

102181

20 FE



**PERMESSO DI RICERCA DI
IDROCARBURI
LIQUIDI E GASSOSI
DENOMINATO "TORO"
ISTANZA DI RINUNCIA
Relazione tecnica**

INDICE

Sommario esecutivo

1. Introduzione

2. Programma Tecnico di Lavoro

2.1 Modello Strutturale e Metodi di elaborazione dei Modelli

2.2 Metodi di Analisi del Potenziale Petrolifero

2.3 *Fault Seal* e Fratturazione del *Reservoir*

3. Risultati

3.1 Interpretazione Strutturale del Prospetto Toro

3.1.1. *Geologia di superficie*

3.1.2. *Analisi Strutturale di Sottosuolo*

3.1.2.1. *Linee sismiche RDT 303 e 308*

3.1.2.2. *Linea sismica BN-335*

3.1.2.3. *Modelli Strutturali*

3.1.3. *Conversione da Tempi in Profondità*

3.2. Potenziale Petrolifero

3.2.1. *Geochemica del Sottosuolo*

3.2.2. *Modello del Bacino*

3.2.3. *Riduzione del Rischio CO₂*

3.2.4. *Geochemica Superficiale*

3.3. *Fault Seal* e Fratturazione del *Reservoir*

3.3.1. *Proprietà del Reservoir*

3.3.2. *Tipologia del Fault Seal*

4. Sommario Tecnico

Sommario Esecutivo

Le società Texaco (Op. 25%), Amoco (25%), Lasmo (25%) e British Gas (25%), unitesi in una J. V., hanno portato a termine una stima tecnica del potenziale petrolifero del Permesso "Toro", Appennino Centro-meridionale. In accordo con il Decreto del 19 Marzo 1996 del Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato, studi geologici e geofisici sono stati intrapresi e completati durante il primo periodo di dodici (12) mesi. La decisione di abbandonare il permesso è stata poi presa entro il periodo di ventiquattro (24) mesi in cui è stato rilasciato il mandato di commissione per la perforazione di un (1) pozzo. Il motivo dell'abbandono deriva dalle informazioni negative ottenute dal programma di lavoro tecnico geologico, geofisico e geochimico.

Il Permesso Toro di 994,13 Km² (99.413 ettari) è sito nel Bacino Molisano, Appennino centro-meridionale, e copre parti delle province di Campobasso, Benevento e Caserta. Il permesso venne assegnato nel Marzo del 1996 a Texaco (Operatore, 25%), Amoco (25%), Lasmo (25%) e British Gas (25%) come parte di un programma di esplorazione a tre licenze chiamato RDT (Roccasicura, Duronia e Toro). In seguito, con il Decreto del 10 Dicembre 1996, la Amoco trasferì alla Lasmo il proprio interesse del 25%.

L'interpretazione geofisica ed il modello strutturale conclusivi dimostrarono che, con riferimento all'obiettivo della Piattaforma Apula, il prospetto Toro è strutturalmente più basso di quello perforato nel complesso di Benevento (Circello-1, Castelpagano-1, Molinara Nord, e Benevento 1, 2 e 3) in cui sono state incontrate varie quantità di CO₂, quantità non commerciali di olio sia leggero che pesante, e acqua. In assenza di una pronunciata struttura

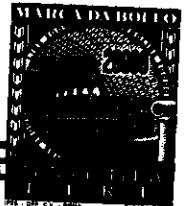
inversa che separa Toro dal complesso di Benevento, un sistema di faglie ad andamento Est-Ovest dovrebbe agire come *seal*, giustapponendo diversi chilometri di carbonato a grana fine contro carbonati. Sebbene di per sé la presenza di un *fault seal* non è necessariamente un rischio critico, da altra parte la fratturazione, componente chiave richiesta per aumentare il rapporto porosità/permeabilità del *reservoir*, può allo stesso tempo danneggiare l'integrità del *seal*.

In aggiunta al rischio di un *seal* laterale in presenza di un *reservoir* permeabile fratturato, significativi rischi sono anche: 1) presenza della roccia madre, 2) tempo di migrazione degli idrocarburi generati rispetto alla formazione della trappola strutturale di Toro, e 3) probabile presenza di CO₂ nel *reservoir* Apulo. Per queste ragioni, la Texaco ed i suoi *partners* hanno ritenuto che la possibilità di avere una scoperta petrolifera con quantità commerciali nel permesso Toro sia inesistente.

1. Introduzione

Recenti scoperte nell'Appennino meridionale hanno stabilito la presenza di idrocarburi in quantità commerciabili nei carbonati della piattaforma Apula. La roccia madre principale è all'interno dei carbonati del Cretaceo Inferiore. I *reservoirs* sono i calcari, calcari e rudiste e, subordinatamente, le facies dolomitiche del Cretaceo, e le biocalcareniti di acque poco profonde a piattaforma aperta del Terziario. Molta della porosità originaria è stata ridotta con la cementazione, ma lo sviluppo di un sistema naturale di fratturazione ha giocato un ruolo critico nell'aumento della porosità e permeabilità del *reservoir*.

20 F



Prima della formazione della catena Appenninica, la Piattaforma Apula era parte di un sistema carbonatico di scogliera-scarpata, che comprendeva, ad Ovest, quella che viene chiamata la Piattaforma Occidentale. Nell'area di Toro, la Piattaforma Occidentale in affioramento include la sequenza carbonatica di piattaforma del Matese e la sequenza di scarpata del Matese Frosolone. Nel corso del Pliocene, ci sono stati dei movimenti di sovrascorrimento al di sopra dell'avanpaese autoctono Apulo. Bacini di mare profondo intra-piattaforma, noti come bacini della "Neotetide", sono stati accorciati durante questo processo ed ora sono manifesti come parte delle serie di falde alloctone in sovrascorrimento. Nell'area di studio queste includono la falda del Sannio e le falde del dominio Molisano.

Lo studio portato avanti delle compagnie era teso ad individuare la possibilità di poter estendere il potenziale petrolifero degli Appennini meridionali in una nuova regione dell'Appennino centrale, denominato Bacino Molisano.

Nonostante l'applicazione delle più innovative tecnologie multidisciplinari, le informazioni che noi abbiamo raccolto indicano che la possibilità di individuare idrocarburi in quantità commerciabili nel Permesso Toro è inesistente. L'alto coefficiente di rischio dell'area è stato ridotto dopo aver portato a termine l'analisi strutturale ed aver costruito modelli geologici. Cionondimeno, ancora perdura un rischio elevato in aree in cui è difficile definire la probabile roccia madre, le proprietà del *seal* strutturale laterale, e il miglioramento della porosità e impermeabilità del *reservoir* per fratturazione naturale.

2. Programma Tecnico di Lavoro

PA
GRC

Dai prospetti individuati durante la valutazione dei dati sismici preesistenti nel blocco Toro, nove (9) linee sismiche, che coprono approssimativamente 190 km lineari, vennero acquisite nel 1996 come parte del programma geologico e geofisico di 12 mesi. Questi dati furono processati ed interpretati nel corso del 1997 e fu confermato che, nell'area sud del Permesso Toro, si poteva riconoscere una ampia struttura che è stata definita Prospetto Toro. Il programma tecnico, introdotto a seguire, venne indirizzato all'analisi critica dei rischi legati alla scoperta petrolifera.

2.1 Modello Strutturale e Metodi di Elaborazione dei Modelli

Il programma tecnico è stato svolto come segue:

1. Il programma sismico del 1996 è stato acquisito e processato utilizzando la tecnologia "stato dell'arte" per la rappresentazione di complessi strutturali profondi.
2. Utilizzando i dati ottenuti dai *logs*, sia nel Permesso che fuori, sono stati correlati i tops delle unità alloctone e intra Apulia, ed è stata eseguita la conversione da profondità a tempo utilizzando *sonic velocity* e grafici tempo-profundità.
3. Sono state preparate mappe sismiche preliminari dalle nove (9) linee sismiche del 1996. Il top dell'Apula è stato mappato su sezioni a scala intera (10 cm) DMO *stack TVF*. Questi *picks* sono stati tarati attraverso un *grid*, e si è preparata una mappa preliminare in tempi a scala 1 : 50,000.
4. I dati TVF migrati su scala intera (10 cm) sono stati reinterpretati, con analisi di tutte le principali unità tettonostratigrafiche, incluso il Top Apula, il dominio della Piattaforma Occidentale Matese, il dominio

Matese Frosolone, e le unità del dominio Molisano (Ateleta, Argille Varicolori, e Laga Flysch).

5. Dove possibile, il *pick* dell'Apula è stato poi trasferito alle sezioni migrate TVF. Sebbene il contrasto di riflessione tra la sezione sovrastante e l'Apula non fosse evidente come nelle sezioni stack, le geometrie sia della sezione Apula che di quella alloctona in alcuni casi sono state fortemente migliorate. Sezioni migrate sono state poi usate per ricostruire l'intero *grid* dei dati e migliorare la mappa in tempi della sezione stack dell'Apula.
6. Sono state preparate mappe in tempi sia dell'Apula che dell'unità Frosolone. Queste mostravano che il Prospetto Toro consisteva di una struttura con chiusura *three-way dip* con orientamento Nord/Nord Ovest - Sud/Sud Est, che s'immergeva a Nord. Ciononostante, manca la critica strutturale inversa in direzione Sud, rimpiazzata invece da un sistema di faglie e fratture che provvedeva all'unica separazione tra il prospetto e l'alto strutturale del complesso di Benevento (Circello-1, Castelpagano-1, Molinara-Nord, e Benevento-1, -2 e -3). Come risultato, copie cartacee di altre dieci (10) linee sismiche stack e migrate sono state acquistate dall'AGIP nell'area del complesso di Benevento a sud del Permesso di Toro, per migliorare l'interpretazione.
7. Diversi modelli strutturali sono stati sviluppati per determinare se il sistema di faglie, che provvede alla separazione critica tra il Prospetto Toro ed il complesso di Benevento, era in grado di fare *sealing* e, al contempo, di preservare la fratturazione del *reservoir*. Le geometrie delle unità tettonostratigrafiche identificate sono state digitate in tempi nella

versione 4.1 Geosec per le linee RDT-303, 308 e BN-315. Queste sono state convertite in profondità in Geosec usando misure di velocità ottenute da dati di pozzo. Dai risultati del modello Geosec, una serie di mappe è stata costruita su scala 1 : 25,000 per determinare se le faglie erano consistenti in una direzione laterale e verticale attraverso la struttura meridionale confinante. Questo lavoro è stato poi supportato da una campagna geologica in modo da quantificare la natura superficiale delle faglie nell'area meridionale del Permesso Toro, e per raccogliere campioni per l'analisi di laboratorio del potenziale *fault seal* e del carattere della fratturazione.

8. Analisi dettagliate di velocità sono state intraprese per determinare se la mancanza della struttura inversa a sud fosse semplicemente dovuta alla variazione delle velocità delle unità sovrastanti. Modelli con velocità multipla sono stati preparati là dove le maggiori unità tettonostratigrafici avevano un *range* di velocità ottenuto dai dati di pozzo nelle aree vicine. La carta del Top dell'Apula in tempi è stata poi convertita in profondità. Il nostro approccio tecnico al Prospetto Toro includeva anche una interpretazione geologica al di fuori del Permesso Toro. I seguenti lavori regionali sono stati intrapresi e completati come parte di questo studio:
 1. Mappa sismica e taratura con pozzo nelle aree adiacenti al Permesso Toro all'interno delle strutture di Benevento, Molinara, Castelpagano, Circello, Frosolone e Pescopennataro.
 2. Interpretazione Geosec delle linee sismiche BN-335 e BNT-7 a sud del Permesso Toro nelle aree Circello-Castelpagano-Benevento.



20 FE

3. Campagna geologica nelle aree del Matese e del Sannio a sud-ovest del
Permesso Toro.

3.1 Metodi di Analisi del Potenziale Petrolifero

Il potenziale petrolifero è stato identificato come uno dei rischi critici nel caso di una scoperta commerciale nel Prospetto Toro. Il programma tecnico è stato sviluppato per ridurre il rischio associato a ; 1) presenza di potenziali rocce madre, 2) presenza di sufficienti volumi di roccia madre, 3) previsione della produzione di idrocarburi, in particolare riduzione del rischio associato alla CO₂, e 4) tempo di ricarica relativo alla formazione *reservoir*.

Come parte della quantificazione del rischio legato alla ricarica, un esteso programma geochimico analitico di laboratorio è stato intrapreso utilizzando i detriti di perforazione di nove (9) pozzi nell'area RDT. Questi includevano Benevento-2,-3, Castelpagano-1, Circello-1, San Biase-1, Pescopennataro-1,-2, Fonteviva-1 e Molinara Nord. I risultati sono stati combinati con i dati regionali derivati da studi affini attraverso gli Appennini meridionali.

Una serie di simulazioni di maturità termica 1-D è stata poi eseguita per fissare il grado potenziale di generazione di idrocarburi e preservazione dello stato liquido degli idrocarburi nel Permesso Toro. Questo lavoro si focalizzava sulla maturità termica della Piattaforma Apula che contiene sia il *reservoir* primario che le possibili rocce madre. Le simulazioni incorporavano variazioni regionali nel gradiente geotermico, variazioni nell'erosione post-sovrascorrimento ed una semplice geometria lineare per la Piattaforma Apula. I risultati delle simulazioni sono stati integrati in due serie di mappe.

PA
GEC

Gli studi geochimici del sottosuolo sono stati arricchiti da una estesa campagna geochimica di superficie e da un programma analitico sui tre blocchi RDT e nell'area circostante. Sono state selezionate località campione per valutare la natura e l'importanza della migrazione degli idrocarburi associata ad un numero di prospetti esplorativi e a giacimenti conosciuti nell'Appennino meridionale e nell'area del Prospetto Toro.

Nel tentativo di individuare il rischio legato alla CO₂, è stata preparata una serie di mappe che riportavano la relativa abbondanza di CO₂ attraverso gli Appennini meridionali e centrali. Mappe similari sono state realizzate riportando i valori isotopici. Sono state anche realizzate mappe circa la quantità di CO₂ relativa alla profondità e alla litologia.

2.3 *Fault Seal e Fratturazione del Reservoir*

Un modello di *fault seal* e di sviluppo del *reservoir* per il Permesso Toro è stato costruito in base a tredici campioni presi in affioramento delle potenziali unità *reservoir* e sei campioni in affioramento di materiale prelevato dalle zone di faglia di faglie analoghe a quelle di controllo del Prospetto Toro. Le ultime sono state raccolte da zone di faglia che mostravano proprietà sia tensionali che di translazione, simili a ciò che venne interpretato nel margine meridionale del sottosuolo del Prospetto Toro. I campioni sono stati analizzati petrograficamente per individuare facies deposizionali e per esaminare importanti tessiture di frattura. Una serie di misure petrofisiche è stata condotta in modo da poter stimare la qualità del *reservoir* e la capacità di *seal* di questi materiali.

3. Risultati

3.1 *Interpretazione Strutturale del Prospetto Toro*

3.1.1. Geologia di Superficie. In affioramento, associazioni piattaforma-rampa del Matese e Matese Frosolone formano il limite meridionale del Permesso Toro. Questi dominii formano la “*hanging wall*” regionale, con uno spessore di almeno 5.000 m, sino al *target* esplorativo del sottostante “*foot wall*” Apulo autoctono. La parte interna del permesso è coperta da esposizioni del dominio bacinale Molisano “Neotetide” e dalle unità del Sannio. La proiezione della piattaforma-rampa e del dominio bacinale in affioramento nel sottosuolo era il punto critico nella nostra previsione, distribuzione e geometria dell’assemblaggio tettonostratigrafico da incontrare verosimilmente durante la perforazione. Per tale motivo, si è cercato di collegare la geologia di superficie con la nostra interpretazione di sottosuolo.

Gran parte delle strutture di sovrascorrimento esposte in affioramento dell’assemblaggio di bacino marginale piattaforma-rampa è stata obliterata attraverso la superimposizione con processi strutturali più giovani. Da un lavoro dettagliato, datiamo l’età di un’iniziale episodio di thrust nell’area Toro come Langhiano-Seravalliano, che coinvolge le unità di piattaforma-rampa Matese e Matese Frosolone. Un secondo episodio di compressione si è verificato nel Tardo Messiniano, dove una continuata contrazione ha avuto luogo nel Molise e nel Sannio. Un terzo evento compressivo si è verificato nel Pliocene Medio di questo stack di unità alloctone sulla Piattaforma Apula con concomitante piegamento nell’unità autoctona. Eventi compressivi vennero seguiti dalla ristrutturazione del Tardo Pliocene-?Quaternario attraverso un processo di *faulting* trascorrente ed estensivo.



Analisi Landsat e campagne geologiche nel dominio Matese hanno mostrato quattro principali lineamenti: E-O, N-S, NNE-SSO e NO-SE. Il nostro obiettivo principale era nel contatto bacino-confine con orientamento Matese-Molise E-O, dal momento che questo sistema di lineamenti era probabilmente parte della separazione critica meridionale del Prospetto Toro dal complesso di Benevento, osservato sulla sismica di sottosuolo.

Parte del sistema E-O si manifesta regionalmente come un continuo lineamento E-O che attraversa contorni topografici e giustappone carbonati alla Formazione Laga tra Matese e il Bacino Molisano. L'evidenza di campagna indica che questo lineamento è il prodotto di un sistema di faglie inverse ad alto angolo e transpressive. Ad Est, sul Permesso Toro, il sistema E-O si espande in svariati segmenti di faglia. Uno dei principali rami E-O è stato studiato in questa area a Pietraroja. Qui, un *grainstone* del Miocene Superiore del dominio Matese è stato deformato e mostrava *slickensides* verticali da probabile movimento inverso di faglia. Una seconda zona nel sito campione RS-20 era orientata in maniera simile, ma mostrava unicamente indicatori cinematici orizzontali. Una chiara zona di faglia normale terminava il lato occidentale della zona di faglia transcorrente RS-20 al sito RS-26. Qui, la faglia era orientata verso SE-NO con una immersione a Nord dell'ordine di decine di metri. Da questo lavoro, si è determinato che i lineamenti E-O dell'area di studio non potevano essere attribuiti ad un singolo processo strutturale, ma riflettevano una storia poligenetica con un movimento inverso ad alto angolo, trascorrente ed estensivo.

20 F



3.1.2. *Analisi Strutturale di Sottosuolo.* In sottosuolo, le mappe sismiche hanno indicato che il Prospetto Toro consiste di una struttura a chiusura *three-way dip* con orientamento NNO-SSE, che si immerge a Nord. Aspetti della struttura sono di seguito descritti usando alcune delle linee critiche.

3.1.2.1. *Linee Geosismiche RDT 303 e 308.* Il target prospettivo della piattaforma Apula in queste sezioni sismiche con orientamento ENE-OSO del Permesso Toro, appare come un riflettore relativamente piatto, e che termina ad Est ed Ovest con faglie. La morfologia strutturale risultante ha l'apparenza di un cuneo triangolare con orientamento nord-sud o di un "pop-up" che è limitato da opposte vergenze, con orientamento NNO-SSE a faglia inversa ad alto angolo. La faglia frontale o rivolta verso l'avampaese limita il Prospetto Toro ad est e non sembra interrompersi attraverso l'alloctono sovrastante. Nella *backlimb*, una zona di faglia assiale può essere interpretata come estensione nell'alloctono sovrastante, come l'estensione del retroscorrimento vergente ad ovest, e suggerisce o un ringiovanimento oppure una più tarda formazione di questa faglia. Noi interpretiamo la natura ad alto angolo delle faglie inverse NNO-SSE come manifestazione dell'inversione, con eredità di una preesistente geometria di faglia normale. La geometria strutturale risultante probabilmente spiega perché noi non siamo stati in grado di ricreare agevolmente la corretta profondità osservata della geometria della piega dell'Apula, utilizzando la geometria piega-faglia di Suppe (1983).

Confrontato con l'autoctono Apulo, che appare come una semplice struttura N-S generata da una sollecitazione principale essenzialmente verso est o in direzione dell'avampaese, la sezione alloctona sovrastante più superficiale è

sia a livello tettonico che stratigrafico più complessa. I *tops* stratigrafici sono stati tarati incorporando i dati dei pozzi Cercemaggiore-1 e il Santa Croce-1 dalla linea *strike* RDT-302. Le geometrie sulla linea 303 sono state limitate dai dati del pozzo Ielsi-1.

La zona tra l'alloctono e l'autoctono è composta di argille emipelagiche Argille Varicolori che agiscono come uno scollamento principale sia per l'alloctono che per l'Apula. La mancanza di una geometria consistente tra le linee sismiche adiacenti suggerisce che questa zona non obbedisce ai principi della giacitura del piano di taglio. Sulle linee 303 e 308, trattiamo le unità con variazioni di spessore e sovrapposizioni, che non sono inconsistenti con le correlazioni dei *logs* dei pozzi a livello regionale e con le osservazioni geologiche di superficie.

Ci sono almeno cinque ripetizioni strutturali del flysch silicoclastico della Formazione Laga nei pozzi perforati. Questi piani di sovrascorrimento sembrano essere originati da uno scollamento alla base della prima unità di flysch e sopra i calcarei dell'Ateleta equivalente. Noi stimiamo che questa sovrapposizione si sia verificata precedentemente alla strutturazione dell'Apula, attraverso un processo in cui strati successivi di Laga sono stati "sbucciati" lungo scollamenti intraformazionali. La datazione biostratigrafica di queste unità consente una datazione per la collocazione di questi piani di scorrimento a basso angolo come Tardo Tortoniano-Primo Messiniano.

Durante la strutturazione Medio Pliocenica della sottostante Apula, le sovrastanti falde ad alto livello sono state sollevate, agendo essenzialmente come unità passive di tetto. Tutte le geometrie strutturali alloctone mostrano

gli effetti di superimposizione di questa fase più recente di deformazione, espressa da ripiegamento e faglie che hanno formato nuove *cutoffs* di “*foot wall*” e “*hanging wall*” nell’alloctono. L’appiattimento su vari orizzonti isolati ha permesso una sorprendente correlazione tra le geometrie strutturali originali alloctone e la superimposizione del tardo edificio strutturale Apulo. Il Giurassico Superiore (Dogger-Malm), sino al top della Formazione Frosolone del Cretaceo Superiore, rappresenta la più vecchia unità alloctona penetrata nei pozzi nel Permesso Toro. Strutturalmente, esiste come una falda singola, apparentemente a basso angolo con nessun materiale litologicamente equivalente nel proprio *footwall*. Il termine *thrust wedge* Frosolone è usato per distinguere questa struttura.

Quando appiattita al top dello scollamento (es., rimuovendo gli effetti della deformazione Apula) durante la modellazione strutturale, la geometria dell’unità di scorrimento Frosolone ha prodotto una faglia-curva-piega. Il fatto che una struttura sia rimasta in seguito all’appiattimento suggerisce che la struttura di sovrascorrimento si formò inizialmente e fu ripiegata durante un evento strutturale più tardo, che noi prendiamo per essere strutturazione contrazionale dell’Apula sottostante. La Formazione Frosolone non è stata incontrata nei pozzi perforati ad est del Permesso Toro.

3.1.2.2. *Linea Geosismica BN-335.* La linea BN-335 è orientata essenzialmente perpendicolare alle linee 303 e 308. La linea attraversa il confine meridionale del Prospetto Toro, il pozzo Circello-1, e il campo non commerciale di Benevento. In quanto tale, la linea risultava critica per la nostra interpretazione della separazione strutturale tra il Prospetto Toro ed il complesso di Benevento. Dai dati di pozzo e dalla qualità dei dati sismici, si

DA
GEG

confidava molto nel *pick* dell'Apula. Cartografando il Top dell'Apula, una immersione critica meridionale non è stata trovata separare la struttura dall'alto non commerciale del complesso di Benevento. Invece, il Prospetto Toro è separato da due faglie che sembrano estendersi nell'alloctono e possibilmente alla superficie. Ottimisticamente, è stata cartografata solo una piccola area con chiusura *four-way dip* (120 ms o circa 300 m).

3.1.2.3. Modelli Strutturali. A causa dell'importanza della chiusura dell'area meridionale del Prospetto Toro per la potenzialità del Permesso, sono stati costruiti modelli strutturali multipli, che includevano:

Modello di faglia inversa ad alto angolo E-O. Nell'iterazione del processo cartografico, assumemmo due direzioni oblique di stress. La prima formava la struttura Toro con direzione NO-SE. La seconda era uno stress superimposto con direzione nord. Noi assumemmo uno nuovo orientamento del preesistente edificio strutturale e l'introduzione di un sistema di faglia inversa ad alto angolo, E-O compressivo. La separazione dal complesso di Benevento avveniva tramite una chiusura di faglia ad angolo alto.

Modello di faglia thrust a basso angolo E-O. Qui abbiamo esaminato un thrust a basso angolo con ampie aree di chiusura "footwall". Di nuovo, un nuovo orientamento a 45° del campo di stress da NE a Nord si richiedeva per produrre un sistema di faglie a basso angolo al confine meridionale del Prospetto Toro. Si sperava che la conversione in profondità della mappa in tempi del "footwall" del Prospetto Toro avrebbe prodotto la necessaria piega inversa al di sotto delle litologie "hangingwall" ad alta velocità Apule. Mappe di piano di faglia, mappe dell'"hangingwall" e del "footwall" sono state realizzate per tentare di esplorare completamente e quantificare questa

20 FE



interpretazione. Una piccola immersione inversa (120 ms o circa 300 m) risultò ancora confidare su un *seal* di faglia per avvicinare le misure di riserva commerciale.

Modello di faglia ad alto angolo trascorrente E-O. In questo modello abbiamo interpretato i sistemi di faglia E-O come faglie ad alto angolo, sinistre transpressive. Una evidente discontinuità nella linea BN-335 al livello Apulo interpretato è stata usata per costringere l'angolo critico di bacino-confine a direzione E-O. Dei modelli esaminati, siamo arrivati a preferire questo per i seguenti motivi:

- 1) Non abbiamo dovuto invocare un cambiamento di direzione di stress; tutte le faglie hanno potuto essere interpretate usando un semplice modello sinistro di taglio. Qui, le faglie E-O hanno potuto essere generate come lineamenti sinistri da un campo di stress similare a quello che ha prodotto il ripiegamento che ha associato le faglie ad alto angolo NE-SO.
- 2) Le faglie Est-Ovest sono mostrate nella Carta Geologica d'Italia e sono state verificate come transpressive, transtensive e extensive durante la nostra campagna geologica nell'area. Queste dividono gli affioramenti dei carbonati del Matese della Piattaforma Occidentale nella parte ovest del Permesso e hanno continuato ad est nei piani di scorrimento sovrastanti della falda di Sannio.
- 3) Lineamenti corrispondenti E-O sono evidenti nelle immagini Landsat del Matese, e possono essere interpretati nel bacino ad est della falda del Sannio attraverso le anomalie tonali Landsat. L'orientamento Landsat dei lineamenti si correla molto bene con la distribuzione delle faglie interpretate in affioramento.

[Handwritten signatures]

In combinazione con le osservazioni di superficie, postuliamo che la struttura Toro poteva rappresentare un modello di curva (Sylvester, A.G., 1988) di contenimento (innalzamento)-rilascio (abbassamento). Il modello predice che almeno due faglie sinistre trascorrenti devono essere presenti a nord e sud della struttura Toro in modo da sviluppare un continuo thrust *backlimb-bounding*. Noi interpretiamo le faglie transtensive, poi, come risulta da curve di rilascio, e le faglie transpressive da curve di contenimento lungo una dominante traccia di faglia sinistra.

Riassumendo, la cartografia sismica e il modello strutturale in conclusione hanno dimostrato che, a livello Apulo, il prospetto Toro è strutturalmente più basso di quello perforato nel complesso di Benevento (Circello-1, Castelpagano-1, Molinara Nord, e Benevento 1, 2 e 3) in cui sono state incontrate varie quantità di CO₂, quantità non commerciali di olio sia leggero che pesante, e acqua. In assenza di una pronunciata struttura inversa che separi Toro dal complesso di Benevento, un sistema di faglie ad andamento Est-Ovest dovrebbe agire come *seal*, giustapponendo diversi chilometri di carbonato a grana fine contro carbonati.

3.1.3. Conversione da Tempi in Profondità. In aggiunta, per cartografare la distribuzione e il tipo di faglie limitanti il bordo meridionale del Prospetto Toro, una analisi dettagliata della velocità è stata compiuta per determinare la quantità massima di chiusura strutturale che avrebbe potuto essere realisticamente modellata nella conversione da tempo a velocità. In questa fase dell'analisi noi, 1) abbiamo investigato gli effetti di un livello ad alta velocità (Dolomie di Frosolone) sulla struttura profonda del Prospetto Toro, 2) abbiamo corretto per poter sovrapporre i carbonati dell'"*hangingwall*" del



dominio Matese sul "footwall" Apulo, e 3) abbiamo realizzato una carta strutturale in profondità per poter calcolare le riserve.

L'effetto delle Dolomie di Frosolone era per incrementare la profondità verso il Top della Piattaforma Apula per il Prospetto Toro quando comparato alla mappa in profondità di regressione lineare. Alla cresta questa è circa 100 m per la velocità di 4650 m/s e 200 per la velocità di 6000 m/s. Non si è verificato alcun aumento nell'ammontare della chiusura strutturale in alcuna mappa. Noi concludiamo, perciò, che quella correzione per le Dolomie di Frosolone, persino con un alto intervallo di velocità, ha causato un piccolo aumento nella profondità al Top della Piattaforma Apula e soltanto un piccolo cambiamento nella mappa strutturale in profondità.

Il sistema di faglia "*hangingwall*" Matese è diviso in compartimenti, uno dei quali contiene il campo di Benevento. Per la valutazione delle riserve del Prospetto Toro, è stato critico stimare la quantità della chiusura strutturale prima di poter contare sul carattere di *fault seal* di questo sistema di faglia. L'analisi si basava sulla premessa che la profondità sarà differente nell'area di sovrapposizione tra l'"*hanging wall*" ed il "*foot wall*" a causa dell'incremento di spessore di carbonati ad alta velocità nell'"*hanging wall*". Questo spessore extra avrebbe l'effetto di "tirare su" il "*foot wall*" in tempi, facendo sembrare il *pick* in tempi più superficiale della profondità attuale. Nella conversione in profondità, il *pick* del "*foot wall*" potrebbe tendere a piegarsi in giù incrementando in tal modo la quantità di chiusura *four-ways dip* per il Prospetto.

Sono state preparate mappe di *footwall* che combinavano le correzioni per la sovrapposizione *hangingwall* ed entrambe le velocità delle Dolomie di

Frosolone. L'effetto della correzione per i carbonati dell'*hangingwall* doveva aumentare il gradiente del *contour* nell'area di sovrapposizione, aggiungendo sino a 400 m alla mappa in profondità prodotta dalla funzione di regressione lineare. Ciò significava che c'è potenziale aumentato per la chiusura strutturale contro la faglia che in questo caso aumentava da 300 m a più di 600 m. Ciononostante, l'estensione areale di tale chiusura non era stata allargata in maniera apprezzabile al livello del Top Apulo, tanto che la stima delle riserve non venne sostanzialmente aumentata.

3.2. *Potenziale Petrolifero*

Il potenziale petrolifero è stato identificato come uno dei rischi critici nel caso di una scoperta commerciale nel Prospetto Toro. Il programma tecnico è stato sviluppato per ridurre il rischio associato a; 1) presenza di potenziali rocce madre, 2) presenza di sufficienti volumi di roccia madre, 3) previsione della produzione di idrocarburi, in particolare riduzione del rischio associato alla CO₂, e 4) tempo di ricarica relativo alla formazione *reservoir*.

3.2.1. *Geochimica del Sottosuolo*. Come parte della quantificazione del rischio legato alla ricarica, un esteso programma geochimico analitico di laboratorio è stato intrapreso utilizzando i detriti di perforazione di nove (9) pozzi nell'area RDT. I risultati sono stati combinati con i dati regionali derivati da studi affini attraverso gli Appennini meridionali, le potenziali rocce madri e gli olii intrappolati rivelano le seguenti caratteristiche:

- 1) Gli olii intrappolati nei carbonati fratturati del complesso di Benevento, Fonteviva-1 e Pescopennataro sono parte di una "megafamiglia" del Cretacico Inferiore che include i campi di Tempa Rossa e Monte Alpi nell'Appennino meridionale. Importanti distinzioni nella maturità e



composizione isotopica dell'olio, comunque, indicano che esiste una fondamentale differenza tra gli olii dei campi nel sud e nell'area del Prospetto Toro.

- 2) L'intera composizione isotopica del carbone estratto dal bitume recuperato da questi pozzi, ed anche da Circello, Castelpagano, San Biase-1 e Molinara Nord, indica che l'olio nelle potenziali rocce madre appartiene ad una famiglia per lo più Triassica.
- 3) La materia organica nei pozzi di Circello, Castelpagano, San Biase-1, Pescopennataro-1 -2, Fonteviva-1, e Molinara Nord è in gran parte produttrice di gas.
- 4) Il potenziale a generare liquidi è basso in tutti i pozzi analizzati, ad eccezione delle zone localizzate nel Cretaceo di Benevento-2 e nel Paleocene di Castelpagano-1.

Dal momento che la sezione stratigrafica penetrata dai pozzi studiati non ha incontrato un intervallo di rocce madre ad alta qualità, si deve procedere ad una supposizione non quantificabile che, 1) esistono altre rocce madre più profonde che nella sezione perforata, e/o che 2) esiste una facies roccia madre meglio sviluppata in altre aree allo stesso livello stratigrafico. L'analisi, poi, suggerisce che non si può ridurre il rischio di incontrare un intervallo con sufficiente ricchezza organica tale da generare idrocarburi nel Permesso Toro.

3.2.2. Modello del Bacino. Il modello termale è indipendente dalla ricchezza di roccia madre. Un corpo roccioso può essere all'interno della "oil-window" ma, in assenza di livelli sufficienti e di tipo di materia organica, non sarà in grado di generare idrocarburi. La simulazione del modello

termale ha indicato che la parte superiore della Piattaforma Apula ha raggiunto localmente livelli sufficienti di maturazione termica per procedere alla generazione di idrocarburi. Nel Permesso Toro sembra che la regione maggiormente matura a livello termico fosse associata con la porzione correntemente più superficiale dell'Apula. Ciò sembra essere il risultato di gradienti geotermici più alti e della quantità di erosione *post-thrusting* associata con queste porzioni sedimentate superficialmente. E' stato calcolato un massimo di maturità termica equivalente ad una "vitrinite reflectance" del 1. 28% al top della Piattaforma Apula. Livelli di maturità termica consistenti con un intenso metamorfismo organico e con la preservazione di gas secco ($R_0 > 2.0\%$) sono stati raggiunti all'interno della porzione Giurassica dell'Apula nel Permesso Toro. Le simulazioni forniscono anche alcune informazioni circa il tempo di entrata e di uscita dallo stadio principale della generazione di idrocarburi. Queste simulazioni indicano che l'analizzata roccia madre del Triassico Superiore entrò nella fase principale della generazione di idrocarburi fin dal Cretaceo Inferiore nelle porzioni più calde di questa area di studio e al massimo del Primo Miocene nelle parti più fredde di questa area di studio. La roccia madre del Triassico Superiore, se presente, sarebbe dovuta uscire dalla "oil-window" sin dal Tardo Cretaceo. La roccia madre presa in esame del Cretaceo Inferiore è entrata nella "oil-window" sin dal Primo Eocene. Le simulazioni suggeriscono che il relativo tempo di generazione e di strutturazione era tale che una porzione significativa dell'olio sarebbe stata generata prima dello sviluppo delle trappole. Ciò implica che, perché l'olio possa essere

significativamente intrappolato, debbano verificarsi rimobilizzazione e intrappolamento secondario.

Un ulteriore esame del livello di maturità termica, attraverso la porzione post-Giurassica della Piattaforma Apula, suggerisce che il bacino effettivo di drenaggio (ponendo la presenza della roccia madre del Cretaceo) è largamente limitato alle aree di bacino settentrionali ed orientali. Le aree di bacino occidentali non sembrano aver ottenuto livelli sufficienti di maturità termica per procedere alla generazione di idrocarburi.

Dai risultati della simulazione, esiste un rischio significativo nel tempo relativo di generazione di idrocarburi di formazione della trappola strutturale del Prospetto Toro. Il modello termico, considerato unitamente alla qualità della roccia madre, suggerisce che è molto difficile documentare la presenza della roccia madre nell'area del Prospetto Toro, e quantificare il volume, tempo via/e migrazione e potenziale produzione di idrocarburi da una qualsiasi roccia madre proposta. In tal modo, noi non siamo stati in grado di ridurre il rischio di ricarica di idrocarburi dai nostri sforzi tecnico-geochimici di sottosuolo.

3.2.3. Riduzione del Rischio CO₂. Distinti accumuli di CO₂ sono presenti negli Appennini meridionali e centrali. Nelle aree meridionali che includono Monte Alpi e Tempa Rossa, le concentrazioni di CO₂ sono generalmente meno del 2%. A nord, il CO₂ varia dal 2% al 25%. Negli Appennini centro-meridionali, tuttavia, si sono incontrate concentrazioni sino al 99%. In particolare, i pozzi di Benevento, Cercemaggiore e Monte Taburno 1, a sud del Prospetto Toro, contengono rispettivamente il 93%, il 95% e > 99% di CO₂.

Néppure lo studio geochimico di superficie, la cartografia isotermica, i valori e la distribuzione isotopica, o l'abbondanza di CO₂ relativa alla profondità, si sono rivelati essere indicatori affidabili per prevedere la presenza di CO₂. Inoltre, da studi su campagne analoghe si è scoperto che la presenza di alti volumi di CO₂ nel sistema carbonatico spesso indicava la mancanza di una adeguata ricarica di olio. Ancora, le alte concentrazioni di CO₂ nell'area meridionale adiacente al Prospetto Toro si sono aggiunte al rischio di superiore ricarica di idrocarburi.

Si è concluso che il meccanismo di migrazione del CO₂ nei *reservoirs* sia stato lungo l'ultimo stadio in cui le faglie radicarono a profondità almeno fino all'Apula. Sulle linee geosismiche 303 e 308, la faglia inversa del Prospetto Toro deve probabilmente essere stata il condotto primario sia del CO₂ che dell'olio non commerciale rinvenuto nei pozzi Ielsi-1, Santa Croce-1 e Cercemaggiore-1. Questi prodotti di idrocarburi erano derivati verosimilmente dall'Apula sottostante, ed erano rimigrati nel sovrastante *reservoir* delle Dolomie di Frosolone. A causa della presenza di queste faglie e di altri sistemi di faglia all'interno del Prospetto Toro, si è concluso che il rischio di incontrare CO₂ nel Prospetto Toro era alto.

3.2.4. Geochimica di Superficie. I livelli di migrazione degli idrocarburi osservati sopra il Prospetto Toro erano significativamente e consistentemente più bassi di quelli osservati in altre parti dell'area RDT e negli Appennini. Le statistiche erano lievemente più alte dei punteggi più bassi, che sono stati assegnati al Matese Frosolone, Molinara Nord, Benevento, e Benevento Sud. Infatti, è possibile che tutte le statistiche del Permesso Toro rientrino entro valori "background".





20 F

Mentre gli scarsi risultati geochimici di superficie non possono, se presi da soli, essere usati per respingere il potenziale di idrocarburi del Prospetto Toro, i dati non hanno ridotto il rischio di presenza di idrocarburi o di prodotti del genere. L'assunto di base di tutte le tecniche di indagine geochimica vicino alla superficie è che gli idrocarburi sono generati e/o intrappolati in profondità e rilasciati in superficie in quantità variabili ma indagabili. La stretta correlazione tra le anomalie geochimiche di superficie con faglie e fratture è ben nota. E' anche riconosciuto che l'anomalia in superficie può essere verosimilmente correlata ad un accumulo di petrolio in profondità. Il successo diviene tanto più difficile quanto la geologia diviene più complessa.

3.3 Fault Seal e Fratturazione del Reservoir

Un rischio principale per il Prospetto Toro è che, in assenza della suddetta inversione strutturale nel Prospetto Toro per separarlo dal complesso di Benevento, le proprietà meccaniche della roccia devono sostenere un *seal* di faglia che giustappone al carbonato una colonna lunga svariati chilometri formata quasi esclusivamente di carbonato *fine-grained*, permettendo contemporaneamente di aumentare la qualità del *reservoir* per fratturazione.

3.3.1. *Proprietà del Reservoir.* I campioni di *reservoir* dall'area del Permesso Toro rientrano in quattro gruppi di facies: 1) *grainstones* e *wackestones* bioclastici, 2) *chalky wackestones* fossiliferi, 3) paleosuoli calcarei micritici, e 4) *grainstones* ooidali. Le migliori rocce *reservoir* sono i *grainstones* peloidali-echinoidi e i *wackestones* bioclastici il cui sistema di poro intergranulare è stato preservato ed intensificato dalla dissoluzione dei grani. La porosità e la permeabilità sono fortemente

correlate, con valori di porosità sino al 29% e 130 md k. Se in profondità è presente la porosità secondaria, per questo tipo di facies ci si aspetterebbero ragionevoli proprietà di *reservoir*.

I *chalky wackestones* bioclastici formano un gruppo di rocce *reservoir* di scarsa qualità. La relazione porosità/permeabilità per questo tipo di roccia era significativamente differente da quella dei *grainstone/packstones*. Allo stesso modo, le facies paleosuolo micritiche e *grainstone* oidalì erano interamente cementate e non mantengono alcuna qualità *reservoir*. Queste facies formeranno importanti barriere di flusso e *seals* all'interno della sezione stratigrafica. In entrambe queste facies si richiederà la fratturazione per provvedere ad un adeguato carattere di *reservoir*.

I dati suggeriscono che, se nel sottosuolo era presente un sostanziale spessore del *wackestone* bioclastico, si può mitigare l'affidamento nella fratturazione naturale per migliorare le proprietà del *reservoir*. Se, tuttavia, gran parte della sezione consiste delle facies a più bassa porosità, sarà necessario ricorrere alla fratturazione.

3.3.2. *Natura del Fault Seal*. I campioni di faglia erano generalmente *wackestones*. Una trascurabile porosità (da 0.014 a 0.577 md k e da 1.0% a 2.0% di porosità) è stata misurata da 3 campioni prelevati lungo uno dei segmenti estensivi del sistema di faglia E-O del Prospetto Toro meridionale al sito RS-26. Simili valori bassi si ottennero per un segmento transcorrente della faglia campionata al RS-20. I dati misurati di pressione capillare indicano che i campioni meno permeabili di roccia *reservoir*, quando giustapposti a *grainstone/packstone* calcarei e alla faglia, sono in grado di trattenere una sostanziale colonna di idrocarburi. Quasi tutte le fratture

cementate incontrate in questi campioni sembrano essere fratture tensive che possono essere state create da una sovrapressione durante la prima storia di seppellimento di questi campioni. Poche fratture di taglio cementate erano evidenti. Il rischio che tali fratture di taglio siano aperte non è quantificabile, ma può essere significativo.

I suddetti dati suggeriscono che, in presenza di specifiche condizioni, il rischio associato con le proprietà di *seal* del sistema di faglia E-O può essere considerato scarso. Tuttavia, non possiamo ignorare due opposte osservazioni; 1) che nelle immediate vicinanze e immersente all'“*hanging wall*” del sistema di faglia con direzione E-O, i pozzi perforati hanno incontrato quantità variabili di CO₂, quantità non commerciali di olio sia leggero che pesante, acqua, e carbonati non porosi del complesso di Benevento, e 2) che il *backthrust* con direzione N-S del Prospetto Toro, che interseca il sistema E-O, ha agito come condotta sia del CO₂ che dell'olio non commerciale incontrato nei pozzi Ielsi-1, Santa Croce e Cercemaggiore-1, immediatamente sovrastanti il Prospetto Toro. Infine, ci preoccupa ancora il fatto che le proprietà meccaniche di una roccia che sostiene un *seal* di faglia non possano, allo stesso tempo, permettere di migliorare la qualità del *reservoir* per fratturazione preferenziale.

4. Sommario Tecnico

L'interpretazione geofisica ed il modello strutturale conclusivi dimostrarono che, con riferimento all'obiettivo della Piattaforma Apula, il prospetto Toro è strutturalmente più basso di quello perforato nel complesso di Benevento (Circello-1, Castelpagano-1, Molinara Nord, e Benevento 1, 2 e 3) in cui sono state incontrate varie quantità di CO₂, quantità non commerciali di olio

sia leggero che pesante, e acqua. In assenza di una pronunciata struttura inversa che separi Toro dal complesso di Benevento, un sistema di faglie ad andamento Est-Ovest dovrebbe agire come *seal*, giustapponendo diversi chilometri di carbonato a grana fine contro carbonati. Sebbene di per sé la presenza di un *fault seal* non è necessariamente un rischio critico, da altra parte la fratturazione, componente chiave richiesta per aumentare il rapporto porosità/permeabilità del *reservoir*, può allo stesso tempo danneggiare l'integrità del *seal*.

In aggiunta al rischio di un *seal* laterale in presenza di un *reservoir* permeabile fratturato, significativi rischi sono anche: 1) presenza della roccia madre, 2) tempo di migrazione degli idrocarburi generati rispetto alla formazione della trappola strutturale di Toro, e 3) probabile presenza di CO₂ nel *reservoir* Apulo. Per queste ragioni, la Texaco ed i suoi *partners* hanno ritenuto che la possibilità di avere una scoperta petrolifera con quantità commerciali nel permesso Toro sia inesistente.

TEXACO ENERGIA S.p.A.
L'Amministratore Delegato
G. Antoniotti

Larry Clark

DIRECTOR EXPLORATION

OK
JHE