

AGIP S.p.A.
DES/ETRA

CAMPO DI SORIANO
(CONCESSION: MARCHIA DI PIERNO, AVANFOESA APULA)
RECHEROIR DELINEATION ESTENSIONE DELLE SABBIE
A GAS PLIOCENICHE SULLE LINEE RG-360-80 E GP-26

S. GEMELLI (SESANT)
A. MARINI (ESESIOU)
P. TOGNINI (GERMAMES)

S. Donato Milanese, Settembre 1989





SINTESI GEOLOGICA

L'area dell'istanza di concessione MACCHIA DI PIERNO, e' ubicata nella posizione centrale dell'avanfossa Apula in posizione intermedia tra il fronte dell'alloctono sepolto, ad ovest, e l'avampaese Pugliese ad Est.

La stratigrafia dell'area in esame, e' caratterizzata dalla presenza di un substrato carbonatico su cui poggiano, in discordanza, i sedimenti plio-pleistocenici.

Substrato carbonatico

I termini piu' alti della Piattaforma Apula Esterna, sono qui rappresentati dai calcari della F.ne Cupello di eta' Aptiana.

Segue poi una hiatus fino al Miocene medio caratterizzato nuovamente da sedimenti carbonatici di piattaforma aperta (F.ne S. Ferdinando, Serravalliano-Tortoniano) su cui poggiano calcari messiniani di Tidal flat.

Sequenza Plio-Pleistocenica

La sequenza Plio-Pleistocenica e' costituita alla base da depositi argillo-marnosi databili al Pliocene inferiore, trasgressivi sui termini miocenici.

Il top del Pliocene inferiore e' in genere caratterizzato da una evidente unconformity su cui si depongono, in onlap, i depositi torbiditici del Pliocene medio e superiore.

L'intervallo argilloso-marnoso basale, costituisce un ottimo marker ben individuabile sulla sismica.

Nelle aree limitrofe alla zona in esame (vedi ad es.conc.Candela) i depositi del Pliocene medio superiore possono essere ascritti a due distinti cicli torbiditici coincidenti con altrettante fasi tettoniche principali.

Il ciclo inferiore, ben sviluppato nell'ambito della concessione Candela, comprende i livelli AS e PA produttivi a gas con minori quantita' di olio.

Segue un intervallo caratterizzato da depositi argilloso-marnosi contenente un episodio carbonatitico di limitata estensione, non piu' presente nell'ambito dell'area in esame.

Il ciclo torbiditico superiore comprende i livelli CD anch'essi produttivi a gas.

Il pozzo Soriano 1 ha rinvenuto mineralizzazione a gas in livelli appartenenti a questa seconda fase torbiditica mentre risulta completamente assente il ciclo inferiore.

In base ai risultati emersi da studi recenti i livelli mineralizzati di Soriano possono essere considerati depositi di frangia di lobo.



Poco prima del passaggio Pliocene superiore-Pleistocene la deposizione di un livello argilloso seguito da un episodio cineritico, che costituiscono entrambi degli ottimi marker sismici, segnano la fine del ciclo torbiditico superiore.

Il bacino viene poi progressivamente colmatato da sedimenti di ambiente deltizio e continentale.



ELABORAZIONE DELLE LINEE SISMICHE FG-369-80 E GI-26

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Di seguito sono elencati i principali parametri di acquisizione delle due linee elaborate:

LINEA: FG-369-80

- Contrattista : Western - Dicembre 1980;
- Sorgente di energia : Dinamite;
- Carica media per punto di scoppio : 6 kg.;
- Numero di pozzetti per punto di scoppio .. : 1;
- Profondità media di scoppio : 30 m.;
- Configurazione del cavo : 1900m-20m-sp-20m-1900m
..... numero di gruppi 96
..... spaziatura tra i gruppi 40 m.;
- Apparecchiatura di Registrazione : GUS-BUS
..... inter.di campionamento 2 msec;
- Filtri di campagna : taglia basso 10 HZ, taglia alto 110 HZ;
- Frequenza dei geofoni : 14 HZ;
- Numero di geofoni per gruppo : 18;
- Lunghezza di registrazione : 6 sec.;
- Copertura : 1200 %.

LINEA: GI-26

- Contrattista : Siag a-105 - Luglio, 1974;
- Sorgente di energia : Dinamite;
- Carica media per punto di scoppio : 8 kg.;
- Numero di pozzetti per punto di scoppio .. : 1;
- Profondità media di scoppio : 18-21 m.;
- Configurazione del cavo : 1125m-150m-sp-150m-1125m
..... numero di gruppi 24
..... spaziatura tra i gruppi 75m.;
- Apparecchiatura di registrazione : 10k-DFS
..... inter. di campionamento 2 msec.;
- Filtri di campagna : taglia basso 12 HZ, taglia alto 92 HZ;
- Frequenza dei geofoni : 14 HZ;
- Numero di geofoni per gruppo : 24;
- Lunghezza di registrazione : 5 sec.;
- Copertura : 600 %.



SEQUENZA DI ELABORAZIONE

Elaborazione sismica della linea FG-369-80

Sono di seguito esaminati tutti gli steps costituenti la sequenza di elaborazione della linea FG-369-80.

- Edit floating point

I dati sismici di campagna, sono stati convertiti, partendo da formato multiplex (SEG B - gap), in un formato demultiplex utile per le successive elaborazioni.

I dati sono inoltre stati riportati in "Geophone Amplitude" con "Floating Point Notation", in modo da recuperare la reale ampiezza registrata mantenendo intatta l'escursione dinamica del segnale sismico.

- Noise train suppression

I files organizzati per punto di scoppio comune presentano nelle tracce centrali un cono di disturbi dovuti a ground roll. Tale disturbo e' stato attaccato stimando la banda di frequenza e limitando l'applicazione di un filtro di frequenza al solo cono di rumore.

- Sort in CDP Gathers

Le tracce sismiche sono successivamente state riordinate in base al loro punto comune di riflessione ("Common Depth Point"), tenendo conto delle geometrie dello stendimento.

Una funzione di guadagno, statisticamente derivata dai dati sismici, e' stata applicata per compensare il decadimento di ampiezza dovuto alle perdite per divergenza sferica, riflessioni parziali ed attenuazione. Le tracce sono inoltre state bilanciate portando il loro valore quadratico medio RMS ad un valore comune di 2000.

- Correzione statiche residue

E' stato effettuato un calcolo automatico preliminare delle statiche residuali con un programma statistico di tipo "Surface Consistent" utilizzando informazioni di velocita' della precedente elaborazione.

- Deconvoluzione prima dello stack

Dopo una serie di test di autocorrelazione e di "decon panels" per la scelta ottimale dei parametri, e' stata applicata alle tracce sismiche una deconvoluzione predittiva con i seguenti parametri:

Wind. 0.0-2.5 sec. Op 4-160 msec. W.L. 1%
Wind. 2.5-5.0 sec. Op 4-160 msec. W.L. 1%

- Analisi di velocita' preliminari

Sulla linea sono state effettuate delle analisi di velocita' preliminari prendendo in esame gruppi di 8 CDF. Questo primo giro di analisi di velocita' si e' reso necessario per avere un campo di velocita' preliminare per meglio valutare le variazioni laterali di velocita' in vista del secondo giro di calcolo delle statiche residuali.



- **Secondo calcolo delle correzioni statiche residue**

Dopo aver definito al meglio il campo di velocita' si e' inoltre effettuato un aggiuntivo calcolo di applicazione delle correzioni statiche residuali sempre con metodologie "Surface Consistent".

- **Analisi di velocita' finali**

Dopo aver definito al meglio il campo di statiche residue e' stato effettuato un secondo passo di analisi di velocita' utilizzando i seguenti parametri:

Spaziatura ca 1000 m
Range 1500 - 5000 m/sec
Incremento 100 m/sec
Finestra di correlazione 0.0 - 3.0 sec 20 msec
3.0 - 6.0 sec 32 msec

- **N.M.O. correction e stack 1200%**

Le funzioni di velocita' ottenute sono state utilizzate per eseguire le correzioni di dinamica. Dopo le correzioni statiche di campagna e residue e' stato effettuato lo stack.

- **Conversione a fase zero**

Attraverso una stima statistica del dato sismico, e' stata ricavata un'ondina equivalente a fase minima. Da questa ondina a fase minima e' stata ricavata l'ondina equivalente a fase zero ed un operatore per il passaggio di fase.

Tale operatore e' stato infine applicato al dato sismico.

- **Time Variant Filter**

Una serie di filtri di frequenza interpolati nel tempo e nello spazio sono stati applicati alla sezione stack per migliorare il rapporto segnale/disturbo ed aumentare la continuita' del segnale sismico.

- **Radial Predictive Filter**

In questo passo vengono attaccati i disturbi "random". L'algoritmo, attraverso crosscorrelazioni fra tracce adiacenti e sulla base di valori possibili di pendenza del segnale forniti dall'utente, riconosce il segnale coerente e considera il resto dei dati come disturbo. Successivamente esso elimina quest'ultima parte di dato sismico in una percentuale scelta dall'utente. In questo caso e' stato scelto di eliminare il 30% dei dati considerati disturbo.

- **W-X domain time Migration**

La sezione stack e' stata migrata in tempi per recuperare l'energia difrattata e per riportare gli eventi sismici nella loro corretta posizione laterale. E' stato usato l'algoritmo W-X per tenere in debito conto le variazioni laterali di velocita'. A tale scopo sono state utilizzate le velocita' di stack ottenute dalle analisi di velocita'.



Elaborazione sismica della linea GI-26

Per la linea GI-26 mostreremo la sequenza di elaborazione spiegando solo i passi diversi da quelli utilizzati per l'altra linea.

- Edit floating point
- Sort in CDP gathers
- Calcolo delle statiche residue

Un primo passo di calcolo delle statiche residue e' stato fatto stimando i valori residui manualmente sulle tracce raggruppate per "uguale shot" ed "uguale geofono".

- Deconvoluzione prima dello stack

Wind. 0.0-2.5 sec. Op 32-350 msec. W.L. 10%
Wind. 2.5-5.0 sec. Op 32-350 msec. W.L. 10%

- Secondo calcolo delle correzioni statiche residue (metodo "surface consistent")
- Analisi di velocita'

Spaziatura ca 400 m
Range 1600 - 5000 m/sec
Incremento 100 m/sec
Finestra di correlazione 0.0 - 5.0 sec 20 msec

- Correzione di NMO e Coherency stack

Le funzioni di velocita' ottenute con le analisi fatte sono state utilizzate per eseguire e correzioni di dinamica. Successivamente e' stato effettuato un ulteriore calcolo delle statiche residuali basato sulla ottimizzazione della coerenza delle tracce costituenti la famiglia a punto comune di riflessione ("CDF"); infine le tracce sono state sommate per ottenere la sezione Stack.

- Time Variant Filter
- Radial Predictive Filter
- Conversione a fase zero

Per la conversione a fase zero non e' stato utilizzato il metodo di stima statistica della ondina equivalente a fase minima, perche' mancavano le condizioni necessarie per svolgere tale operazione. Infatti non si era precedentemente potuto procedere al recupero del ritardo di fase dovuto alla risposta non istantanea dell'apparecchiatura di registrazione. Tale apparecchiatura, un DFS Tiac 10K, e' alquanto vecchia e, durante l'acquisizione delle linee sismiche di quella generazione non si era provveduto a effettuare dei "pulse



tests", che verificano il corretto funzionamento del registratore, oppure non si era ritenuto necessario archiviare tali tests su nastro.

Si e' quindi deciso di recuperare il ritardo rispetto alla fase zero del dato sismico confrontando porzioni di tracce della linea GI-26 con quelle corrispondenti della linea FG-369-80 all'incrocio fra le due linee, scegliendo in particolare la riflessione corrispondente all'orizzonte cineritico, ben visibile in tutta l'area. Il contenuto in frequenza dei due dati sismici, estremamente diverso, avrebbe pero' pregiudicato il risultato della operazione e, perciò, si e' provveduto, dopo aver analizzato il contenuto in frequenza della riflessione sulla linea GI-26, a filtrare nella stessa banda il segnale a fase zero della linea FG-369.

Da tale confronto si e' quindi ottenuto un operatore di rifasamento che e' stato applicato all'intera linea.

- W-X domain time Migration

OSSERVAZIONI SUI RISULTATI DELLA ELABORAZIONE SISMICA

La elaborazione convenzionale delle due linee aveva lo scopo di verificare la possibilità di migliorare i dati sismici rispetto alle elaborazioni precedenti ed inoltre la possibilità di ottenere dei dati utilizzabili per un successivo studio stratigrafico. Per quanto riguarda il primo obiettivo, esso e' stato raggiunto curando il problema principale, la determinazione delle correzioni statiche residue. Per il secondo obiettivo invece, va detto che esso e' stato raggiunto solo per la linea FG-369-80.

Per quanto riguarda la linea GI-26 i problemi incontrati sono stati i seguenti:

- **Coperura:**

La copertura teorica, già bassa (600%), e' stata ulteriormente abbassata sia dalle anomalie geometriche di acquisizione, sia dalla perdita di tracce o di interi files nell'operazione di demultiplex a causa dell'usura dei nastri di campagna.

- **Controllo di fase:**

Come precedentemente spiegato, non si e' potuto provvedere al recupero del ritardo di apparecchiatura. In ogni caso, il sistema di recupero finale delle condizioni di fase zero, anche se non ortodosso, si e' rivelato alquanto efficace. Infatti una successiva analisi statistica delle condizioni di fase col metodo Varimax ha mostrato degli scostamenti rispetto alla fase zero dell'ordine di 5-10 gradi.

- **Contenuto in frequenza:**

Quest'ultimo problema e' sicuramente il più importante. Il contenuto di frequenza del dato sismico, specie nella zona dell'obiettivo e' sicuramente troppo scarso, soprattutto se rapportato alla linea FG-369-80. Cio' e' dovuto al fatto che la scarsa copertura e un eccessivo livello di rumore non hanno permesso l'utilizzo di una deconvoluzione di tipo spiking, che avrebbe permesso una adeguata espansione dello spettro di frequenza. Il problema del contenuto di frequenza si era comunque rivelato immediatamente fin



dalla osservazione dei files demultiplexati, il che fa supporre uno spettro di ampiezza estremamente limitato già in acquisizione.

Sulla base di quanto fin qui detto, si sconsiglia quindi l'utilizzo di questa linea per il successivo studio stratigrafico di dettaglio a causa della sua troppo bassa risoluzione in frequenza.



19

ELABORAZIONE SPECIALE POST-STACK DEI DATI SISMICI

Sulla base dei risultati dell'elaborazione convenzionale dei dati sismici si e' ritenuto opportuno eseguire una elaborazione speciale post-stack al fine di aumentare la risoluzione ed invertire opportunamente i dati sismici ad impedenza acustica.

La sequenza di processing post-stack e' stata condotta a partire da dati in forma migrata sino a tempi di 2.5 secondi.

La zona di interesse si estende in una finestra tempi da 500 msec a 1500 msec. Tale zona include un marker tufitico, la sequenza sabbioso-argillosa del Pliocene medio ed il top dei calcari Miocenici.

METODOLOGIA DI PROCESSING

I dati di input comprendono 2 linee sismiche processate sino a migrazione post-stack. Le ulteriori fasi di processing applicate consistono in due principali steps:

- a) estrazione dell'ondina e wavelet processing: i dati sono invertiti ad una ondina a fase zero ed a larga banda al fine di avere la massima risoluzione ed interpretabilita';
- b) inversione del dato sismico ad impedenza acustica.

RAPPORTO SEGNALE/DISTURBO E LARGHEZZA DI BANDA

Il rapporto S/N e' stato stimato statisticamente per valutare la larghezza di banda del segnale sismico. La valutazione e' stata eseguita sui dati migrati, in una finestra da 300 a 1500 msec. I risultati sono mostrati nelle figg. 2-3, rispettivamente per le linee 80 e 26. Si ricorda che la banda utile e' misurata tra i punti ove il rapporto S/N eguaglia l'unità, e si estende per la linea 80 da 12 ad 80 hz. La fig. 3 mostra l'effetto di un filtro notch sullo spettro d'ampiezza della linea 26; la banda utile e' in tal caso compresa tra i 14 ed i 50 hz.

ESTRAZIONE DELLE ONDINE E WAVELET PROCESSING

La funzione del wavelet processing e' doppia; inverte dapprima i dati ad una ondina zero fase a larga banda per ottenere la massima risoluzione ed interpretabilita', secondariamente e' attivo a preparare i dati per l'inversione ad impedenza acustica.



Il wavelet processing richiede quattro differenti fasi di elaborazione:

- estrazione dell'ondina;
- inversione ad una ondina desiderata;
- estrazione multiwell dell'ondina;
- applicazione di un operatore di fase finale.

Estrazione dell'ondina

Una ondina e' stata estratta in ciascuno dei due pozzi sulla linea 80.

La Fig. 4 mostra per il pozzo Albanito 1 le 3 ondine estratte sulla sezione migrata, per differenti finestre:

Ondine Estratte	Finestre (msec)	Marker Geologico
W1	550-800	Tufite
W2	700-1000	Sabbie ed Argilla Medio Plioceniche
W3	1000-1300	Carbonati Miocenici

Si noti che il picco d'energia di ogni ondina e' presente a tempi differenti. Cio' indica che il match tra dato sismico e dato di pozzo si ottiene applicando differenti shifts in tempi per differenti profondita'. Cio' puo' essere dovuto a due fattori:

- il pozzo Albanito 1 ha un offset di 70 m verso sud rispetto alla linea 80;
- le possibili riflessioni fuori dal piano della sezione, dovute a scarpate di faglie al top dei carbonati.

Gli spettri d'ampiezza presenti in Fig. 4 danno un'idea dell'attenuazione delle alte frequenze per le ondine estratte, nella zona di interesse, a tempi piu' elevati.

Le correlazioni tra i sismogrammi sintetici ottenuti utilizzando le ondine estratte e le tracce sismiche sono buone. I coefficienti di correlazione (R) ottenuti sono riassunti in Tab. 1.

Wavelet processing

Obiettivi del wavelet processing sono l'inversione ad una ondina desiderata (desired output) ed una preliminare correzione a fase zero.

L'ondina desiderata e' una Butterworth wavelet con caratteristiche specificate dagli spettri S/N di Figg. 2 e 3.

Per la linea 80 (fig.5a) Low cut: 12 hz 24 dB/oct
High cut: 80 hz 96 dB/oct



CONC

Per la linea 26 (fig.5b) Low cut: 14 hz 24 dB/oct
High cut: 50 hz 96 dB/oct

Il wavelet processing c' è stato condotto per la linea 80 usando l'ondina estratta al pozzo Albanito 1, che fornisce il coefficiente di correlazione più elevato. Per la linea 26, dato che nessun pozzo c' è disponibile, c' è stata considerata una ondina Butterworth fase zero.

In Fig. 6 sono riportati gli spettri d'ampiezza e di fase e le ondine estratte in Albanito 1 dopo lo step di wavelet processing.

Il confronto con gli spettri di Fig. 4 mostra come il wavelet processing ha compensato la attenuazione di alte frequenze all'aumentare della profondità, nella zona di interesse.

Multiwell wavelet processing

Per la linea 80 c' è stato calcolato un operatore di fase residuale utilizzando lo spettro di fase di una ondina estratta contemporaneamente da entrambi i pozzi (multiwell extraction). Per la sezione 26 tale operatore c' è stato disegnato in modo tale da ottenere un buon match di fase all'incrocio con la linea 80.

L'operatore c' è stato quindi applicato ad ogni traccia.



CONCLUSIONI

Il principale obiettivo di questo progetto e' la individuazione e descrizione dell'estensione laterale delle zone a gas all'interno della sequenza torbiditica Pliocenica.

A tale fine, le fasi di processing post stack dei dati sismici sono state mirate alla preservazione della massima larghezza di banda nella zona di interesse, e ad una coerenza tra le ampiezze delle sezioni sismiche e dei sismogrammi sintetici elaborati per i due pozzi.

Una estrazione multiwell delle ondine ha peresso l'ottenimento di sezioni zero fase di buona qualita'. Di seguito i dati sismici wavelet processed sono stati invertiti a sezioni di impedenza acustica ad elevata risoluzione. Il minimo spessore risolvibile nella zona di interesse e' di circa 8 m per la linea 80 e 14 m per la linea 26. Un'ottima correlazione e' stata riscontrata tra il log di impedenza acustica del pozzo Soriano 1 e la corrispondente impedenza acustica da inversione delle tracce sismiche.

Una valutazione dei dati di pozzo mostra le seguenti relazioni esistenti nella zona di interesse, tra impedenza acustica e parametri petrofisici:

Bassa impedenza acustica : Sabbie a gas porose (tipo livelli B e C)
Medio-bassa impedenza acustica ... : Sabbie argillose a gas (tipo livello A)
Elevata impedenza acustica..... : Argille e Sabbie argillose non mineralizzate.

L'interpretazione delle sezioni di impedenza acustica e' stata basata su tali relazioni.

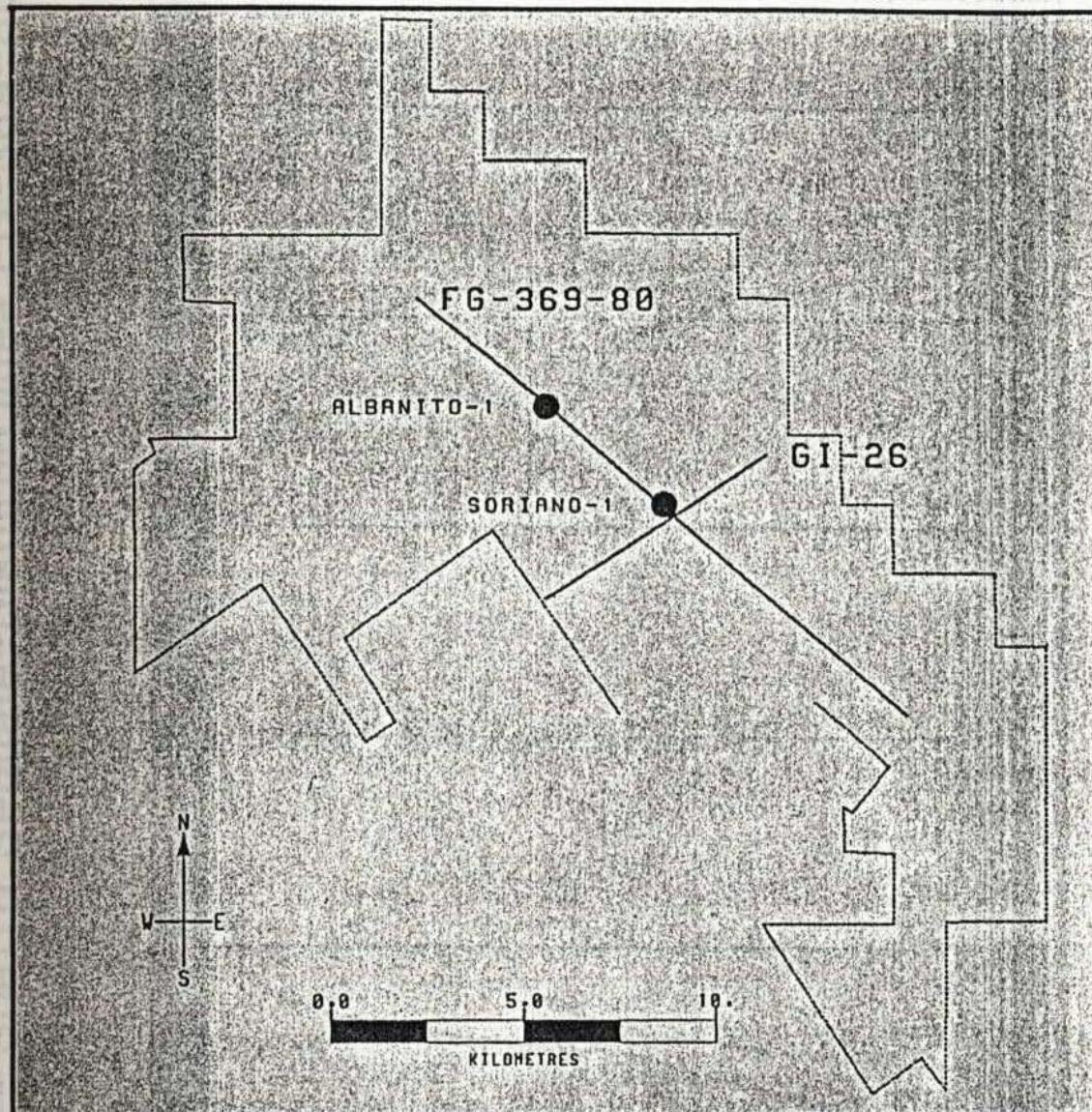
Sono stati identificati con chiarezza i due reservoir corrispondenti ai livelli B e C. Altresi' sono stati riconosciuti 4 reservoirs sabbioso argilloso a gas, uno dei quali e' corrispondente al livello A. Le sabbie porose mantengono uno spessore costante di 10-15 m.

Si puo' anche notare che i livelli C in Soriano 1 ed Albanito 1 corrispondono a due differenti unita' litologiche; piu' propriamente, il livello riconosciuto in Albanito 1 e' corrispondente ad un evento prossimo al top delle Argille del Santerno in Soriano 1.



1952 1990

Ubicazione linee e pozzi in studio



Spettri Segnale-Disturbo, linea FG-369-80



1990

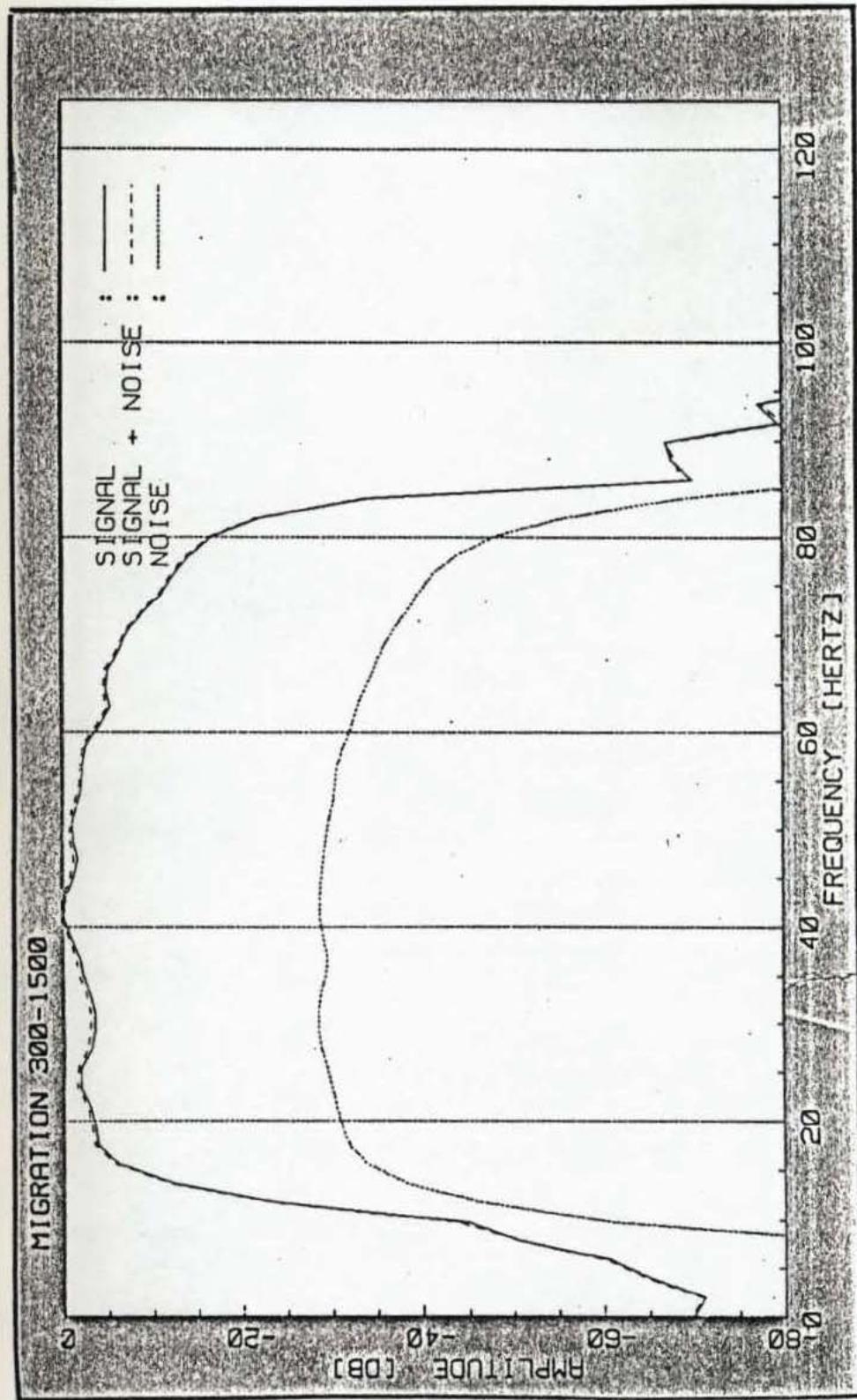


Fig.2

Spettri Segnale-Disturbo, linea GI-26

1973 1990

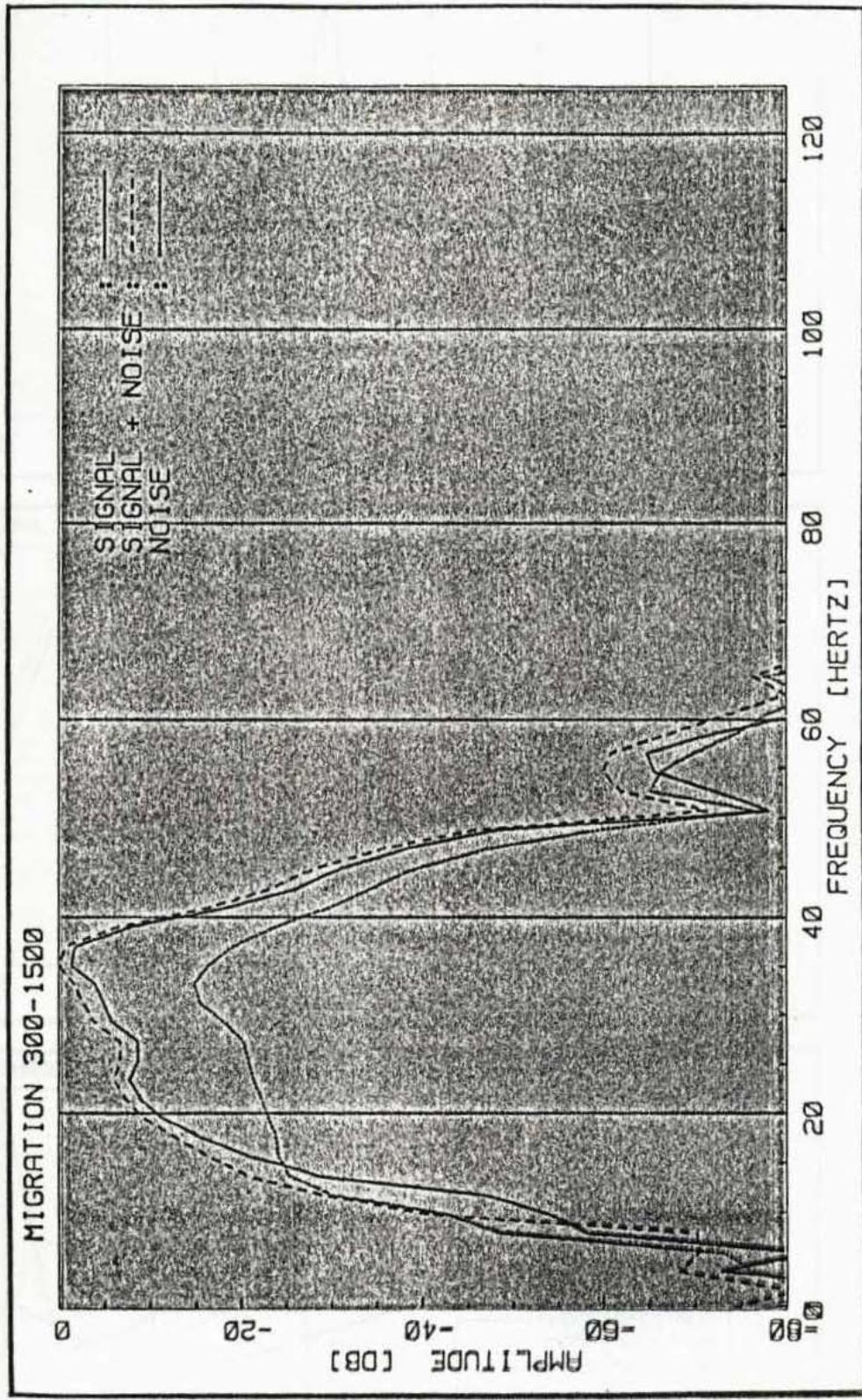
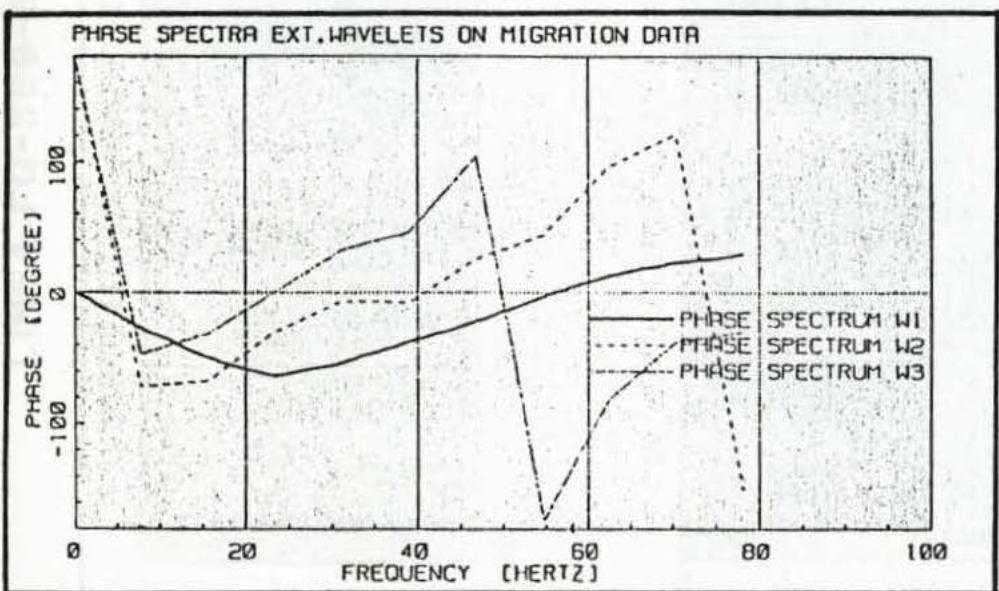
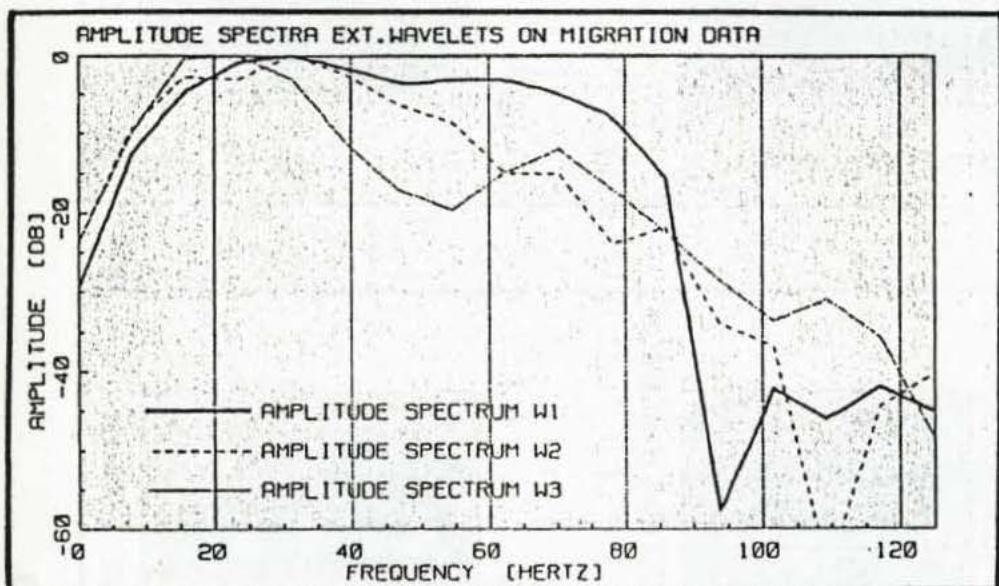
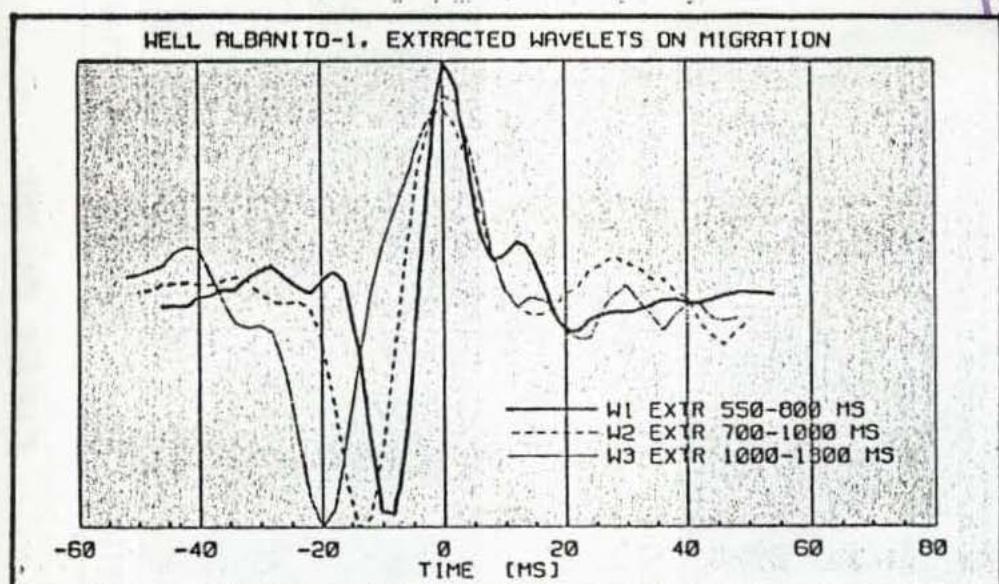


Fig.3

Ondine estratte in dominio tempi e frequenze
pozzo Albanito 1



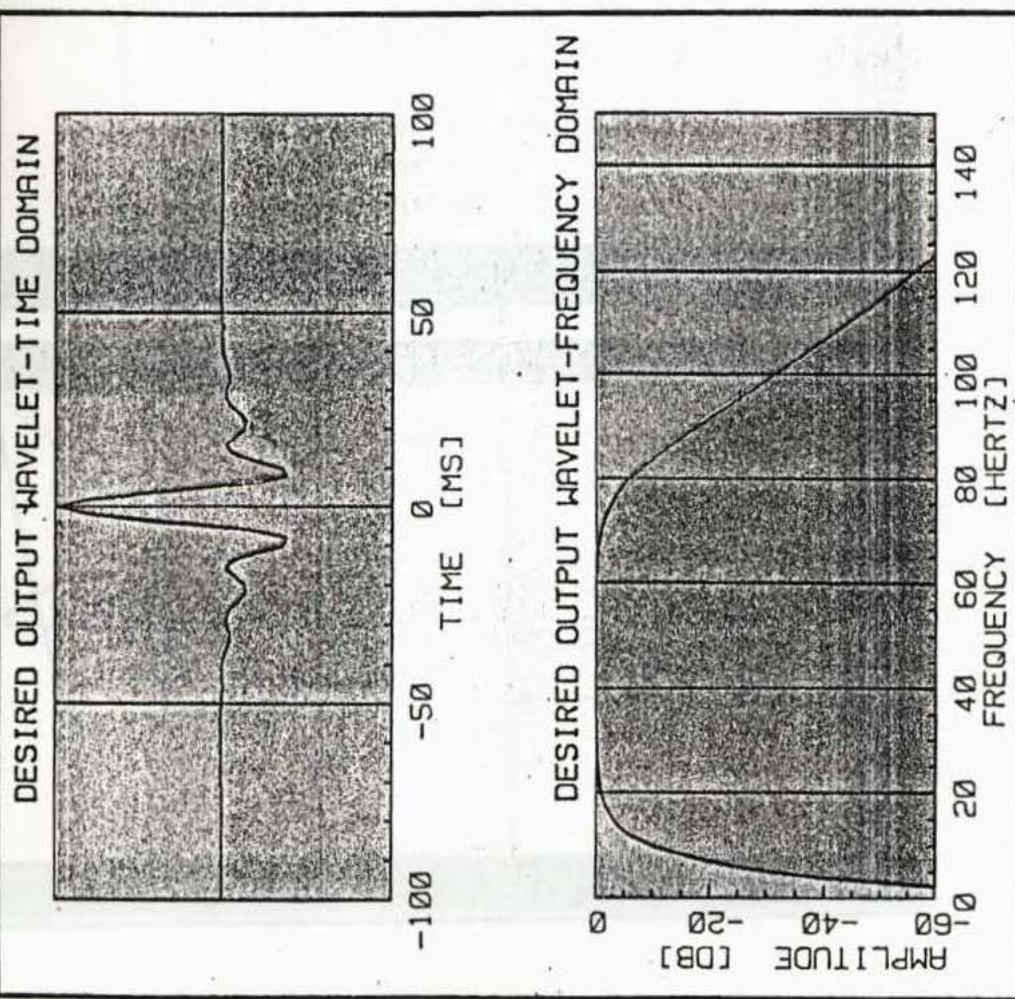
1978



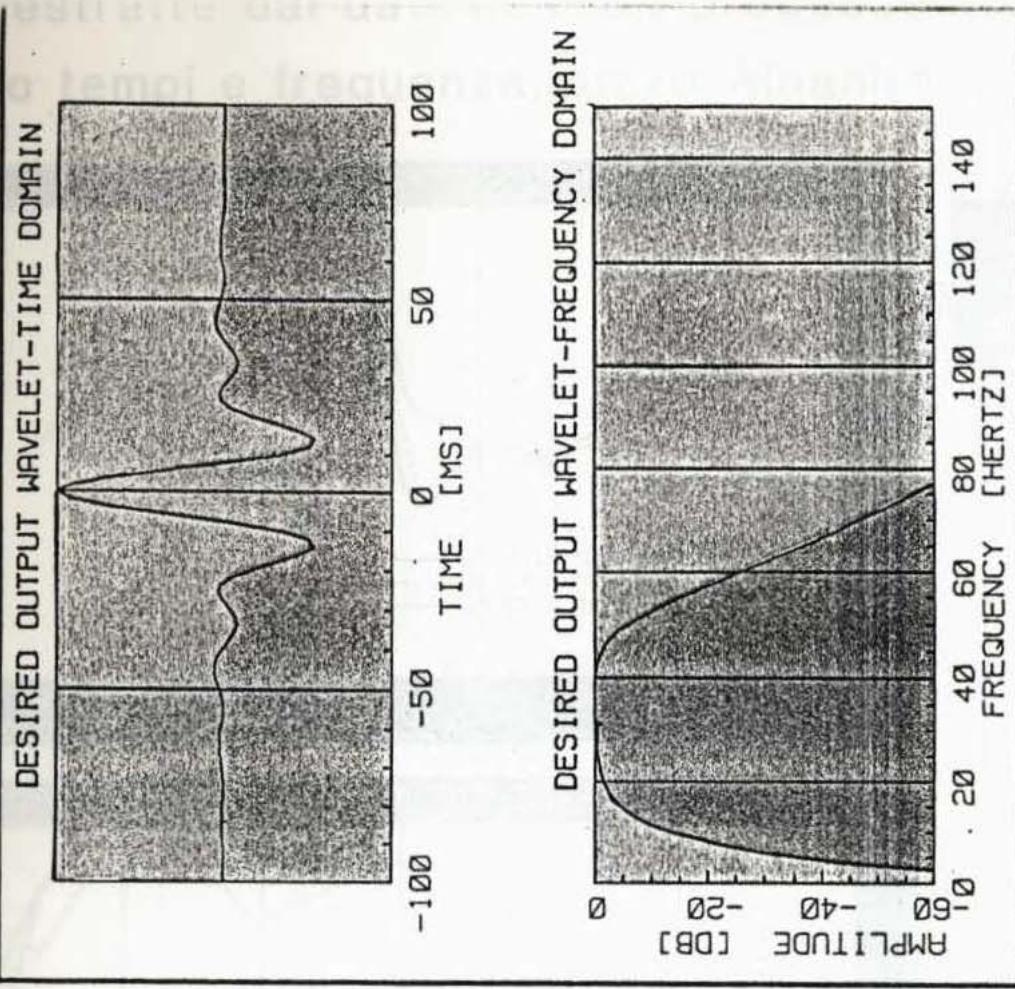
Desired output wavelets, in dominio tempi e frequenza.



LINEA FG-369-80



LINEA GI-26



Ondine estuarie dai dati wavelet processati, nel
dominio tempi e frequenza, pozzo Albanito 1

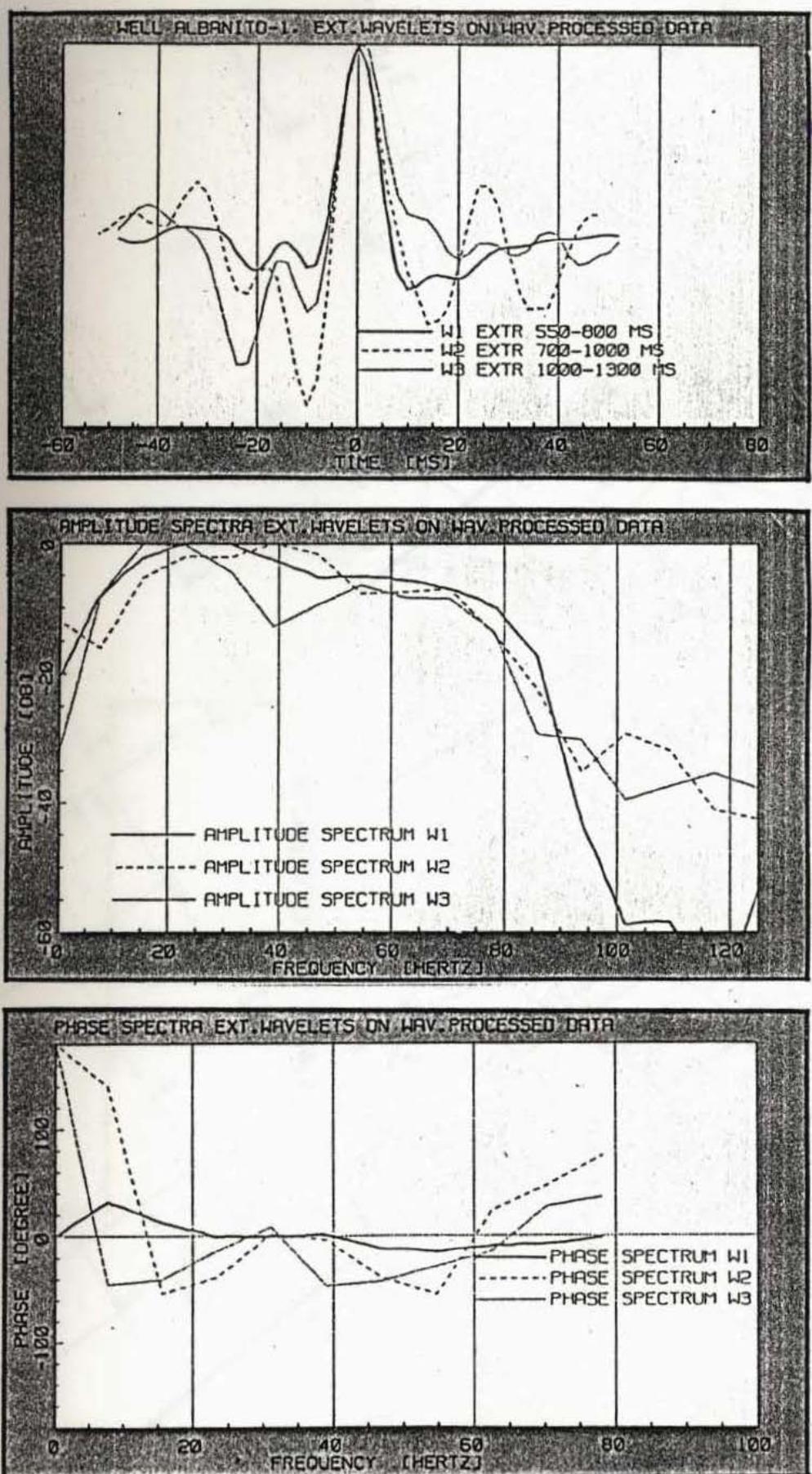
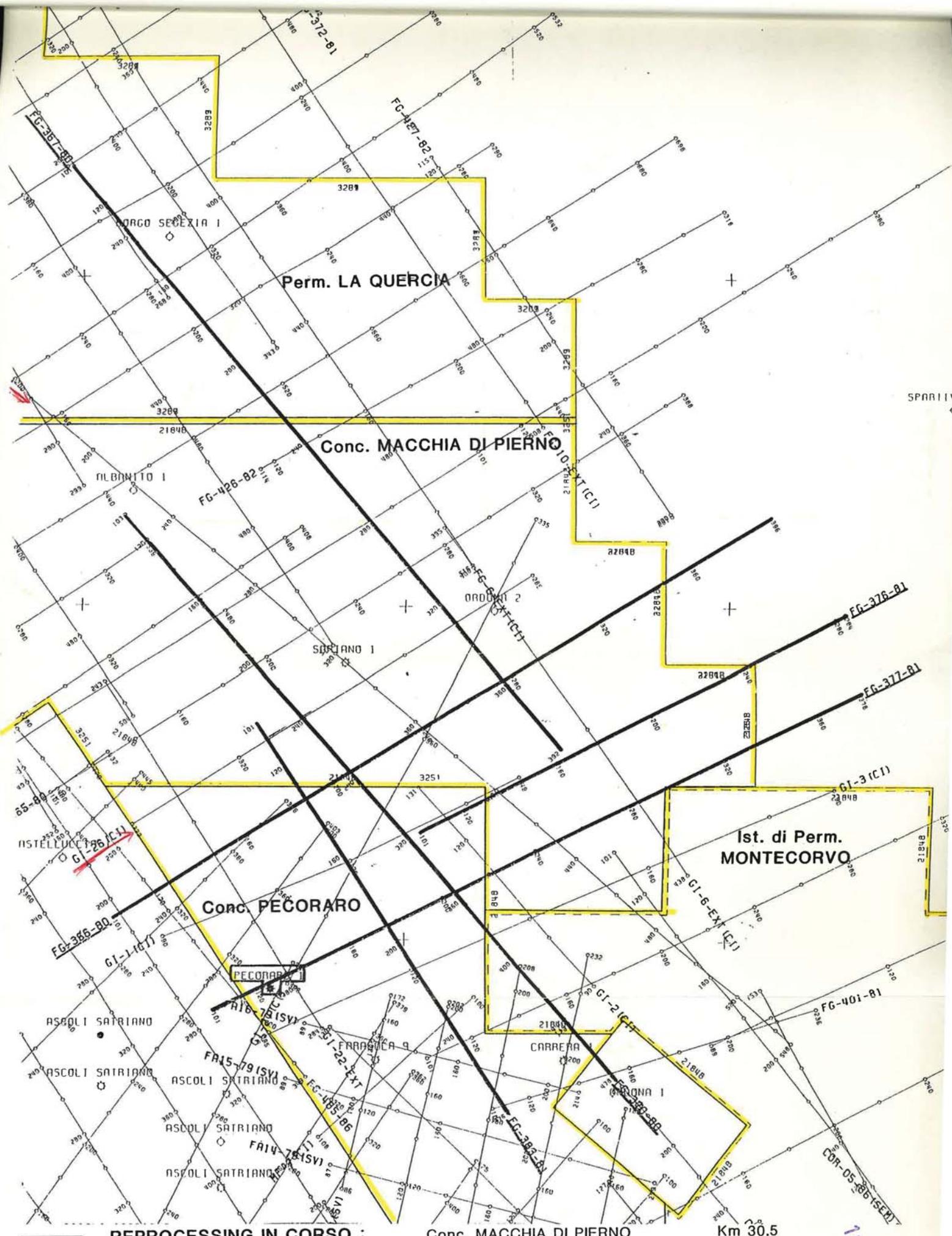


Fig.6



Conc. PECORARO

Km 19.5

Perm. LA QUERCIA

Km 5.0

Ist. di Perm. MONTECORVO

Km 3.0

