfossa nella stessa direzione, e soprattutto al coinvolgimento delle varie avanfosse in catena.

A differenza delle precedenti avanfosse, quella Bradanica risulta solo leggermente deformata dalla tettonica appenninica e comunque nella sua posizione originaria. In questo senso, l'Avanfossa Bradanica è l'elemento intermedio del sistema Catena-Avanfossa-Avampaese (Figure 1 e 9).

Da un punto di vista deposizionale, l'Avanfossa Bradanica è caratterizzata da depositi torbiditici intercalati a depositi pelitici di età Pliocenica-Pleistocenica (Figure 11 e 13) mentre da un punto di vista strutturale l'Avanfossa presenta una debole deformazione, che ha provocato la formazione di sovrascorrimenti superficiali, coinvolgenti i sedimenti più antichi depositi al suo interno.

Le strutture più caratteristiche sono rappresentate da anticlinali più o meno complesse legate a sovrascorrimenti a medio-basso angolo e da faglie inverse (probabilmente invertite) al livello dei depositi della piattaforma Apula (pre-Pliocene, vedi Figure 6 e 10).





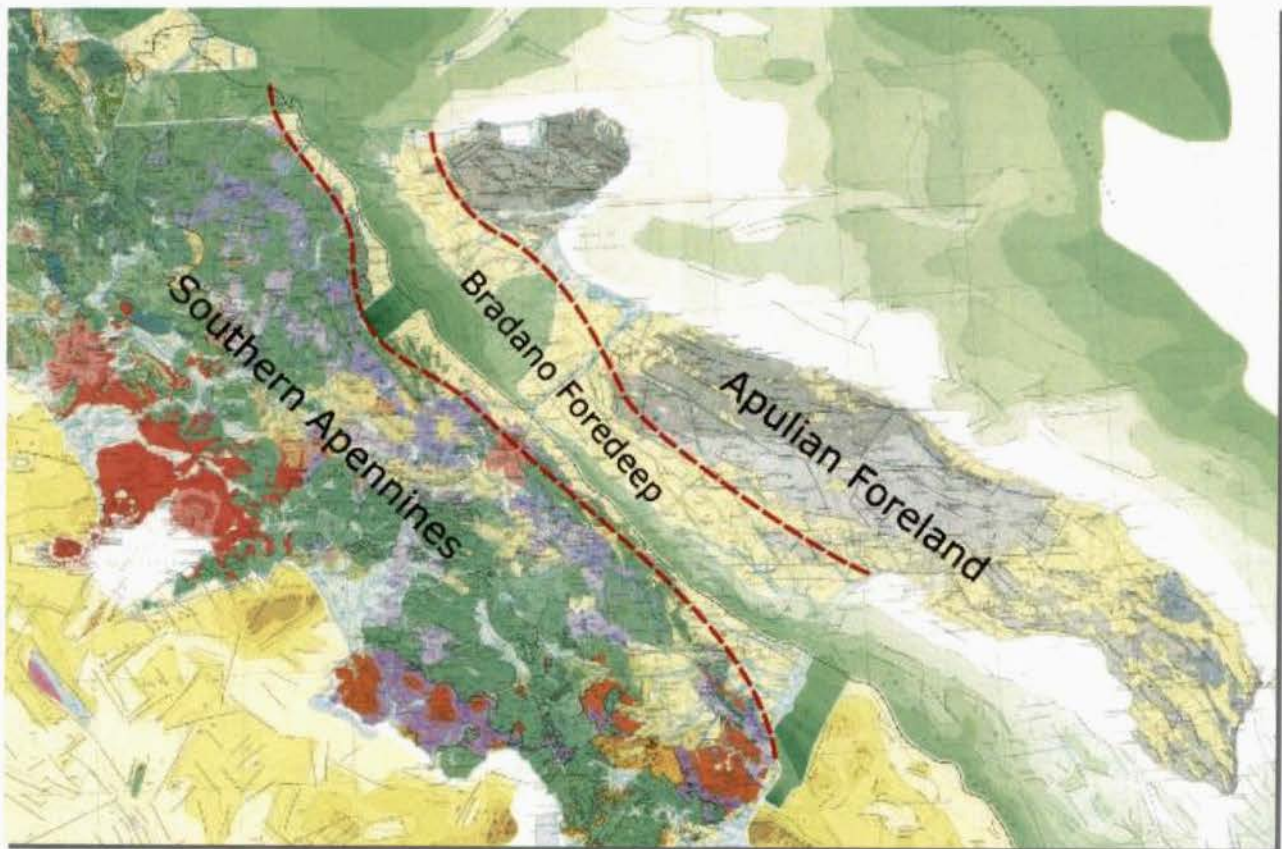


Figura 9 - Carta geologica dell'Italia meridionale, con i principali domini geologici e strutturali.

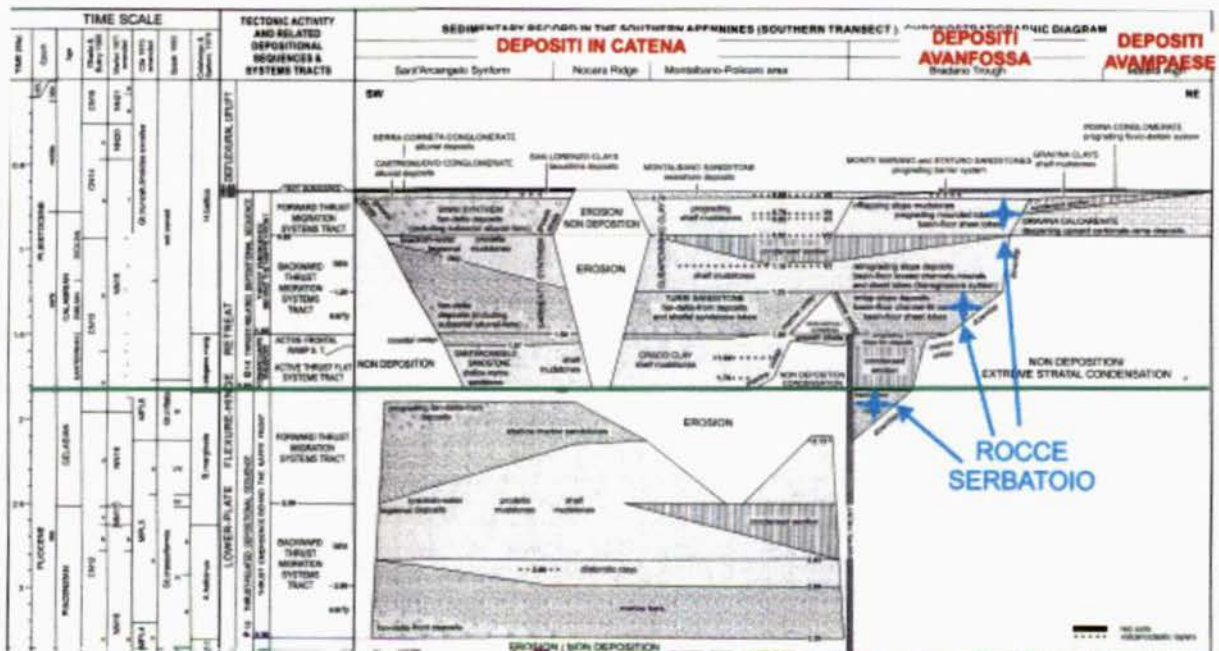


Figura 10 - Stratigrafia di dettaglio attraverso la catena Appenninica dal Pliocene al Pleistocene (Parloto et al. 2004).





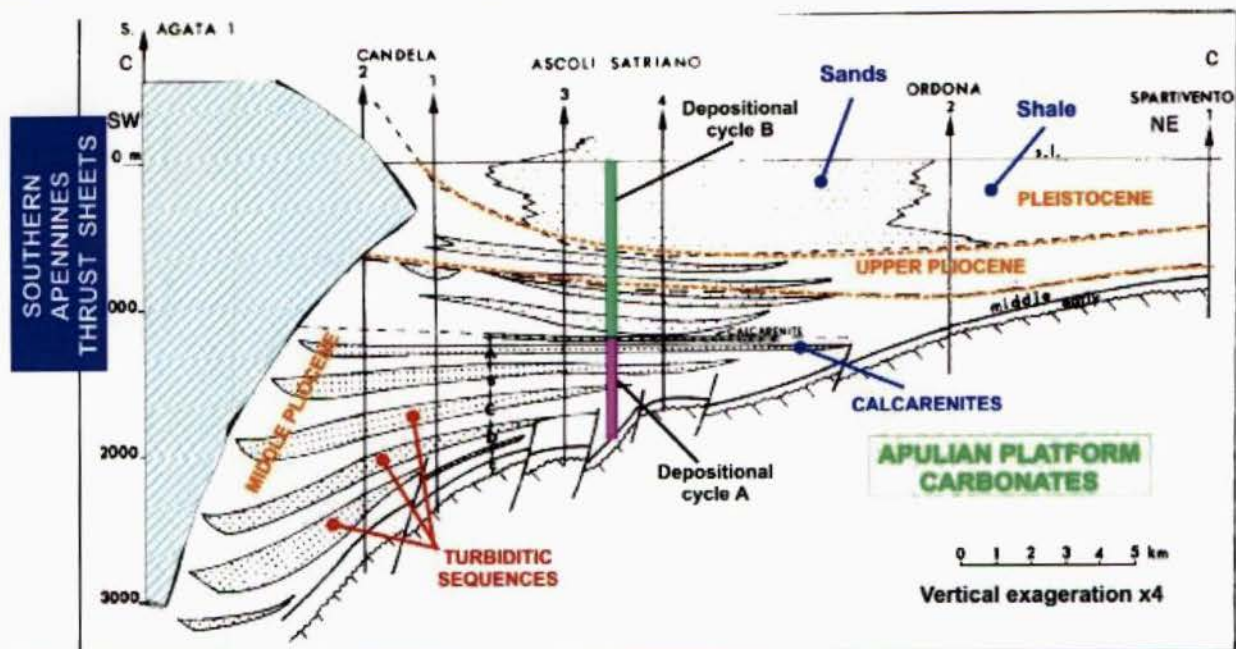


Figura 11 - Sezione NE-SO schematica con la distribuzione spaziale dei principali corpi sabbiosi turbiditici Plio-Pleistocenici. Da Casnedi (1998), modificato.

## 2.5 Evoluzione strutturale

La storia geologica del sistema catena-Avanfossa-avampaese dell'Appennino Meridionale s'inquadra classicamente all'interno di un cosiddetto ciclo tettonico completo, inerente lo sviluppo geodinamico della Tetide sud occidentale e del margine settentrionale della placca africana.

Lo stadio iniziale di tale ciclo è dominato da una tettonica distensiva, collegata all'apertura della Tetide. Questa tettonica, responsabile dello sviluppo di numerosi sistemi di *rift*, è legata anche al successivo sviluppo del margine passivo persistito dall'inizio del Triassico fino al Cretaceo inferiore. Successivamente, il regime tettonico subisce un'inversione, che porta alla convergenza dei margini, con conseguente chiusura delle aree a crosta oceanica e continentale interposte. Tale processo compressivo si estende variabilmente nel corso del Cenozoico, portando all'impilamento della catena Appenninica.

### Triassico-Giurassico

L'apertura della Tetide meridionale, tramite processi di *rifting*, ha portato allo sviluppo di aree in distensione e di ambienti di sedimentazioni tipici di margini continentali, quale piattaforme e sistemi pelagici ad esse connesse.

Durante il Giurassico si ha un aumento della subsidenza che è testimoniato dall'abbondanza di sedimenti pelagici profondi e da alti strutturali a sedimentazione pelagica condensata che caratterizza tutte le unità stratigrafico-strutturali appenniniche.

Le aree in distensione sono interessate da classiche faglie a domino o listriche che saranno poi riattivate, interamente o parzialmente, durante le fasi di tettonica compressiva d'età appenninica. Infine, è utile ricordare che la paleogeografia sviluppatasi durante questo periodo,



ma più in generale durante tutto il Mesozoico, ha avuto un importante controllo sullo sviluppo delle successive fasi di deformazione.

### Cretaceo-Paleogene

Gli elevati tassi di subsidenza delle fasi iniziale di *rifting* e *drifting* subiscono una cospicua diminuzione, a testimonianza del sopravvento della fase di convergenza, che porta poi alla chiusura della Tetide.

Durante il Paleogene avviene la completa chiusura del paleo-oceano Tetideo tramite l'accavallamento delle coltri dei domini più interni su quelle dei domini esterni, con una vergenza regionale verso est. In questo periodo sono state rinvenute importanti discontinuità nella sedimentazione, estese a tutte le unità, che possono essere correlate con le diverse fasi tettoniche, e almeno in parte attribuibili a fenomeni puramente compressivi. La distribuzione dei sedimenti paleocenici ed eocenici (sin-tettonici), è fortemente caratterizzata da una certa irregolarità, la quale bene evidenzia un'evoluzione geologico-deposizionale sempre meno generale e più legata alla singola zona: le aree di sedimentazione infatti sono collegate direttamente alla tettonica locale che le ha generate.

### Neogene

La migrazione del complesso catena-Avanfossa raggiunge il sistema piattaforma appenninica-bacino lagonegrese-piattaforma Apula a partire dalla fine del Paleogene, probabilmente nell'Oligocene (Figura 6).

L'originale sistema viene deformato in ciò che diverrà il sistema catena appenninica-Avanfossa -avampaese Apulo. Tale processo corrisponde, dal punto di vista sedimentario, alla mancata presenza dei depositi d'età oligocenica al di sopra delle successioni sedimentarie di piattaforma. Tali evidenze emersive testimoniano l'intensa instabilità del substrato durante questo periodo e si aggiungono a quella rappresentata dal sovrascorrimento della piattaforma appenninica sul margine più occidentale del bacino di Lagonegro.

Durante il Miocene (Langhiano) il fronte compressivo raggiunge anche il margine più orientale dell'area precedentemente occupata dal bacino di Lagonegro. In tale regione si sviluppano sovrascorrimenti caratterizzati da geometrie di *ramp-flat-ramp*, che causano la formazione di bacini satellite alle spalle del fronte di sovrascorrimenti, sopra le falde sovrascorse. La sedimentazione è prevalentemente torbido-terrigena con apporto dei sedimenti principalmente dalle aree più orientali - più rilevate - prossime al fronte di deformazione.

Il dominio Apulo, più orientale, durante questo intervallo, si trova ancora in una situazione di stress di tipo generalmente distensivo, spesso associato ad un fenomeno di *peripheral buldge* - e quindi di innalzamento - causato dal carico litostatico prodotto durante la formazione della catena nelle aree adiacenti l'avampaese.

Tale regime distensivo, che riutilizza le vecchie faglie normali d'età mesozoica, cessa nel momento in cui il fronte compressivo raggiunge anche il margine esterno della piattaforma





Apula, nel Pliocene superiore-Pleistocene. Più in dettaglio, durante tale periodo si registra il massimo tasso di trasporto delle unità alloctone che ha provocato il sovrascorrimento di buona parte del bacino di Lagonegro sull'Avanfossa e quindi il coinvolgimento delle unità più esterne, sviluppatesi ad est del fronte dei sovrascorrimenti nel Pliocene inferiore.

Durante questa fase dell'orogenesi appenninica si realizza anche l'emersione di buona parte dell'Appennino Calabro-Lucano, un'area in cui i fenomeni di *uplift* hanno mostrato i maggiori tassi di sollevamento.

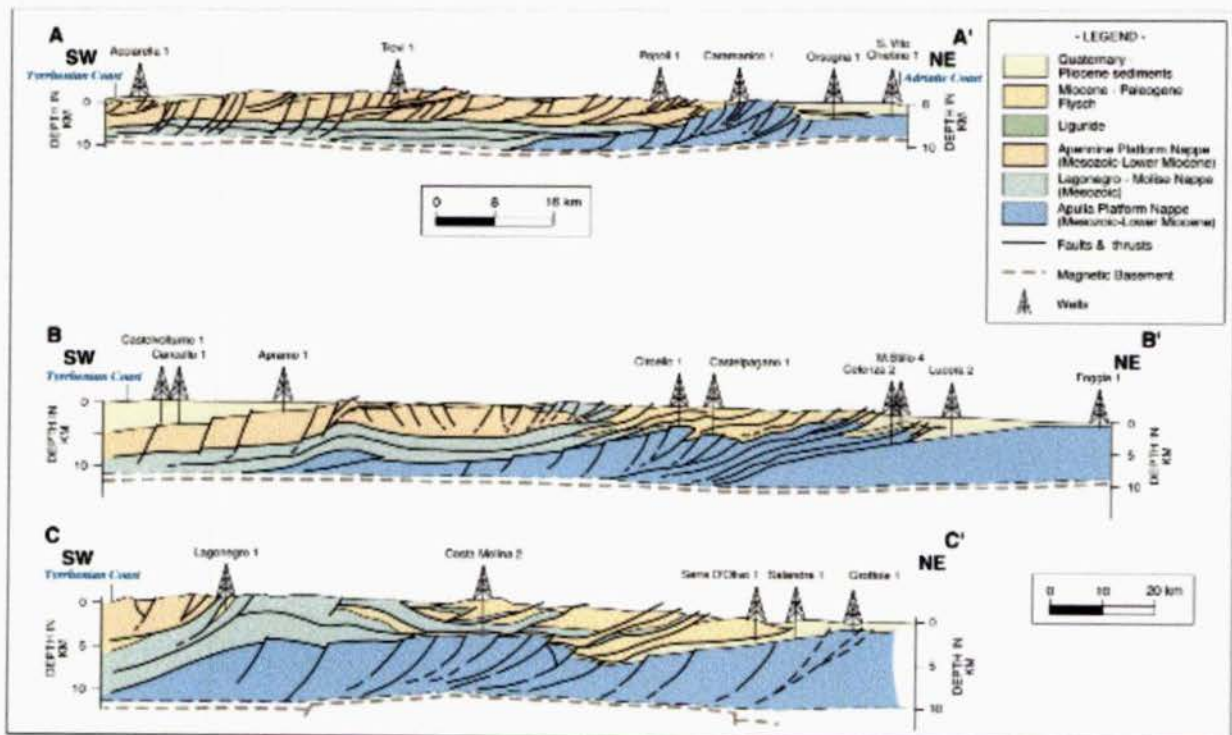


Figura 12 - Profili geologici a scala regionale dell'Appennino meridionale. Da Mostardini et al. (1988), modificato.





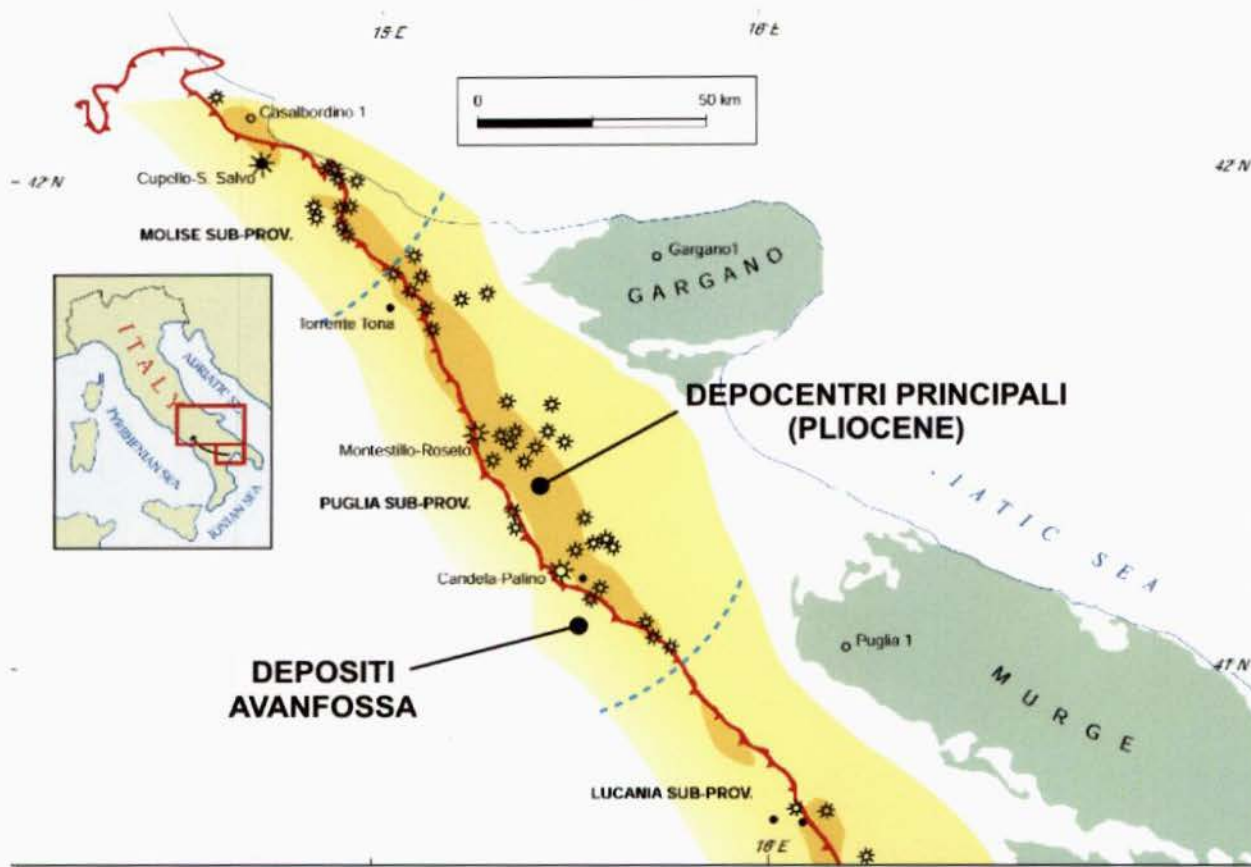


Figura 13 - Distribuzione dei sedimenti di Avanfossa Plio-Pleistocenici. Da IHS.

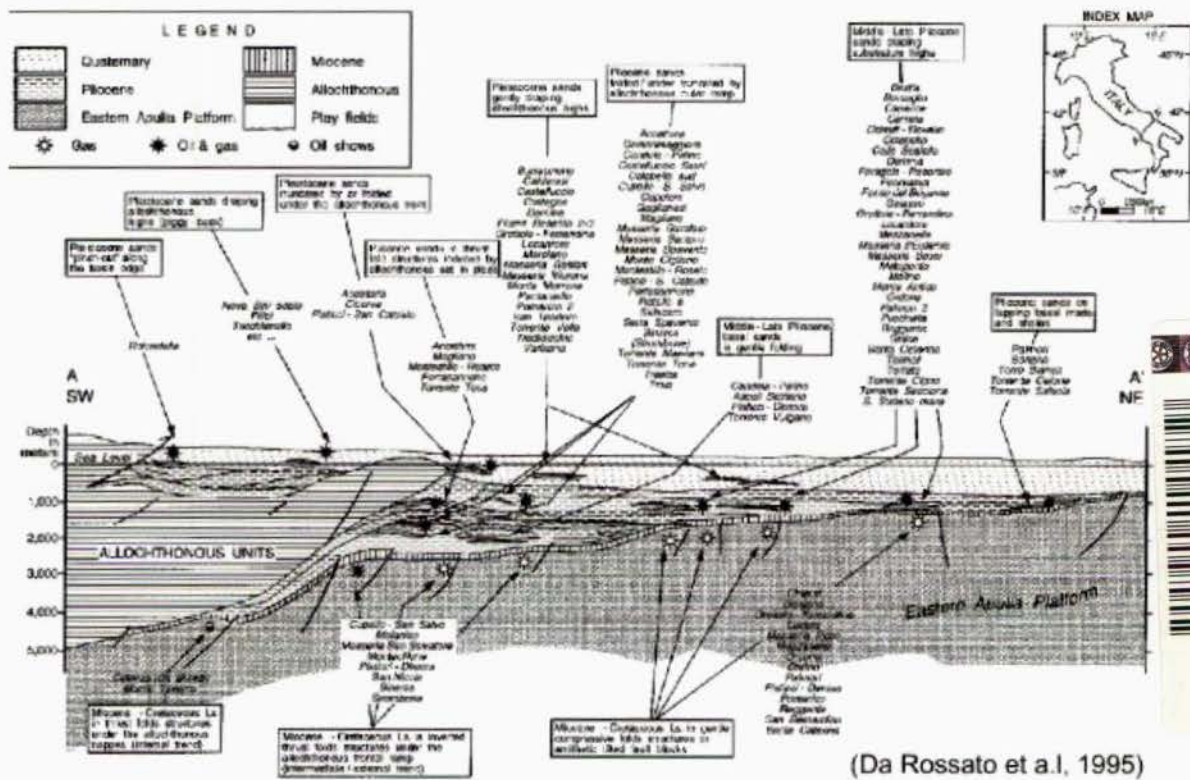


Figura 14 - Schematizzazione dei principali tipi di obiettivi dell'Avanfossa Bradanica e relative scoperte.



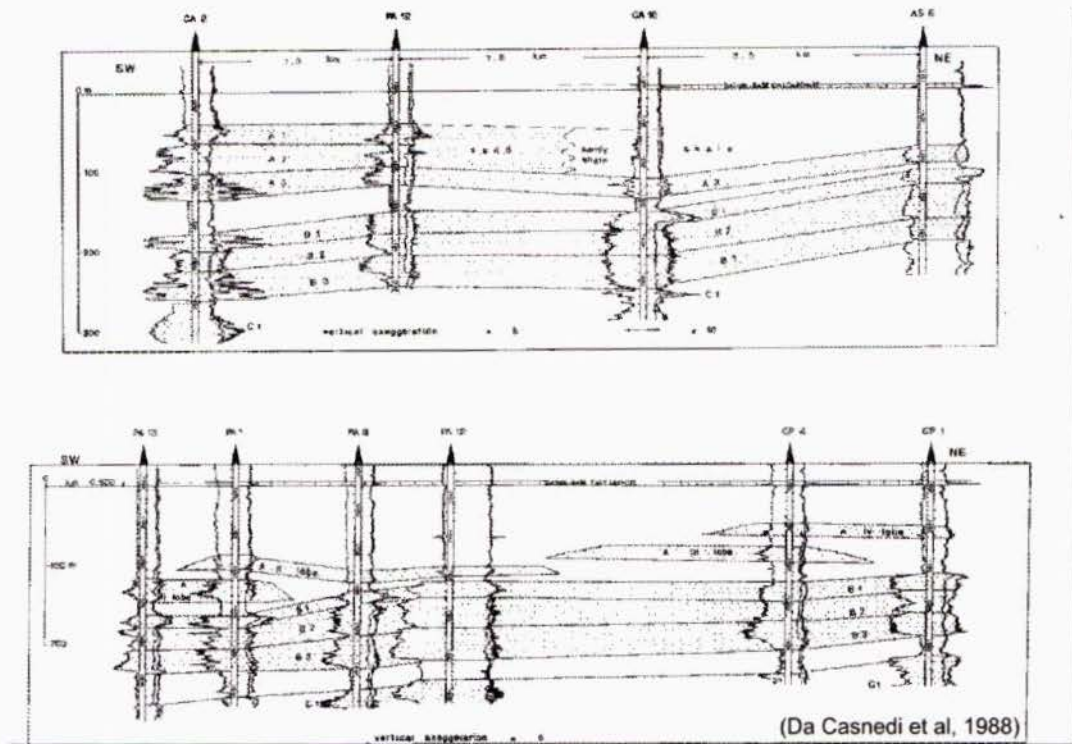


Figura 15 – Esempio di correlabilità su lunghe e brevi distanze tra alcuni pozzi dell'area in considerazione.





### 3. TEMI DI RICERCA NELL'AREA IN ISTANZA

La strutturazione tettonica e la geologia dell'Avanfossa Bradanica, brevemente descritta in questa relazione, ma ampiamente studiata e conosciuta dalla scrivente, presentano notevole interesse dal punto di vista geominerario. Più in dettaglio, l'area in istanza di permesso di ricerca presenta tutte le caratteristiche per poter essere di notevole interesse viste le precedenti scoperte avvenute nelle aree limitrofe e la presenza di un sistema petrolifero completo. Quest'ultimo, costituito dal sistema roccia madre-roccia serbatoio e trappola così come evidenziato dal modello geologico costruito da Celtique.

I principali obiettivi esplorativi nell'area in istanza di Permesso e nelle zone limitrofe sono rappresentati da:

- gli idrocarburi gassosi e liquidi nei livelli porosi e fratturati dei carbonati della piattaforma Apula, in sedimenti mesozoici principalmente in trappole strutturali;
- gli idrocarburi gassosi rinvenuti all'interno dei livelli sabbiosi torbiditici del Pliocene-Pleistocene depositatisi nell'Avanfossa Bradanica in trappole strutturali, stratigrafiche e miste (Figura 7).

#### 3.1 Roccia serbatoio

Nell'area in istanza possono essere presenti due principali tipi di sedimenti con buone caratteristiche di giacimento:

- sedimenti carbonatici Meso-Cenozoici della Piattaforma Apula e del suo margine;
- sedimenti clastici associati ai depositi torbiditici plio-pleistocenici.

##### 3.1.1 Reservoir in depositi carbonatici

La roccia serbatoio all'interno dei calcari della piattaforma Apula è rappresentata dai livelli a più elevata porosità primaria o secondaria associati a calcari, calcari dolomitici e dolomie di età comprese tra il Cenomaniano ed il Miocene Medio.

La porosità dei calcari della Piattaforma Apula lungo la sua intera colonna stratigrafica è di tipo vacuolare, intercristallina, intergranulare, intragranulare, per macro e microfratture, per *channel porosity* e per stiloliti riaperte. In generale la porosità media di questi carbonati è inferiore a 5%, ma la presenza di un sistema di fratturazione pervasivo, sviluppatosi soprattutto durante il Miocene e il Pliocene può aumentare considerevolmente sia la porosità che la permeabilità e quindi le caratteristiche produttive di questi carbonati. I vari tipi di *reservoir* della successione Apula possono essere sintetizzati come segue:

- calcari pelagici caratterizzati da porosità secondaria e di fratturazione, d'età miocenica medio-inferiore (Figura 16); chiaramente l'efficienza del meccanismo di messa in posto di questi sedimenti. Com'è noto, il meccanismo di sedimentazione è legato al bilancio tra *input* sedimentari e loro successiva distribuzione; quest'ultima a sua volta è collegata alle correnti deposizionali, e all'orientazione dell'asse di Avanfossa (NO-SE) e dai punti





sorgente. Pertanto, la continuità dei livelli sabbiosi è molto variabile, e conseguentemente la loro correlabilità è ben riconosciuta soltanto in alcuni casi (Figura 15);

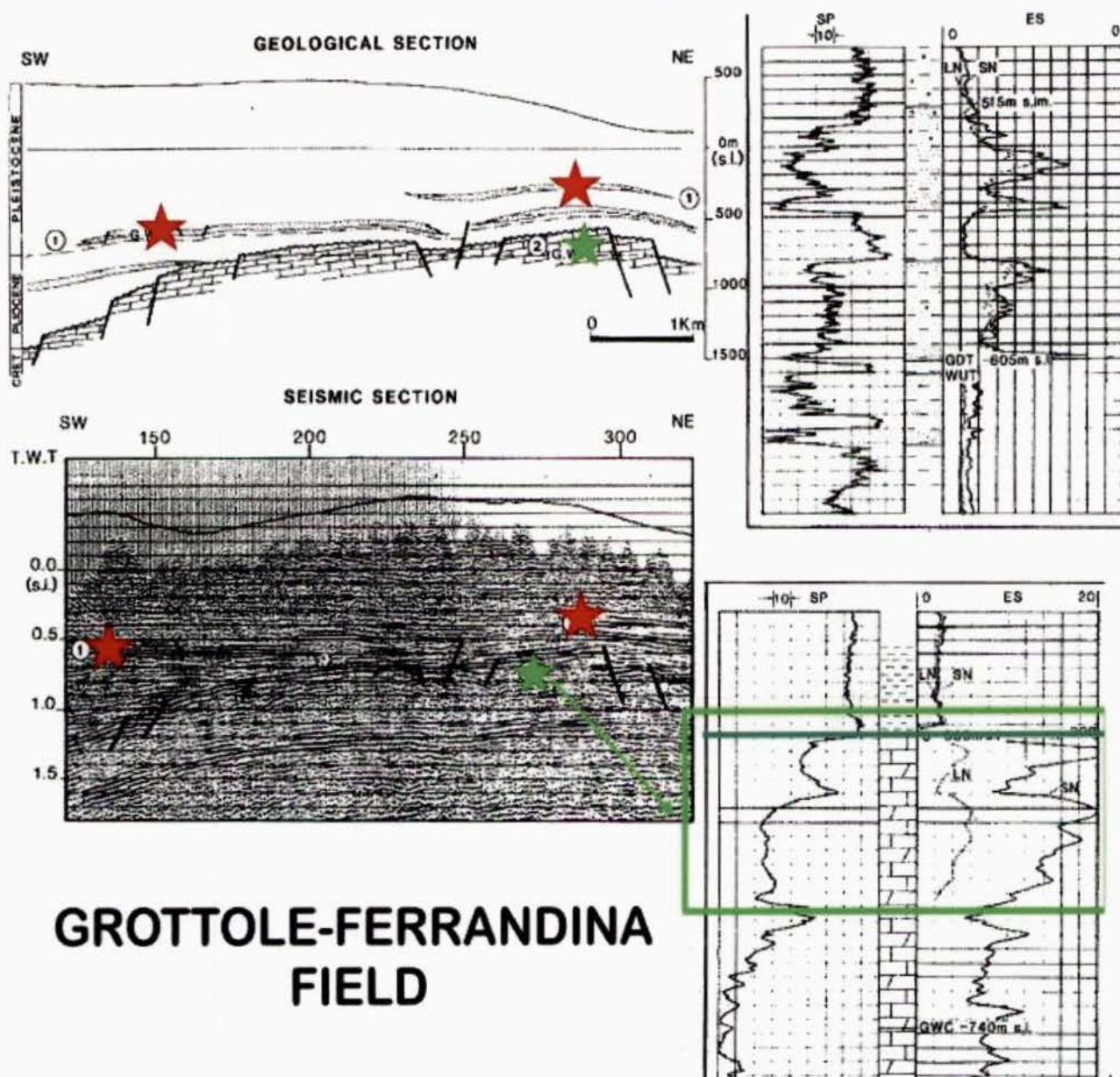


Figura 16 - Differenti reservoir associati ai depositi carbonatici e a quelli silicoclastici e a trappole diverse. Campo a idrocarburi di Grottole-Ferrandina. Da Sella et al. (1988), modificato.





- depositi di piattaforma carbonatica interna, anch'essi fratturati e discretamente porosi, risedimentati in un ambiente di piattaforma esterna o di scarpata durante l'Eocene;
- sedimenti neritici del Cretacico Superiore, depostisi in un ambiente compreso tra la zona sopratidale e una zona di laguna aperta e caratterizzati dalla presenza di livelli a Rudiste (Figura 12) con elevata porosità vacuolare e da quelli di brecce dolomitiche ugualmente porose;
- calcari di piattaforma del Cretacico inferiore e Giurassico che possono presentare una diffusa dolomitizzazione, con porosità inter ed intra-cristallina.

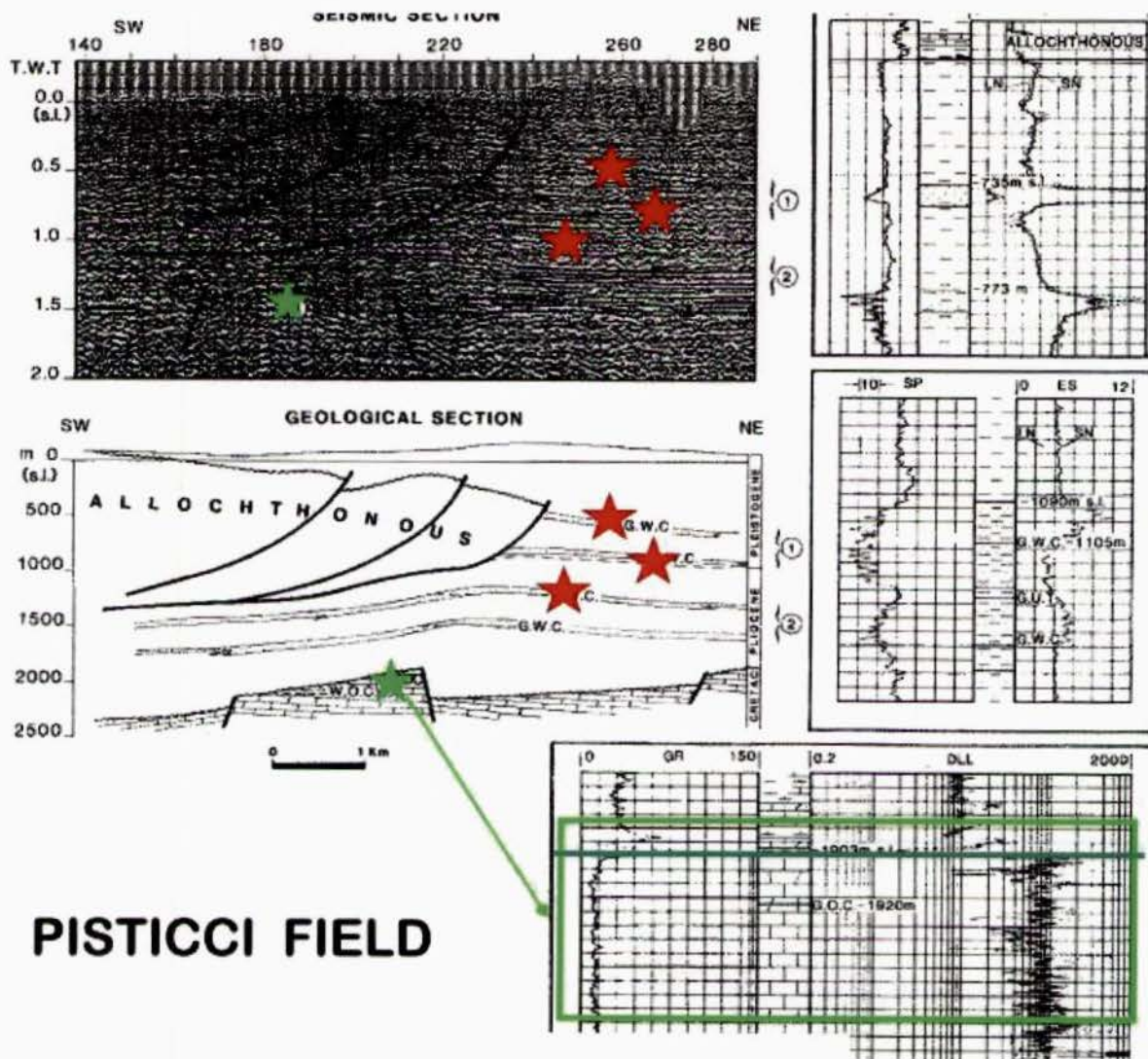


Figura 17 - Differenti reservoir associati ai depositi carbonatici e a quelli silicoclastici e a trappole diverse. Campo a idrocarburi di Pisticci. Da Sella et al. (1988), modificato.





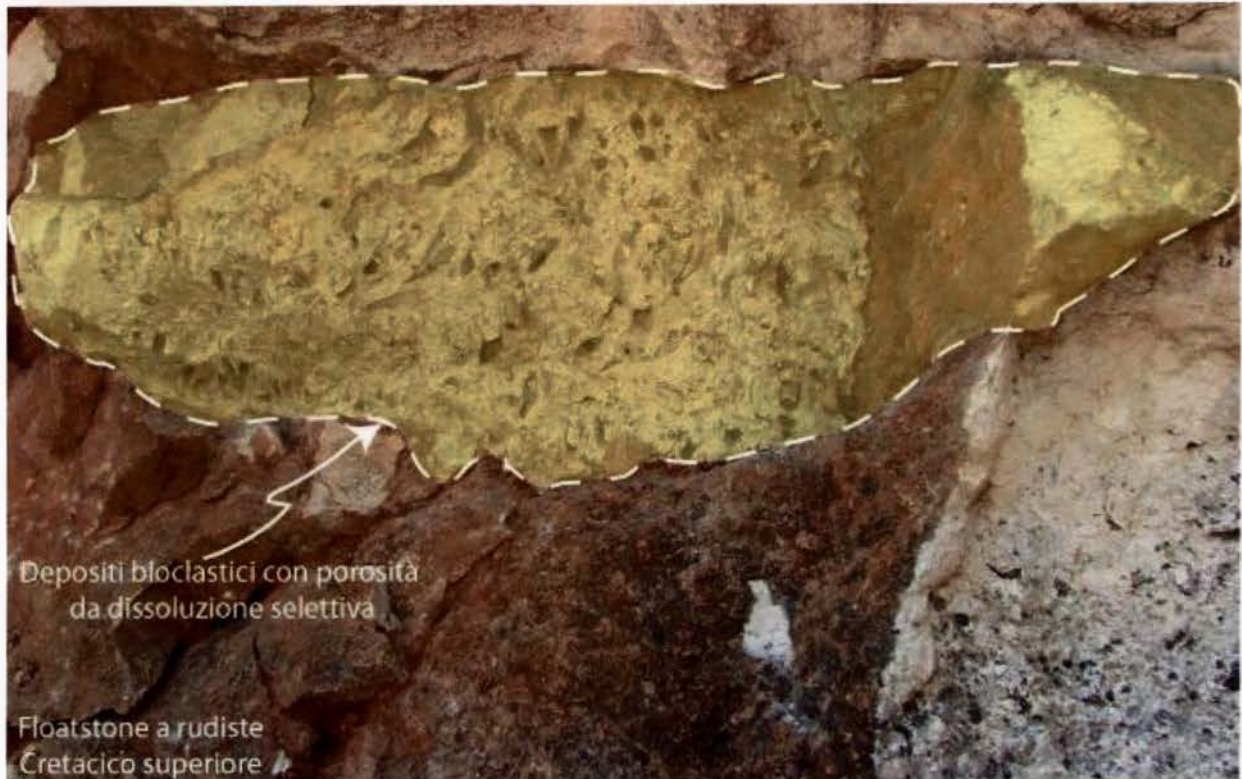


Figura 18- In alto: Porosità vacuolare associata a dissoluzione selettiva dei gusci di Rudiste nei calcari del Cretaceo superiore. In basso: stile di deformazione fragile, con fratturazione verticale dei calcari.

Piattaforma Apula, Murge.







Figura 19 - Fagliazione nei calcari della piattaforma Apula.

### 3.1.2 Reservoir in depositi silicoclastici

La roccia serbatoio è rappresentata dalle bancate arenacee nei livelli Plio-Pleistocenici dei depositi torbiditici accumulati nell'Avanfossa, con spessori variabili tra qualche metro e qualche decina di metri (Figura 5, 13 e 14). La differenziazione degli spessori riflette la distribuzione sedimentaria, quindi, risulta essere poco definibile in generale, con ampia variabilità laterale di facies legata ai normali meccanismi di messa in posto delle correnti di torbida e degli altri fenomeni di flusso. A questa variabilità sia verticale che laterale, corrisponde quella delle proprietà petrofisiche. Pertanto, la porosità media dei livelli sabbiosi risulta compresa entro il 25-30% nelle sabbie pulite (ad esempio nei campi di Locantore-Ferrandina e Reggente-Mezzanelle) e 10-15% nei livelli sabbioso-argillosi dei campi di Candela e Torrente Tona.

### 3.2 Roccia di Copertura

La copertura relativa ai depositi carbonatici della piattaforma Apula è costituita dai corpi sedimentari Pliocenici di composizione silicoclastica, e anche dai livelli gessiferi del Messiniano. Questi depositi di Avanfossa ricoprono completamente il tetto della piattaforma.

Come detto, i livelli superiori pliocenici sono costituiti da corpi torbiditici caratterizzati da corpi pelitici molto estesi e spessi. Proprio la continuità dei livelli argillosi, e anche le variazioni laterali di facies, assicurano una buona sigillazione. Anche le superfici di discontinuità strutturale costituiscono una buona copertura.





### 3.3 Roccia madre

L'esplorazione petrolifera condotta nell'Avanfossa Bradanica ha messo in evidenza la presenza di due tipologie ben diverse di idrocarburi. In particolare, idrocarburi liquidi nei carbonati mesozoici e gas biogenico nei depositi torbidity plio-pleistocenici. La roccia madre e le caratteristiche di questi idrocarburi sono considerevolmente diversi.

La roccia madre relativa agli idrocarburi liquidi nei carbonati della piattaforma Apula è rappresentata dai livelli argillosi-selciferi dell'Albiano-Cenomaniano ricchi in materia organica, compresi nella successione del Bacino di Lagonegro e dalle marne e argille relativi a piccoli bacini intra-piattaforma, come testimoniato anche dalle scoperte dei campi della Val d'Agri e di Tempa Rossa.

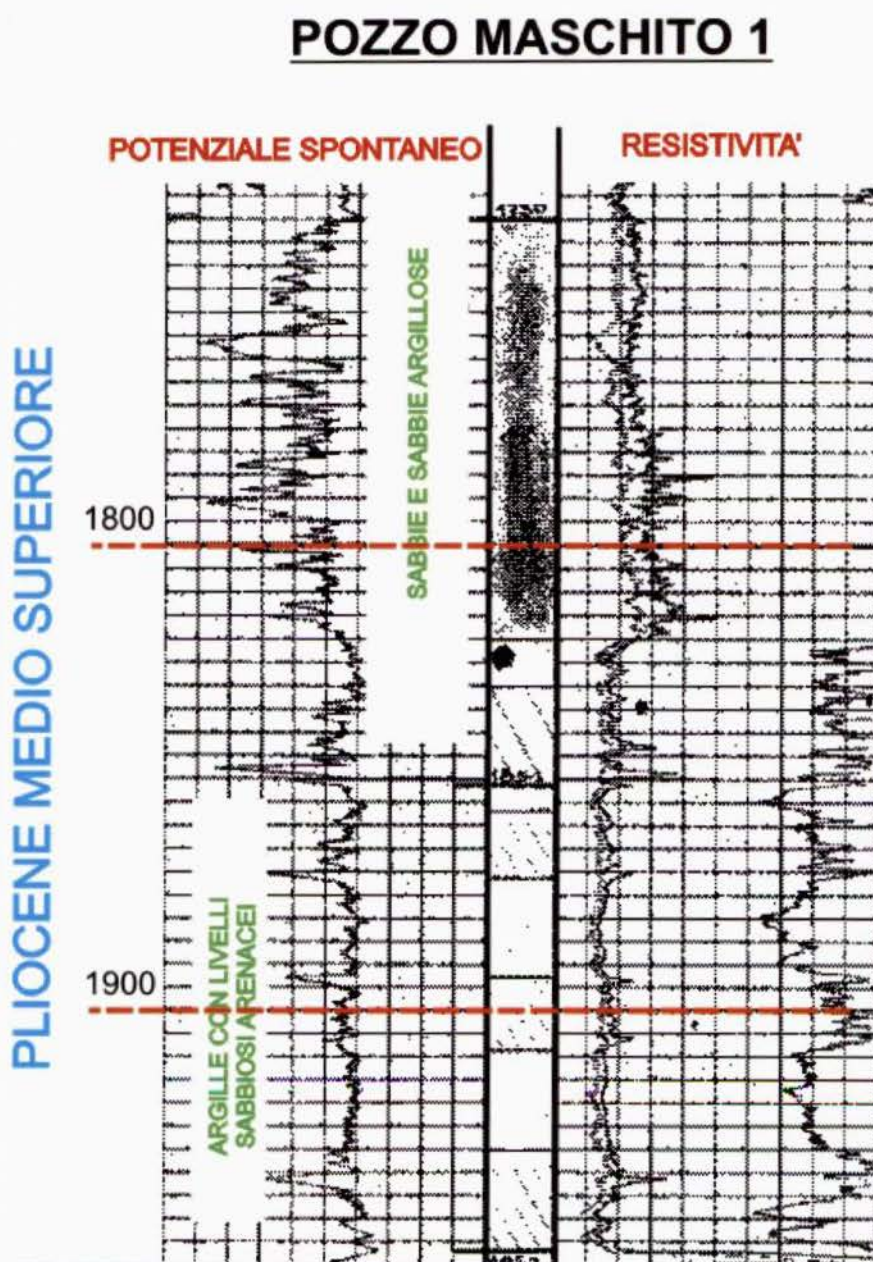


Figura 20 - Sezione attraverso il Pliocene Medio-Superiore nel pozzo Maschito 1. Si noti la distribuzione dei livelli torbidity sabbiosi.



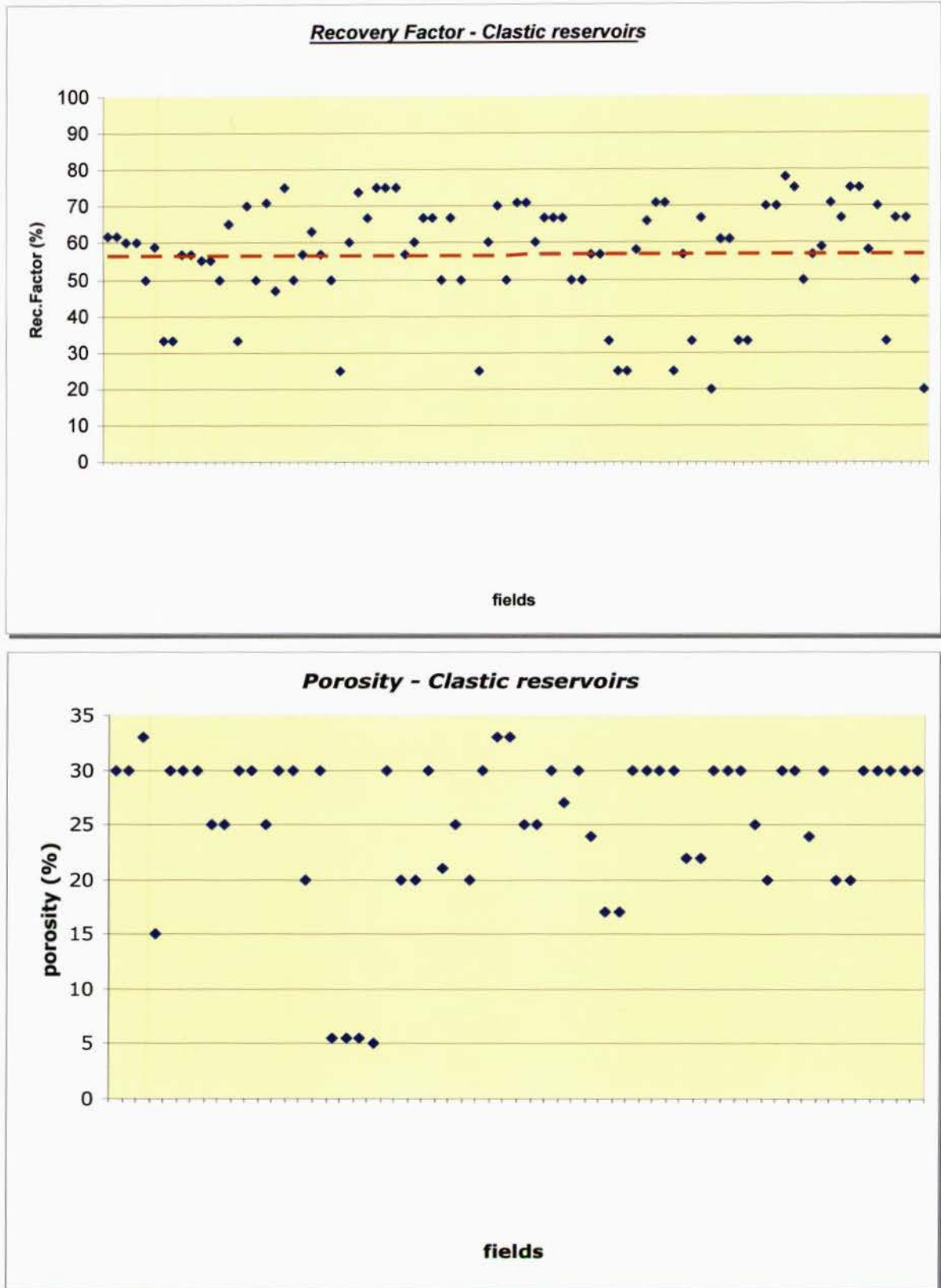


Figura 21 - Porosità e fattore di recupero relativi a 60 campi petroliferi localizzati nell'Avanfossa Bradanica.



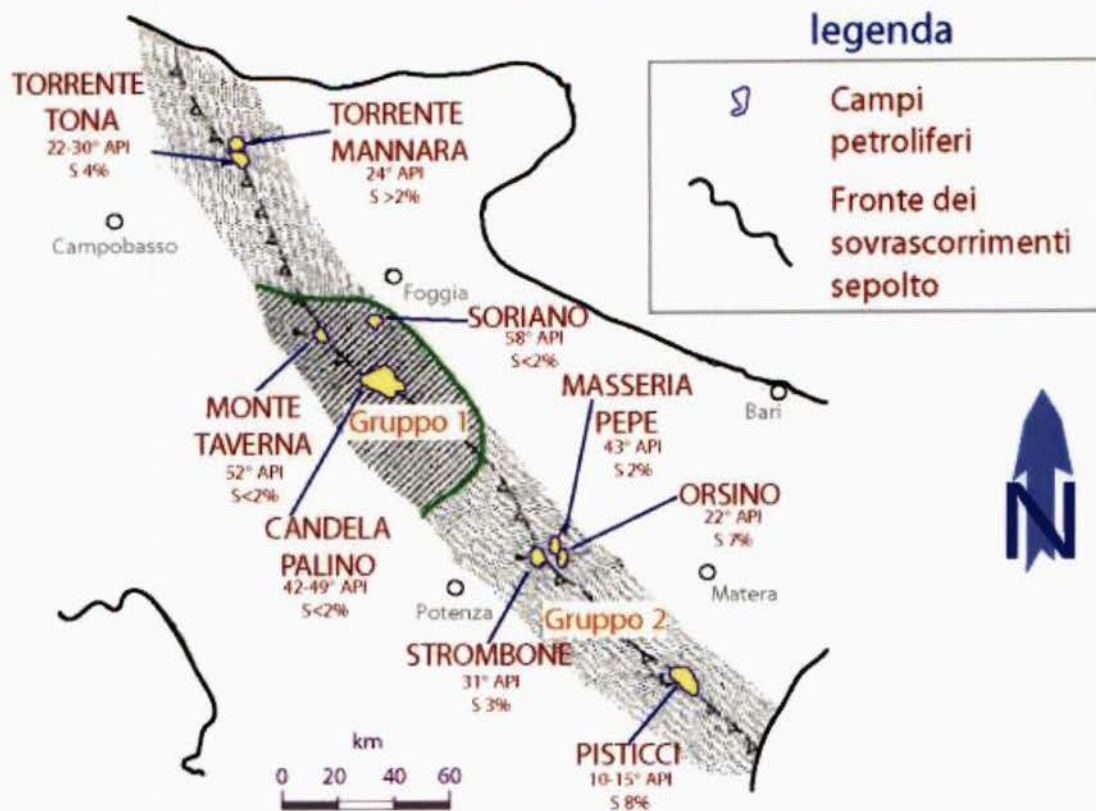


Figura 22 - Distribuzione dei differenti tipi di oli in Italia meridionale. Da Sella et al. (1988), modificato.

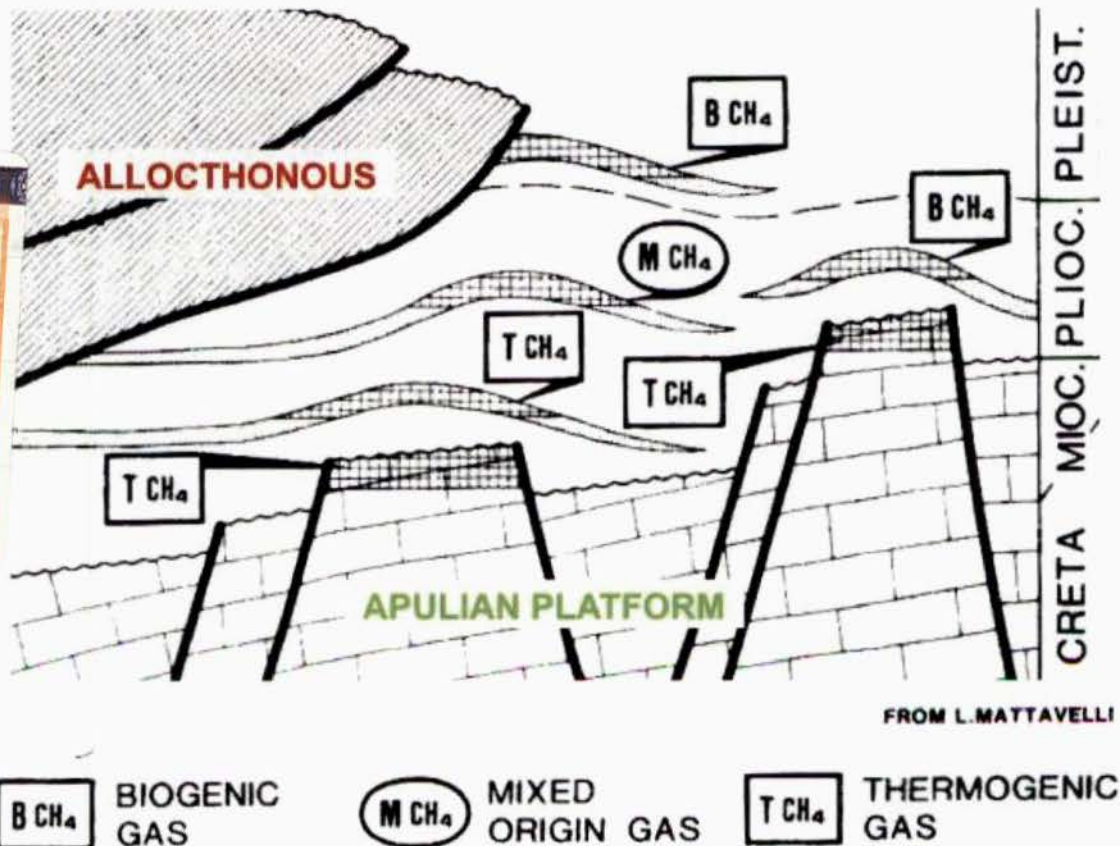


Figura 23 - Tipi di idrocarburi nei depositi Mesozoici e Plio-Pleistocenici (Sella et al. 1988).



I principali idrocarburi liquidi possono essere distinti sulla base delle analisi isotopiche, gas-cromatografiche, dai parametri fisici e dai biomarker (vedi Figura 15): i) Oli maturi, caratterizzati da materia organica di tipo continentale, depostasi in ambiente ossigenato e ampio entro rocce di tipo argilloso; ii) Olii immaturi o parzialmente maturi, provenienti da una roccia madre marina, depostisi in un ambiente deposizionale carbonatico, con apporti continentali.

La distribuzione della materia organica risulta essere eterogenea, con valori di TOC molto variabili tra lo 0,1 e 3,2% nelle dolomie, ma anche più del 45% in argille. Il kerogene è immaturo ( $R_o$  pari a 0,4%), di origine prevalentemente marina e con valori HI elevati

(600-800 mg HC/g TOC). Il potenziale medio è uguale a 2kg HC/t, ma può arrivare anche a valori di 200kg HC/t nelle litologie argillose; le densità mostrano oli con 30-45° API fino a 3° API, con la prevalenza di gradi medi (15-20° API).

Gli idrocarburi contenuti all'interno dei depositi silicoclastici torbiditici sono rappresentati principalmente dal gas di origine biogenica (79%), mentre la restante parte è di origine termogenica (Figura 23). Nell'area sono presenti tutte le condizioni per la formazione di questo tipo di gas: adeguati contenuti di materia organica nei sedimenti più argillosi (da tracce di TOC fino a 1.0%; composizione terrigena del kerosene: >80%), elevata velocità di sedimentazione e subsidenza, regime termico freddo (<60°C). Queste condizioni consentono la permanenza delle comunità batteriche e consentono alla materia organica di non subire significative degradazioni.

In sostanza, la roccia madre è rappresentata dai livelli più argillosi di origine profonda intercalati a livelli sabbiosi. Conseguentemente, la relativa vicinanza comporta una breve migrazione. Il gas è composto principalmente da metano con minori tracce di altri gas, con abbondante presenza di zolfo.

Il gas di origine termogenica (6%) degli idrocarburi totali del bacino, può essere considerato come il prodotto di *cracking* della materia organica.

Le densità relative agli idrocarburi liquidi dell'Avanfossa Bradanica mostrano valori molto variabili. Sono rinvenuti oli molto densi (3°API, nel pozzo Galgano), oli molto fluidi (35-40°) e anche gasolina. Questa distribuzione è certamente legata alla generazione recente degli oli ed al meccanismo di migrazione. In alcuni casi, come quello del campo di Pisticci, i particolari valori di densità (10-15° API) sono causati da biodegradazione. La presenza di zolfo, rinvenuta in alcuni casi, viene associata ad un ambiente deposizionale riducente.

### 3.4 Trappole

L'area in istanza di permesso è compresa in una zona all'interno della quale sono già state caratterizzate le principali strutture-trappole, le quali si possono distinguere a seconda della serie che coinvolgono.





Le differenti strutture sono chiaramente associate all'età e al tipo di reservoir. Infatti, i reservoir carbonatici sono caratterizzati da trappole strutturali, mentre quelli pliocenici sono normalmente associati a trappole strutturali e miste.

### **Trappole in substrato pre-pliocenico.**

Nei campi scoperti con giacimenti nel substrato pre-pliocenico, gli idrocarburi si trovano in trappole di tipo strutturale, di solito costituite da blocchi fagliati dall'estensione che caratterizza le aree di avampaese, ovvero strutture legate al regime compressivo dell'Avanfossa (Figura 20). Le trappole risultano quindi legate a sovrascorrimenti di età appenninica, oppure alla riattivazione di precedenti faglie normali di età pre-appenninica (Figura 24). In questo tipo di trappole le principali scoperte sono legate ai campi di Pisticci e a quello di Grottole-Ferrandina, rispettivamente caratterizzati da idrocarburi liquidi e gassosi. Dati gli scarsi valori di porosità e permeabilità delle litologie carbonatiche, di solito compatte e ben diagenizzate, gli idrocarburi si presentano accumulati in reservoir fratturati con una produzione legata ai principali sistemi di frattura. In alcuni casi come nel campo di Candela gli idrocarburi sono molto ricchi in CO<sup>2</sup>.

In questo tipo di successione le trappole possono essere distinte in:

- anticlinali legate a faglie inverse al di sotto delle falde alloctone;
- alti strutturali al di sotto del fronte di sovrascorrimento dei depositi di Avanfossa;
- alti strutturali non interessati dai fronti di sovrascorrimento;
- faglie a "domino" non interessate dai sovrascorrimenti.

In riferimento ai depositi pliocenici, la maggior parte delle trappole sono di tipo misto o strutturale (Figura 25), mentre eventuali trappole stratigrafiche non sono ben individuabili tramite i dati sismici disponibili. Generalmente parlando, si tratta di depositi torbiditici composti da arenarie e peliti, che formano strutture anticlinali, e presentano le scoperte economicamente più interessanti (e.g., campi di Torrente Tona, Candela-Pallino, Roseto-Montesillo e Grottole-Ferrandina).

Le trappole osservate entro la successione Pleistocenica si trovano a profondità superficiali (500-600m) e sono in genere stratigrafiche o miste, caratterizzate da depositi classicamente legati alla sedimentazione torbiditica nell'Avanfossa, quindi costituiti da alternanze di livelli arenaceo-pelitici.

All'interno di queste successioni le trappole possono essere distinte in:

- anticlinali legate a livelli compresi entro i sovrascorrimenti più esterni e troncati da altre superfici strutturali;
- livelli porosi troncati da superfici strutturali;
- piccole anticlinali collegate ai fronti di sovrascorrimento;
- drappaggio dei livelli porosi sopra degli alti strutturali pre-pliocenici;
- variazione laterale degli intervalli porosi, ovvero a geometrie tipo *onlap*;
- trappole associate ai lobi torbiditici.





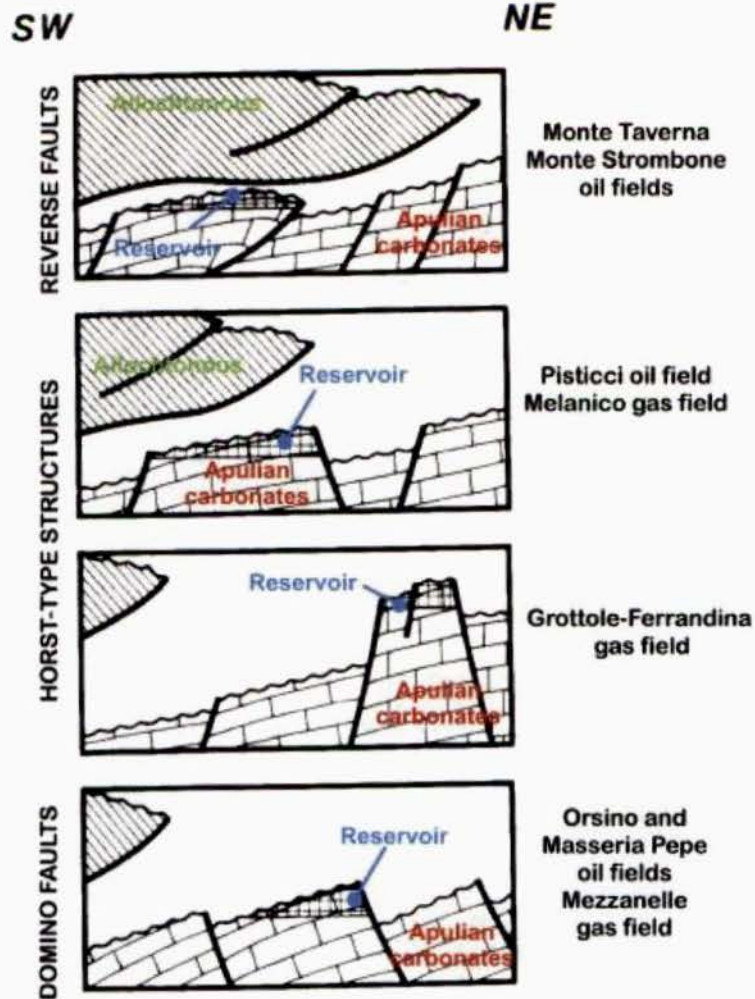


Figura 24 - Schemi delle trappole (e relativi campi) impostatesi sul substrato carbonatico pre-pliocenico. (Da Sella et al. (1988), modificato) e trappole in substrato plio-pleistocenico.

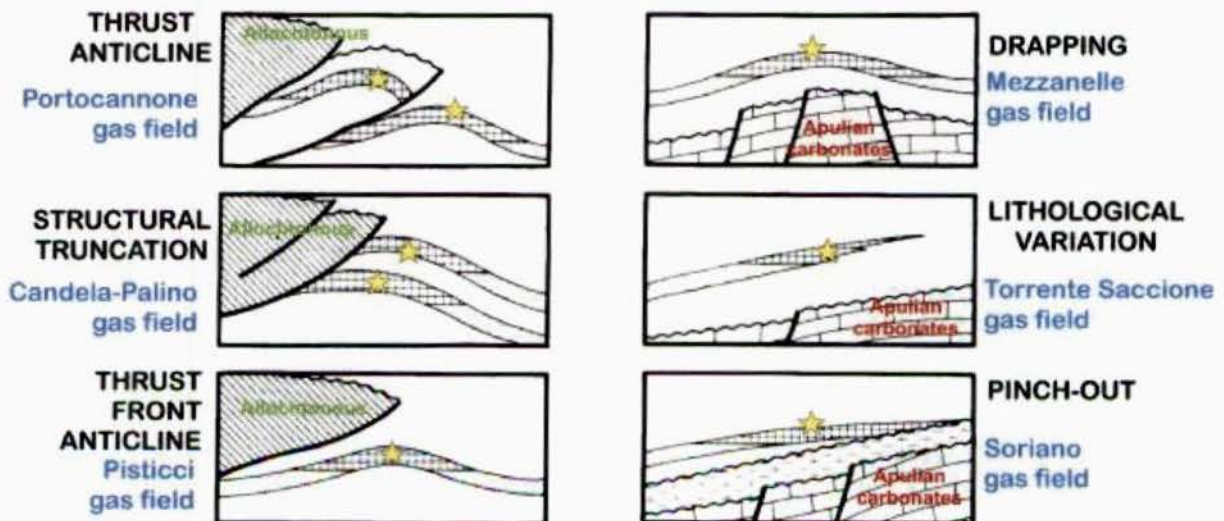


Figura 25 - Schemi delle trappole (e relativi campi) impostatesi nei depositi di torbiditici di Avansfossa plio-pleistocenici. Da Sella et al. (1988), modificato.