

STUDIO DEI PARAMETRI DI ACQUISIZIONE MEDIANTE SISMOGRAMMI SINTETICI

RIASSUNTO

E' stato messo a punto un programma per la generazione di sismogrammi sintetici basato sul noto metodo della riflettività con possibilità di simulare diversi sistemi di acquisizione anche in presenza di rumore.

Si presentano alcuni esperimenti condotti su un modello crostale. Questi consentono un confronto quantitativo del comportamento di sistemi di acquisizione differenti.

In particolare, è possibile valutare fino a quali distanze i sistemi di acquisizione tipicamente usati nella sismica a riflessione a piccolo angolo sono vantaggiosi in termini di rapporto segnale-rumore rispetto ai metodi tradizionalmente applicati per studi di crosta profonda (riflessione a grande angolo).

ABSTRACT

We have set up a code for the generation of synthetic seismograms based on the well-known reflectivity method which includes also modeling of different acquisition systems and noise.

Some experiments on a crustal model are presented. They allow a quantitative comparison of the behaviour of different acquisition systems. As a result, it is possible to evaluate the offset range where the reflection acquisition systems conventionally used in hydrocarbon exploration improve the signal to noise ratio with respect to the methods traditionally applied for crustal studies (wide angle reflection seismics).

PAROLE CHIAVE: Sismogrammi sintetici, Metodo della riflettività, Sistemi di acquisizione, Modelli crostali.

KEY WORDS: Synthetic seismograms, Reflectivity method, Acquisition systems, Crustal models.

INTRODUZIONE

Il progetto CROP del C.N.R. si propone di studiare la crosta profonda avvalendosi di strumenti e metodi provenienti da discipline diverse.

In particolare il progetto prevede di utilizzare i metodi sismici a riflessione quasi verticale (NVR), tradizionalmente legati all'esplorazione petrolifera con obiettivi relativamente poco profondi, integrandoli, dove possibile, con i metodi sismici a riflessione a grande angolo (WAR).

(*) Dip. di Elettronica, Politecnico di Milano, Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano.

I due metodi presuppongono tecniche di ricezione diverse:

- per la sismica a riflessione NVR, stendimenti di geofoni a frequenza naturale di 10 Hz, con i vantaggi di aumentare la potenza del segnale registrato e di attenuare le onde superficiali;

- per la sismica a riflessione WAR, geofoni singoli a frequenza naturale di 1 Hz, con il vantaggio di registrare tutto lo spettro di frequenza del segnale, che a grandi distanze è particolarmente spostato sulle basse frequenze a causa dell'assorbimento del terreno.

In questo quadro si è quindi pensato che potesse essere utile - per poter meglio progettare l'acquisizione dei profili - un confronto tra le due tecniche effettuato attraverso simulazioni su modelli crostali attendibili per le zone interessate dai profili stessi. Il metodo di simulazione scelto è quello della riflettività che descrive in modo completo le caratteristiche di tutte le onde che si generano durante la propagazione in un modello tridimensionale a strati piano-paralleli.

Il confronto è condotto in modo da osservare, a pari rumore ambientale, il diverso comportamento dei due sistemi di acquisizione a seguito del diverso guadagno del *pattern* di ricezione; l'esperimento è fatto a parità di carica di esplosivo ottimizzando per ciascuna tecnica la configurazione di scoppio. La simulazione si avvale di dati sperimentali disponibili in letteratura per ciò che riguarda la relazione tra carica di esplosivo e spettro dell'ondina generata e di misure effettuate sui dati CROP-02 per la valutazione del rapporto segnale-rumore.

La prima parte di questa nota presenta la metodologia usata nella simulazione. Segue la descrizione del modello crostale scelto per la descrizione dei risultati ed infine si mostrano i sismogrammi sintetici ottenuti mettendo in risalto le proprietà di entrambe le tecniche al variare della distanza sorgente-ricevitore.

METODO DI SIMULAZIONE

IL METODO DELLA RIFLETTIVITA'

Il programma di simulazione utilizzato si basa sul metodo della riflettività che, in modelli a strati piano-paralleli, descrive in maniera completa tutte le onde che si generano durante la propagazione. Possono quindi essere modellati correttamente fenomeni quali: riflessioni, rifrazioni, conversioni di modo, multiple, assorbimento e dispersione.

In questo caso, nell'implementazione del programma è stata utilizzata una formulazione dell'integrale di Sommerfeld-Weil particolarmente adatta a questo tipo di simulazioni. Infatti, per modelli in cui gli *offset* considerati sono molto più grandi delle lunghezze d'onda coinvolte, il contributo della funzione di Hankel di primo tipo può essere considerato trascurabile, quindi la funzione di Bessel della formulazione originale viene sostituita dalla funzione di Hankel di secondo tipo.

Essendo il confronto tra due tecniche di acquisizione lo scopo dello studio, sono state introdotte nel programma di base alcune funzioni per tenere conto dei parametri di acquisizione. In Fig. 1 sono illustrati i passi principali del procedimento usato negli esperimenti.

ONDINA SORGENTE

Si suppone una sorgente di tipo esplosivo. L'ondina utilizzata nella simulazione è un'ondina di Ricker a fase minima (HOSKEN, 1988). Le sue caratteristiche spettrali, ampiezza e frequenza centrale, sono scelte sulla base di curve di regressione ricavate da dati reali acquisiti con configurazioni simili. Tali curve illustrano la variazione dello spettro dell'ondina in funzione della carica di esplosivo (Figg. 2 e 3).

RICEVITORI

I due sistemi di acquisizione che vengono simulati differiscono per guadagno e direttività:

- geofoni singoli a frequenza naturale di 1 Hz;
- stendimento di geofoni a frequenza naturale di 10 Hz. I *pattern* sono di tipo lineare, con 24 geofoni regolarmente spazati in 80 m.

RUMORE

Alle tracce sintetiche ottenute viene sommato un rumore bianco, il cui livello di potenza è stato calcolato su dati reali (dati CROP-02-88, acquisiti con esplosioni di 96 kg) secondo la seguente procedura: attraverso lo studio dei primi arrivi è stato ricavato il modello stratigrafico; su questo è stata poi effettuata la simulazione secondo i criteri già detti; il livello di rumore aggiunto sul sismogramma sintetico è quindi stato imposto in modo tale da avere il medesimo rapporto segnale-rumore dei dati reali per le medesime distanze (è stata eseguita una media su 20 tracce). L'operazione è stata fatta ad una distanza sufficiente per escludere il disturbo di *ground-roll*; pertanto il rumore simulato corrisponde al rumore ambientale incoerente (Fig. 4).

IL MODELLO

Il modello di cui si presentano le simulazioni è rappresentato in Fig. 5. Le caratteristiche fisiche e geometriche sono state scelte in accordo con alcuni modelli proposti per la zona Tosco - Laziale in base a rilievi già effettuati (AMATO *et al.*, 1991; GIESE *et al.*, 1981); si noti che sono state incluse due zone a bassa velocità.

Le velocità delle onde S sono state calcolate assumendo un valore di 0.25 per il coefficiente di Poisson. Le densità sono state calcolate secondo la formula empirica di BIRCH (1964). I valori del fattore di qualità per le onde S (Q_s) sono stati calcolati come 4/9 del valore del fattore di qualità per onde P (Q_p) (ANDERSON & ARCHAMBEAU, 1964).

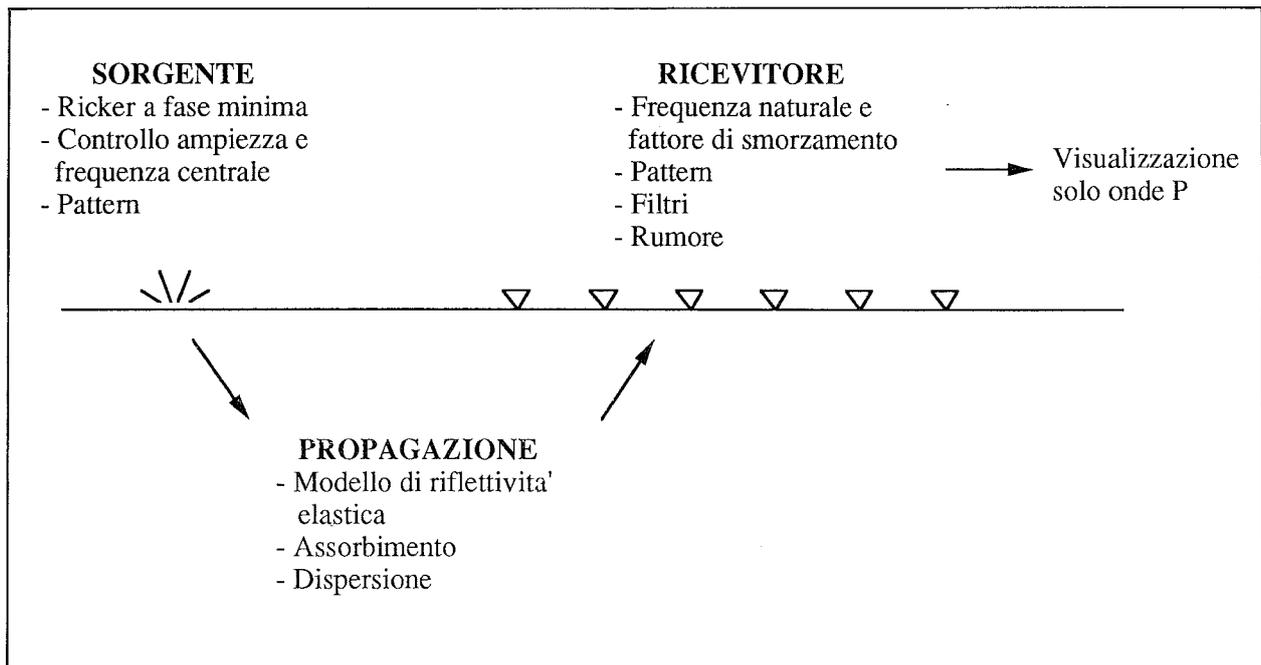


Fig. 1 - Schema illustrativo del procedimento di calcolo usato per la simulazione.

Dati sperimentali e curva di regressione

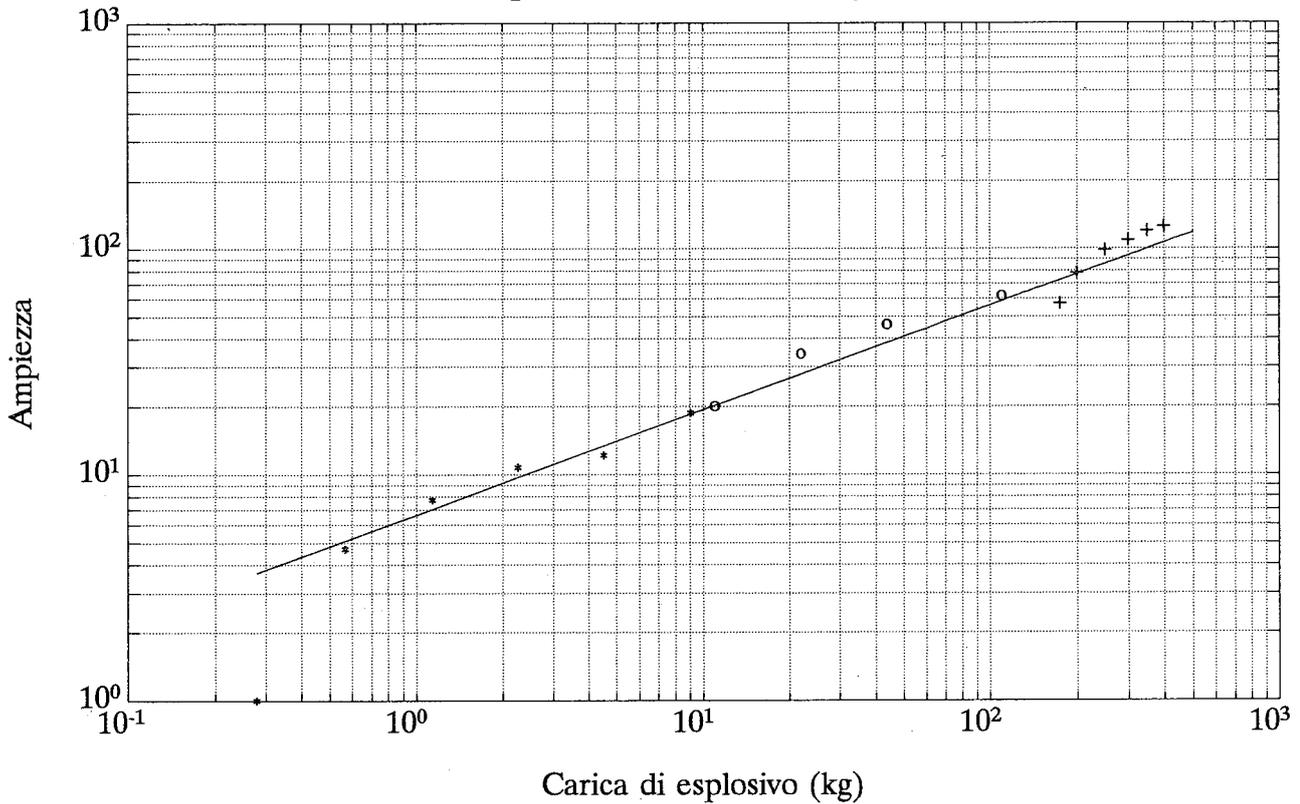


Fig. 2 - Relazione tra carica di esplosivo utilizzata e ampiezza dello spettro dell'ondina (misurato in corrispondenza del picco massimo). I dati sono stati ricavati da: *: JALINOOS & WHITE (1986); o: BELL (1986); +: BIELLA *et al.* (1989).

Dati sperimentali e curva di regressione

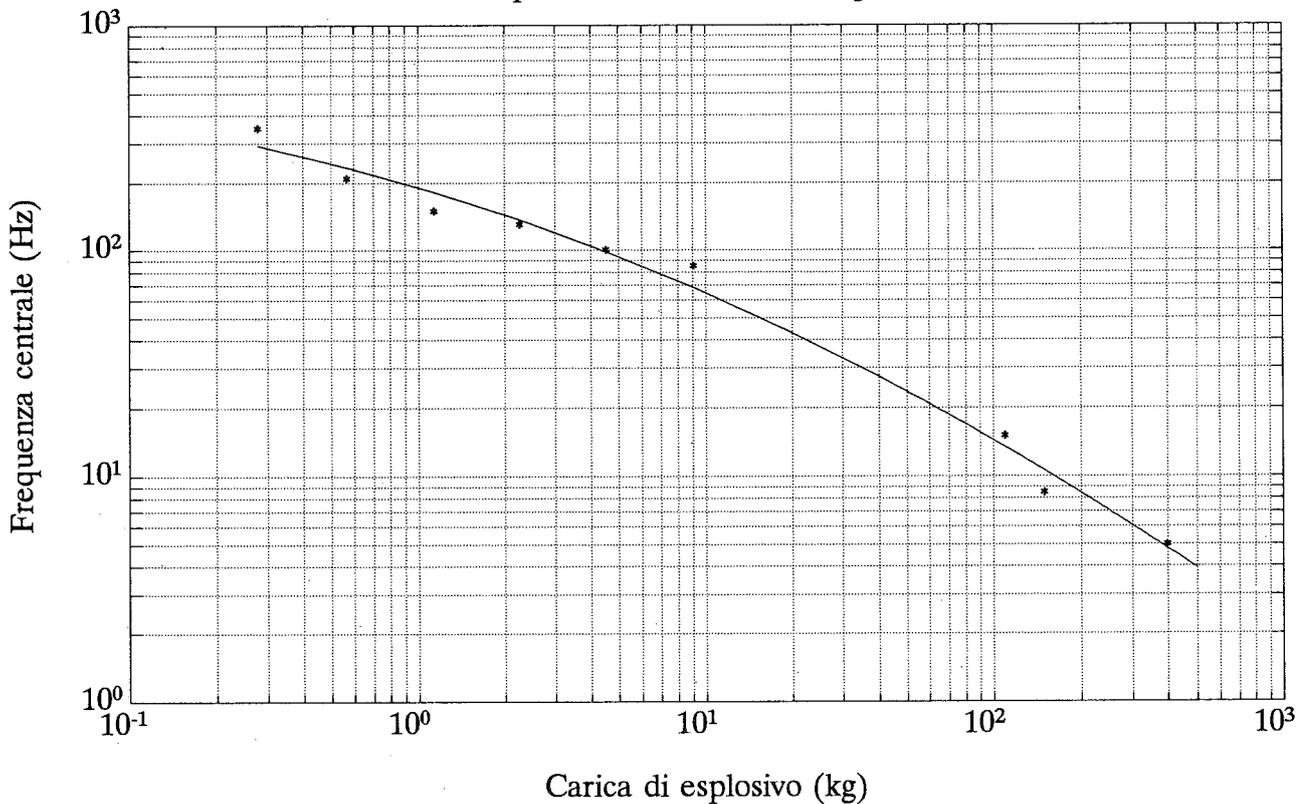


Fig. 3 - Relazione tra carica di esplosivo utilizzata e frequenza centrale dello spettro dell'ondina. I dati sono stati ricavati da: ANSORGE (1986); JALINOOS & WHITE (1986); BELL (1986); dati della linea a esplosivo CROP-02-88.

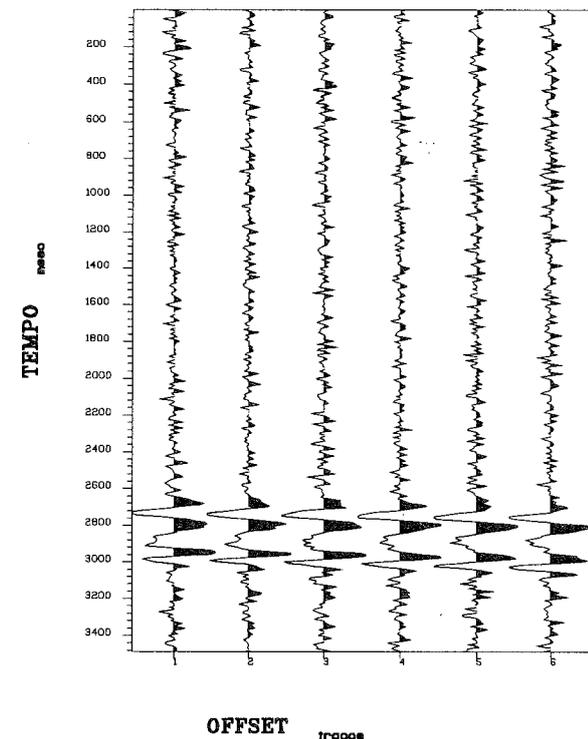
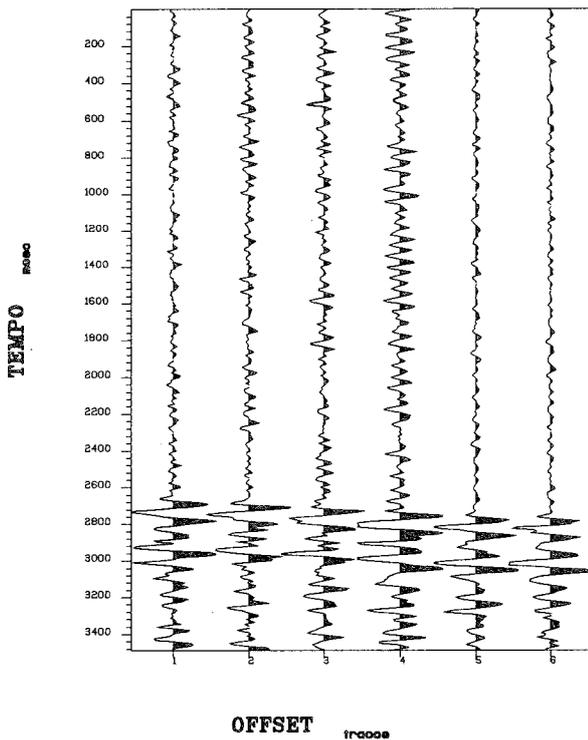


Fig. 4 - Calcolo del livello del rumore utilizzato nella simulazione. In alto: dati reali (CROP-02-88). Pattern di 24 geofoni a frequenza naturale di 10 Hz. L'offset della prima traccia è di 15440 m, l'intervallo tra le stazioni è di 80 m. In basso: dati sintetici con rumore aggiunto.

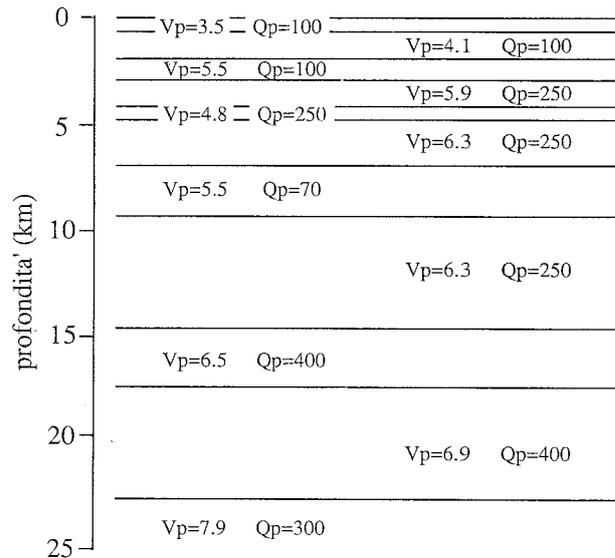


Fig. 5 - Parametri fisici e geometrici del modello usato

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

RIFRAZIONI PROFONDE

Il primo esperimento è stato effettuato simulando *offset* fino a 120 km. L'ondina sorgente è quella corrispondente a 800 kg di carica. Essa è distribuita in 8 pozzetti per l'esperimento con *pattern* di geofoni a 10 Hz e in 4 pozzetti per l'esperimento con geofoni singoli da 1 Hz, in modo che l'energia dell'ondina generata sia concentrata il più possibile nella banda di frequenza del sistema ricevente.

In Fig. 6 sono rappresentati il modello cinematico e il sismogramma sintetico ottenuto simulando il *pattern* di geofoni senza rumore aggiunto.

I due sismogrammi sintetici con rumore sono visibili in Fig. 7. In entrambi i casi è stato applicato un filtro passabasso ottimale per migliorare il rapporto segnale-rumore.

Essendo il rumore posto ad un livello costante e avendo normalizzato ogni traccia al suo massimo, la figura consente di apprezzare le differenze in ampiezza dei segnali registrati dalle due diverse configurazioni.

Si possono quindi fare alcune considerazioni:

- Fino a circa 50 km di distanza il rapporto segnale-rumore è nettamente superiore nella simulazione della configurazione con *pattern* di geofoni.

- Dopo i 50 km soltanto la configurazione con geofoni singoli è in grado di mostrare chiaramente un evento. Dal confronto con la figura precedente si vede che l'evento maggiormente visibile corrisponde alla riflessione dell'interfaccia più profonda.

- Infine dopo i 100 km di distanza in entrambi i casi il segnale è completamente mascherato dal rumore. La rifrazione dell'interfaccia più profonda non è quindi visibile con nessuna delle due configurazioni.

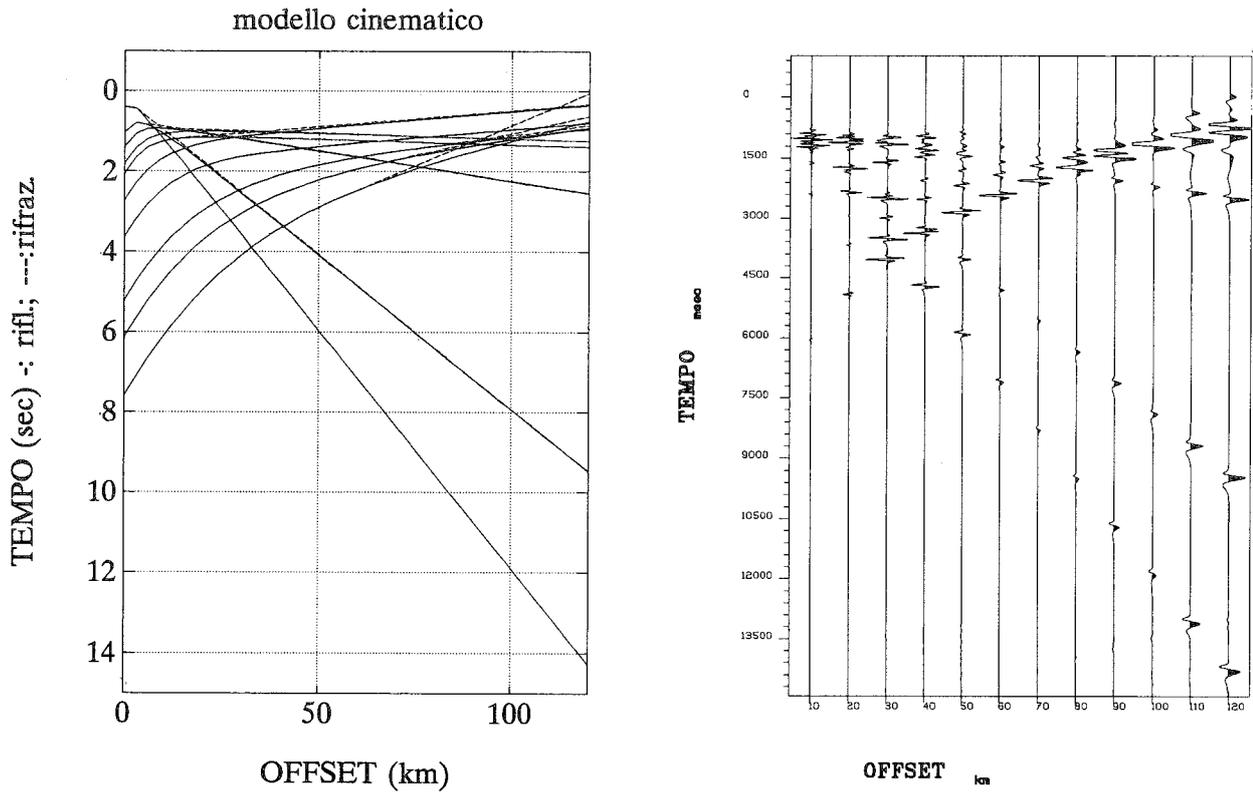


Fig. 6 - A sinistra: modello cinematico. E' stata applicata una velocità di riduzione di 6.0 km/sec. A destra: sismogramma sintetico in assenza di rumore (*pattern* di 24 geofoni a frequenza naturale di 10 Hz). E' stato applicato un recupero di guadagno. Ogni traccia è normalizzata singolarmente.

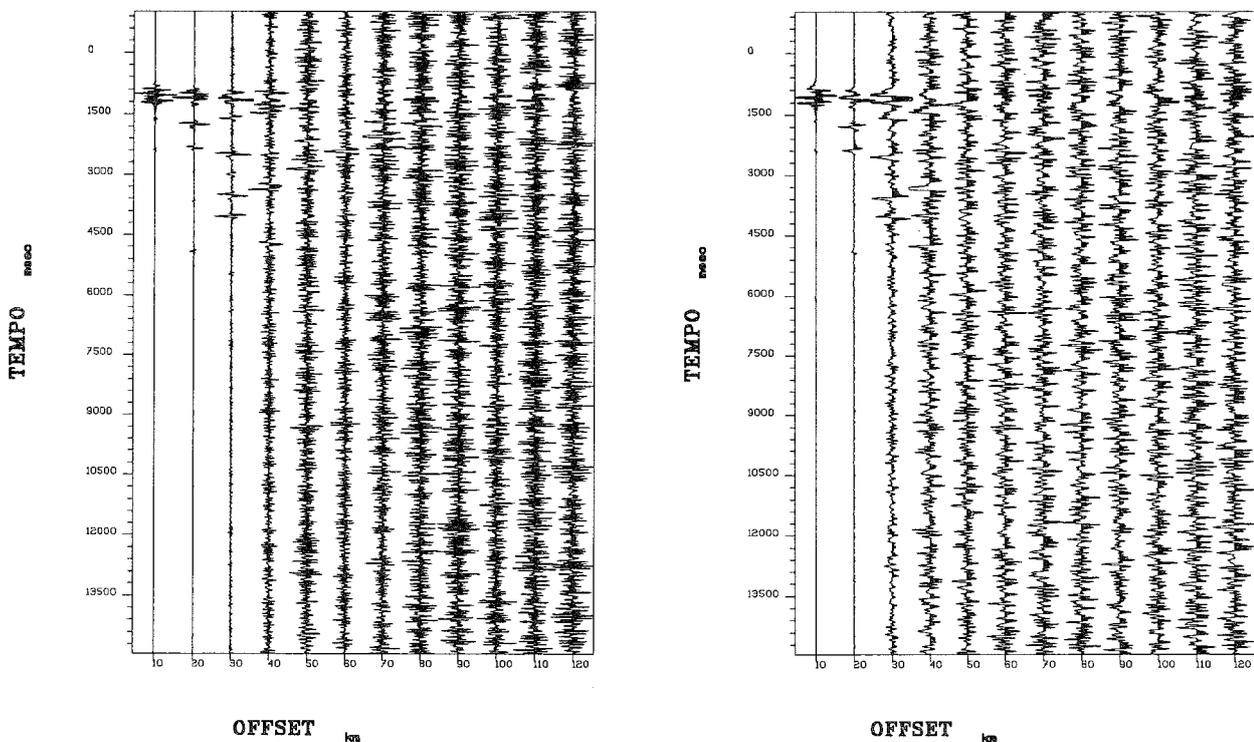


Fig. 7 - Confronto tra le due tecniche di acquisizione. A sinistra: sismogramma sintetico ottenuto con *pattern* di 24 geofoni a frequenza naturale di 10 Hz. A destra: sismogramma sintetico ottenuto con geofoni singoli a frequenza naturale di 1 Hz. Ogni traccia è normalizzata singolarmente.

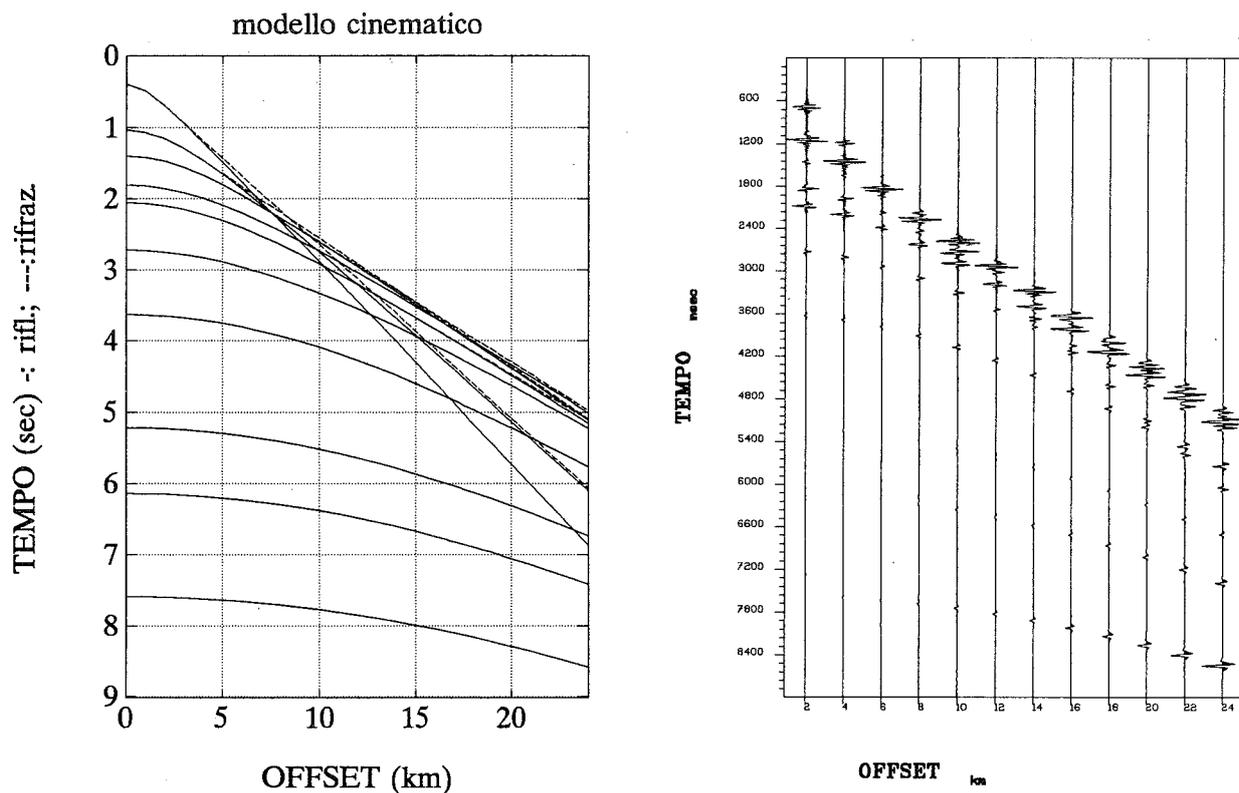


Fig. 8 - A sinistra: modello cinematico. A destra: sismogramma sintetico in assenza di rumore (*pattern* di 24 geofoni a frequenza naturale di 10 Hz). E' stato applicato un recupero di guadagno. Ogni traccia è normalizzata singolarmente.

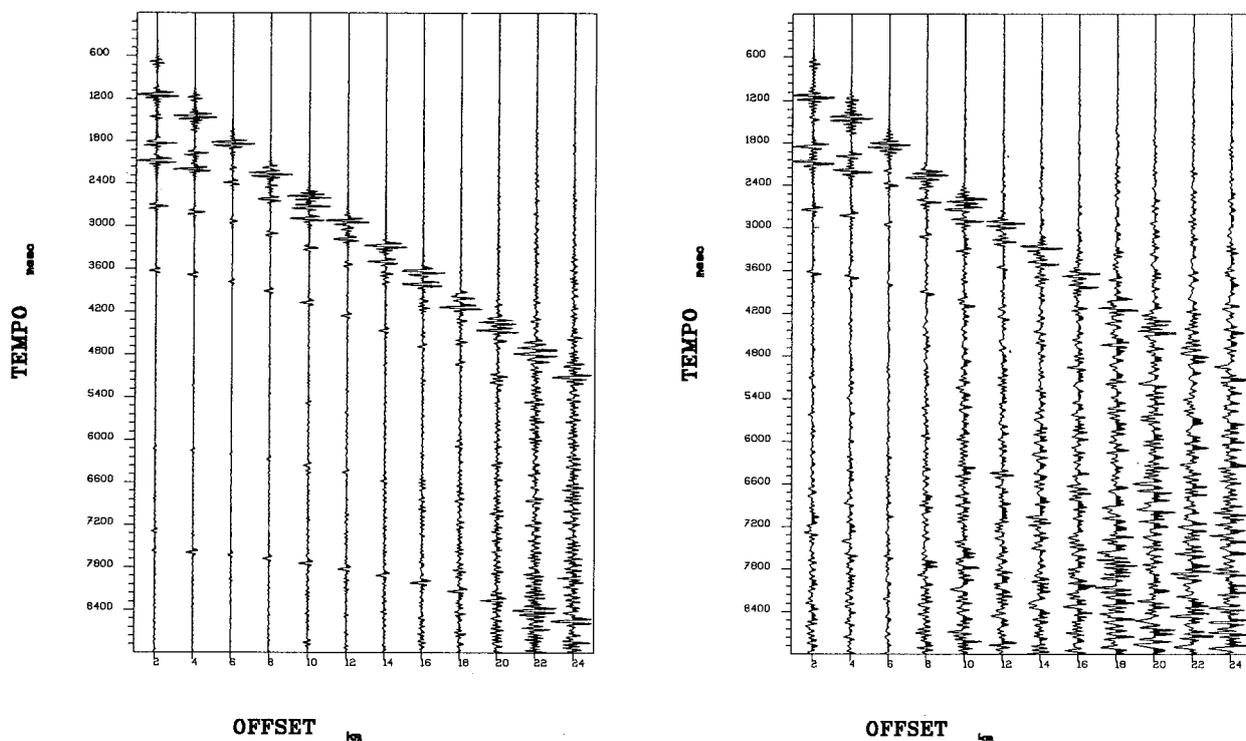


Fig. 9 Confronto tra le due tecniche di acquisizione. A sinistra: sismogramma sintetico ottenuto con *pattern* di 24 geofoni a frequenza naturale di 10 Hz. A destra: sismogramma sintetico ottenuto con geofoni singoli a frequenza naturale di 1 Hz. E' stato applicato un recupero di guadagno. Ogni traccia è normalizzata singolarmente.

Tuttavia, i valori dei parametri scelti per la simulazione (ampiezza e frequenza centrale dell'onda sorgente come funzioni della carica di esplosivo usata, livello di rumore aggiunto) non vanno intesi come predeterminazioni delle condizioni di campagna, ma come valori che simulano condizioni riscontrate in dati reali acquisiti in situazioni simili.

RIFLESSIONI PROFONDE

Il secondo esperimento simula con maggior dettaglio il comportamento dei due sistemi di ricezione per una configurazione adatta all'osservazione delle riflessioni a piccolo angolo. Si considerano *offset* fino a 24 km per avere una descrizione sufficiente anche delle iperboli di riflessioni profonde. Di conseguenza i parametri applicati alla sorgente sono dimensionati per queste distanze: per entrambe le configurazioni la carica è di 100 kg, posti in un unico pozzetto.

Come per l'esperimento precedente, si mostra il modello cinematico e la simulazione senza rumore effettuata sulla configurazione con i *pattern* di geofoni (Fig. 8).

Le simulazioni con rumore (Fig. 9) confermano che entro queste distanze l'acquisizione effettuata estendendo le tecniche convenzionali dell'esplorazione petrolifera permette di ottenere un miglior rapporto segnale-rumore.

Si noti in particolare come questa tecnica riesca ad evidenziare anche gli eventi più profondi (fino a circa 20 km), mentre gli stessi eventi sono completamente mascherati dal rumore fin dagli *offset* più corti nelle tracce registrate con geofoni singoli.

CONCLUSIONI

Sono state mostrate alcune simulazioni effettuate su un modello crostale.

Gli esperimenti dimostrano che per evidenziare gli eventi riflessi da interfacce profonde la tecnica migliore consiste nell'utilizzare i sistemi di acquisizione della sismica a riflessione convenzionale estesi, mediante la procedura nota come *expanding spread*, fino a distanze proporzionali alla profondità dei riflettori interessanti.

Per quanto riguarda le rifrazioni profonde gli esperimenti confermano che il decadimento delle ampiezze, tanto maggiore quanto più alta è la frequenza, è tale da vanificare sulle lunghe distanze il guadagno ottenibile con un *pattern* di geofoni leggeri (10 Hz) rispetto a un singolo geofono di maggiore ingombro (1 Hz).

Nel complesso, simulazioni di questo tipo si rivelano interessanti in fase di progettazione dei parametri di acquisizione per rilievi con obiettivi profondi.

Tuttavia, dato che le caratteristiche spettrali delle ondate generate dalle esplosioni e il livello di rumore sono fortemente legate alle condizioni locali, potrebbe essere utile aggiornare questi parametri e il modello

stratigrafico sulla base dei dati sperimentali via via raccolti durante l'acquisizione stessa; in questo modo si potrebbe disporre di simulazioni attendibili anche per ciò che riguarda il rapporto segnale-rumore mediante le quali ottimizzare il procedere delle acquisizioni.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano il prof. F. ROCCA per gli utili consigli e l'ing. G. BERNASCONI che ha implementato l'algoritmo della riflettività. Inoltre ringraziano il dott. R. DE FRANCO, che ha anche fornito un valido aiuto nella ricerca dei dati sperimentali, il prof. R. CASSINIS, il prof. P. PIALLI e il prof. R. NICOLICH per le discussioni critiche sui modelli e sulla validità dell'esperimento.

La ricerca è stata finanziata dal C.N.R.

BIBLIOGRAFIA

AMATO A., BIELLA G., CHIESA S., DE FRANCO R., MALAGNINI L., MINELLI G., PONZIANI F. & VEZZOLI L. (1991) - *Il profilo sismico Tarquinia Pienza*. Workshop "Evoluzione dei bacini Neogenici e loro rapporto con il magmatismo Plio-Quaternario nell'area Tosco-Laziale". Pisa, 12-13 Giugno.

ANDERSON D. L. & ARCHAMBEAU C. B. (1964) - *The anelasticity of the earth*. J. Geophys. Res., **69**, 2071-2084.

ANSORGE J. (1986) - *Some aspects of the interpretation of deep seismic sounding data*. International school of applied geophysics, Erice.

BELL D. W. (1986) - *Low seismic frequencies: acquisition and utilization of broad-band signals containing 2-8 Hz reflection energy*. The 55th SEG Annual Mtg., Exp. Abs., Huston.

BENASCONI G. (1990) - *Il metodo della riflettività*. Rapporto interno 90.004, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano.

BERNASCONI G. & DRUFUCA G. (1990) - *Coefficienti di riflessione e di trasmissione per mezzi non elastici*. XI Congresso del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida.

BIELLA G., DE FRANCO R., LENTINI E. & MASOTTI R. (1989) - *Analisi delle onde S nella sismica a rifrazione profonda*. VIII Congresso del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida.

BIRCH F. (1964) - *Density and composition of the mantle and core*. J. Geophys. Res., **69**, 4377-4387.

BRASEL S. D. (1979) - *Pattern of sources and detectors*. Developments in Geophysical Exploration Methods - 1, ed. FITCH, Applied Science Publishers.

GIESE P., WIGGER P., MORELLI C. & NICOLICH R. (1981) - *Seismische Studien zur Bestimmung der Krustenstruktur im Bereich der geotermischen Anomalie der Toskana*. Schlußbericht zum Forschungsprogramm, pp. 108.

HOSKEN J. W. J. (1988) - *Ricker wavelets in their various guises*. *First Break*, **6** (1), 24-33.