

P. CAPOCERA, A. CARILLO, A. FELS, V. GORELLI, O. IACURTO, C. MARZI,
F. MUSMECI, A. PACIELLO, F. VITIELLO



IT03\$0053

CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOLOGICA DEL SITO DI GIOIA TAURO



COMITATO NAZIONALE PER LA RICERCA E PER LO SVILUPPO
DELL'ENERGIA NUCLEARE E DELLE ENERGIE ALTERNATIVE

CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOLOGICA DEL SITO DI GIOIA TAURO

P. CAPOCECERA, A. CARILLO, A. FELS, V. GORELLI, O. IACURTO, C. MARZI,
F. MUSMECI, A. PACIELLO, F. VITIELLO

ENEA - Dipartimento Protezione Ambientale e Salute dell'Uomo, Centro Ricerche Energia Casaccia

Testo pervenuto nel gennaio 1990

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'Enea
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente

Riassunto

L'ENEA sta attualmente sviluppando alcune importanti iniziative scientifiche aventi come obiettivo la progettazione e la installazione di reti sismiche locali. Uno di questi progetti sarà realizzato nella piana di Gioia Tauro la cui storia sismica suggerisce la possibilità futura di terremoti significativi. Scopo della rete è fondamentalmente quello di acquisire informazioni sulla variabilità delle caratteristiche del moto in superficie ed a diverse profondità di interesse.

Summary

ENEA is developing some important projects for the design and installation of local seismic arrays. This research project, named "the Gioia Tauro Project", covers design and installation of a local accelerometric network having special characteristics in the area where some earthquakes might occur in the next future. Aim of the network is to collect information on the variability of the ground motion characteristics both on the ground surface and at different depths of soft soil deposits.

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREFAZIONE | 7 |
| 2 | INTRODUZIONE | 9 |
| 3 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO DI GIOIA TAURO | |
| 3.1 | Generalità | 13 |
| 3.2 | Analisi della sismicità tramite dati macrosismici | 14 |
| 3.3 | Analisi della sismicità tramite dati strumentali | 25 |
| 3.4 | Azioni da promuovere per giungere ad una completa caratterizzazione del sito | 34 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'ARCO CALABRO - PELORITANO | |
| 4.1 | Generalità | 37 |
| 4.2 | Sviluppo delle conoscenze geologiche | 38 |
| 4.3 | Stratigrafia | 40 |
| 4.4 | Morfogenesi dell'Appennino Calabro - Siculo | 47 |
| 4.5 | Generalità sulla geologia locale della piana di Gioia Tauro | 49 |
| 4.6 | Studi esterni per la caratterizzazione geotettonica dell'area siculo - calabrese | 51 |
| 4.7 | Indagini passate nella piana di Gioia Tauro | 53 |
| 4.8 | Generalità sul fenomeno di liquefazione | 60 |
| 4.8.1 | Metodologie per la stima del potenziale di liquefazione | 62 |
| 4.9 | Azioni da promuovere per giungere ad una completa caratterizzazione geologica e geotecnica del sito | 64 |

ALLEGATI -

- 1 - Analisi preliminare di pericolosità sismica per la Regione Calabria. 75
- 2 - Analisi preliminari del catalogo sismico utilizzato per lo studio del sito di Gioia Tauro. 85
- 3 - Stima della probabilità di risentimento di una assegnata intensità al sito di Gioia Tauro. 107
- 4 - Metodologia per la valutazione puntuale del potenziale di liquefazione. 123
- 5 - Rete accelerometrica di Gioia Tauro: strumentazione down - hole e sistema di trasmissione dati. 129

1 PREFAZIONE

L'ENEA e' attualmente impegnato nella realizzazione di alcuni programmi che prevedono la progettazione e l'installazione di reti strumentali d'avanguardia su scala regionale e provinciale per il monitoraggio ambientale.

Il "Progetto Gioia Tauro" prevede l'installazione di una rete strumentale locale per lo studio del moto sismico. Obiettivo del Progetto e' migliorare significativamente le attuali conoscenze sulla genesi del moto sismico e sui meccanismi di propagazione dell'energia in pianure alluvionali, conoscere in dettaglio le dinamiche di comportamento dei terreni di tali pianure in presenza di falde freatiche superficiali, permettere la necessaria validazione delle metodologie empiriche esistenti per la valutazione del moto vibratorio atteso in depositi sedimentari; i risultati sperimentali potranno essere utilizzati per affinare i criteri di sicurezza adottati nelle metodologie progettuali correnti.

La rete strumentale sara' costituita da circa 40 strumenti e comprendera' sensori di tipo accelerometrico, sismometrico e piezometrico per la registrazione, sia a diverse profondita' che in superficie, dei movimenti del terreno e della pressione dell'acqua presente nei sedimenti incoerenti. Nella relazione preliminare (vedi RT / PAS/ 88 / 2) e' stato fornito un quadro generale delle motivazioni che hanno reso possibile il Progetto, degli obiettivi prefissati, delle caratteristiche della rete e delle linee di attivita' da promuovere per la sua realizzazione.

Nella presente relazione viene fornita una caratterizzazione preliminare sismica, geologica e geotecnica del sito eseguita sulla base di alcuni studi effettuati in passato e di alcune analisi da noi eseguite in occasione del presente lavoro.

L'analisi critica di tali studi ha permesso di individuare le azioni da promuovere per giungere ad una completa caratterizzazione del sito.

2 INTRODUZIONE

Per caratterizzazione del sito si intende l'insieme di analisi necessarie al fine di poter progettare ed installare correttamente la rete strumentale, al fine di ottenere informazioni necessarie per l'analisi delle registrazioni che si otterranno dalla rete e per analizzare la congruità tra le caratteristiche stesse del sito e gli obiettivi prefissati.

La caratterizzazione ambientale del sito richiede analisi della sismicità, della sismotettonica e della geologia della regione, nonché della geotecnica e della morfologia del sito.

L'area in esame è già stata oggetto di approfonditi studi nei campi suddetti. In bibliografia sono riportati sia alcuni tra gli studi attualmente reperibili in letteratura sia quelli messi a disposizione dell'ENEA sul sito di Gioia Tauro.

Nei prossimi due capitoli vengono discusse criticamente le ricerche svolte nell'ambito degli studi sopra citati; inoltre vengono individuati gli studi che sara' necessario promuovere al fine di giungere ad una completa caratterizzazione del sito.

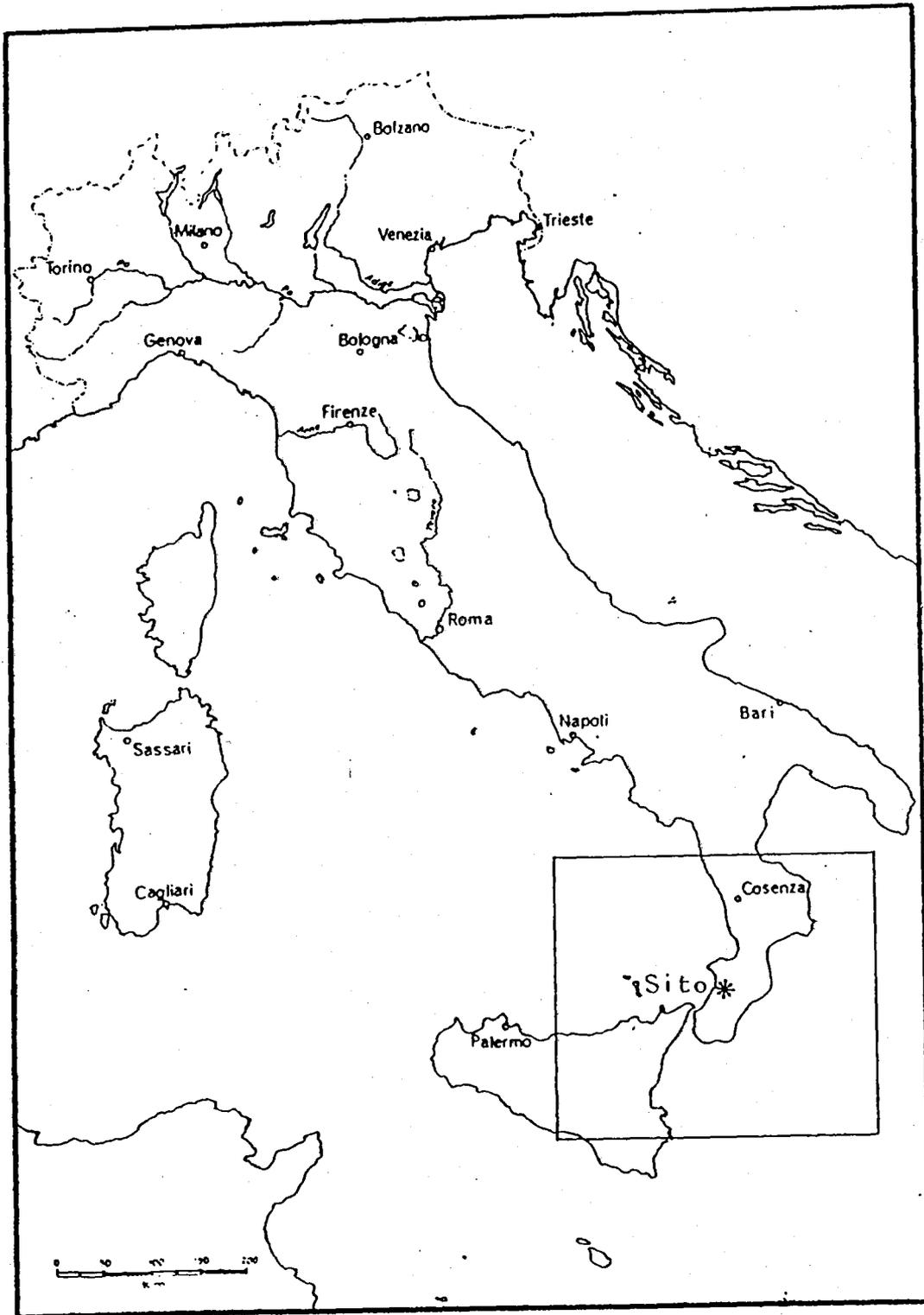


Fig. 1 :Sito di Gioia Tauro ed area considerata nel presente lavoro.

3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO DI GIOIA TAURO

3.1 Generalita'

L'analisi della sismicita' della Calabria, ed in particolare dei parametri caratteristici per la descrizione del moto del suolo al sito di Gioia Tauro a seguito di un evento sismico, deve essere condotta con particolare riferimento alla natura del Progetto in questione.

Molti degli obiettivi prefissati dal Progetto (vedi in proposito la relazione RT. / PAS/ 88 / 2) possono essere raggiunti con l'analisi di registrazioni di terremoti di piccola intensita'. Inoltre ovvie motivazioni di carattere economico

impongono che la rete sia resa operante e fornisca registrazioni significative in tempi brevi; questo impone uno studio particolareggiato della sismicità caratterizzata da bassi livelli di energia al fine di poter progettare e tarare opportunamente la strumentazione. D'altra parte non è certo possibile trascurare un accurato studio della sismicità caratterizzata da alti livelli di energia.

In definitiva la rete dovrà essere progettata per poter registrare al meglio la sismicità a bassa energia, ma dovrà essere ugualmente in grado di registrare eventi sismici di elevata intensità. La descrizione dunque della sismicità deve essere affrontata con ugual accuratezza per il più ampio intervallo possibile di intensità.

3.2 Analisi della sismicità tramite dati macrosismici

Tali analisi vengono eseguite sostanzialmente elaborando con metodi probabilistici i dati storici sulle intensità dei terremoti verificatisi nella zona ed utilizzando correlazioni empiriche sia per le leggi di attenuazione dell'intensità con la distanza sia per la relazione intensità-magnitudo che per la relazione intensità-picco di accelerazione.

La definizione della sismicità tramite l'uso di cataloghi storici è solitamente affetta da molte incertezze a causa principalmente dell'incompletezza ed imprecisione dei dati storici macrosismici, della scarsa attendibilità delle correlazioni empiriche suddette, della limitatezza dei metodi probabilistici più in uso nel descrivere ed estrapolare correttamente i dati macrosismici disponibili.

L'analisi dei dati macrosismici rimane comunque essenziale in quanto è l'unica che permette valutazioni sull'andamento in tempi storici della sismicità, consentendo quindi una estrapolazione nel futuro non altrimenti possibile.

Una prima indicativa definizione della sismicità della Calabria proviene da un'analisi di hazard sismico di recente pubblicazione. Questa è possibile con l'utilizzo di una catena metodologica per l'analisi della pericolosità sismica sviluppata presso il Laboratorio Ingegneria dei Siti dell'ENEA come contributo alla risoluzione di problemi di siting di impianti energetici e di installazione di reti strumentali.

Essa viene più ampiamente trattata nell'allegato 1. I risultati relativi alla Calabria previsti da questa catena metodologica sono espressi da mappe con curve che delimitano aree di uguale probabilità che l'intensità macrosismica aspettata non venga superata nei prossimi 25, 50 e 100 anni. Le mappe relative sono riportate nelle figure 2, 3, 4.

Accenniamo di seguito a due diverse analisi della sismicità del sito di Gioia Tauro; la prima, eseguita in occasione della progettazione del porto industriale per conto della Cassa del Mezzogiorno, è stata eseguita nel 1979 dal Gruppo Castiglioni,

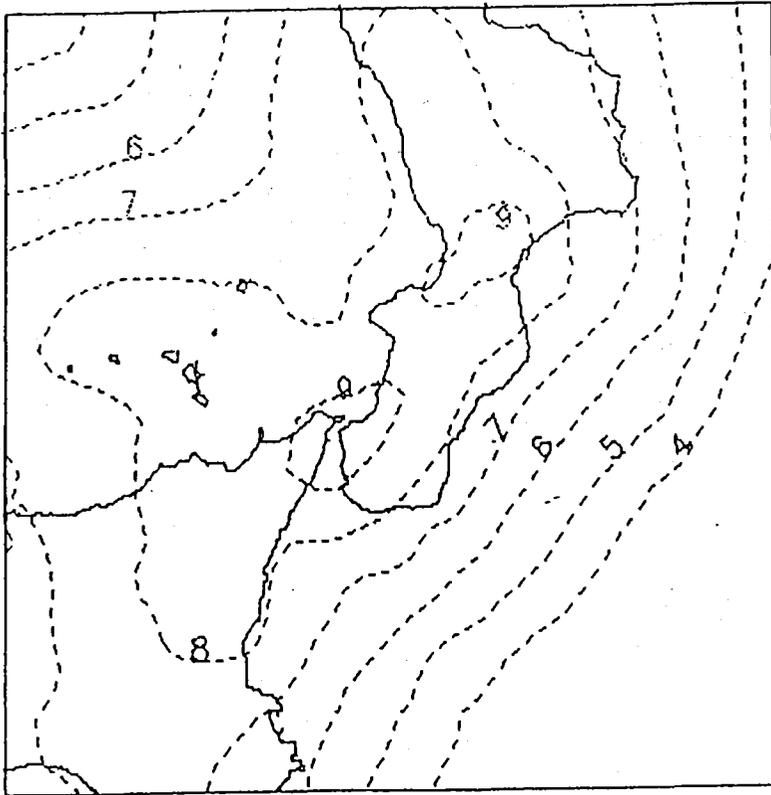


Fig.2. Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 25 anni.

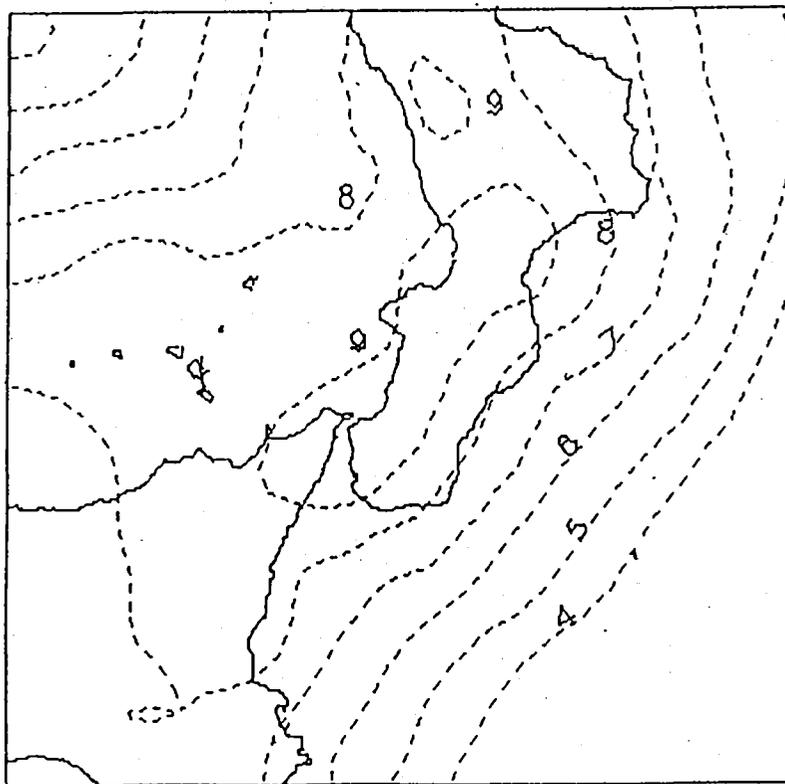


Fig. 3: Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 50 anni.

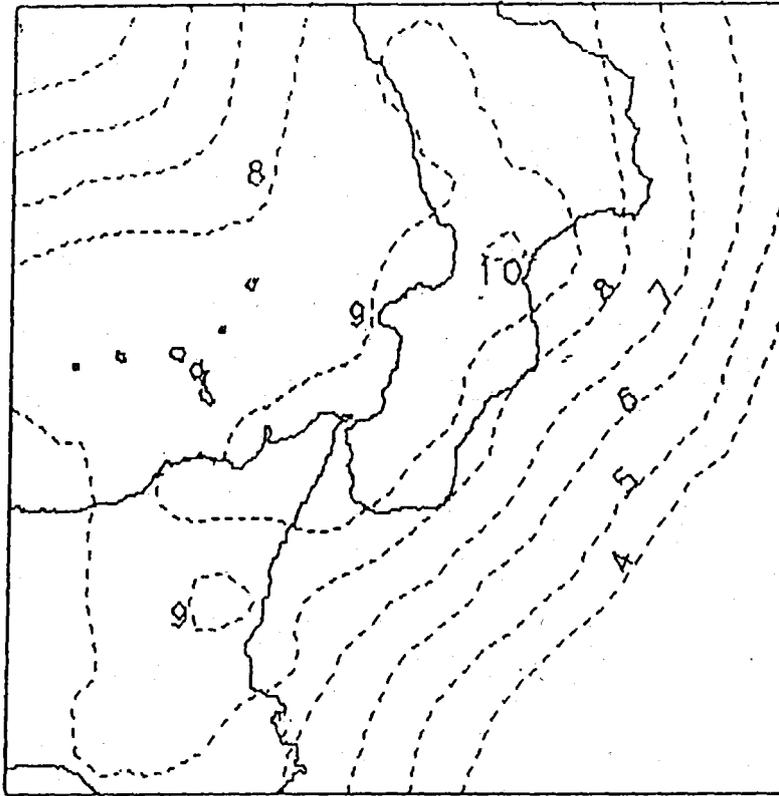


Fig. 4 :Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 100 anni.

Grandori, Petrini (CGP) e dallo Studio Geotecnico Italiano (SGI); la seconda eseguita dal gruppo di lavoro sul "Progetto Gioia Tauro" del Laboratorio Ingegneria dei Siti dell'ENEA.

- Gruppi CGP e SGI (Cassa del Mezzogiorno)

Per definire la sismicità locale gli Autori hanno utilizzato la relazione $a(T)$ tra la massima componente orizzontale di accelerazione del suolo ed il corrispondente periodo di ritorno. La sismicità $a(T)$ è stata analizzata seguendo due diverse metodologie.

procedimento a)

Si tratta essenzialmente del metodo messo a punto da C. Cornell del Massachusetts Institute of Technology (MIT) tra il 1968 ed il 1974.

Esso prende l'avvio dalla individuazione di zone sismogenetiche intorno al sito considerato; in questa fase si sfruttano essenzialmente conoscenze di tipo geologico e sismotettonico. Successivamente, sulla base di un catalogo dei terremoti e di un legame tra intensità e magnitudo, si definisce per ogni zona l'attività sismogenetica come probabilità $p(M)$ che si verifichi un evento con magnitudo maggiore od uguale ad M . A partire da questa probabilità, mediante una legge di attenuazione dell'accelerazione in funzione della distanza, si ottiene la correlazione $a(T)$ al sito. La successione di eventi nel tempo è descritta da un processo stocastico poissoniano; il legame tra la frequenza dei terremoti e la magnitudo è introdotto mediante una distribuzione di probabilità del tipo esponenziale lineare

$$\log N = a - bM$$

nota come relazione di Gutenberg e Richter ove N e' il numero di eventi con magnitudo uguale o superiore ad M , a e b sono coefficienti numerici caratterizzanti l'attivita' sismica di ogni zona sismogenetica.

La legge intensita' - magnitudo, indicata in tab. 1, e' quella di Karnik; la legge accelerazione - intensita', anch'essa indicata in tab. 1, e' calcolata con gli eventi piu' forti del periodo sismico del Friuli 1976. Le curve di attenuazione utilizzate sono indicate in tab. 1 come "attenuazione media" ed "attenuazione minima"; la prima non tiene conto delle variazioni azimutali dell'attenuazione (metodo del cerchio equivalente), la seconda e' calcolata come variazione della prima e riflette indirettamente l'effetto di allungamento delle isosiste massime in direzione NE - SW parallelo ad alcuni dei lineamenti tettonici principali della regione.

Il catalogo di dati utilizzato e' quello di Carrozzo, Visintini, Giorgetti, Iaccarino (1972); il periodo analizzato va dal 1782 al 1971. Per il presente procedimento, come per i seguenti, sono stati selezionati tutti gli eventi in catalogo compresi nell'area delimitata dalle seguenti coordinate geografiche ($39^{\circ} 40' - 14^{\circ} 00'$; $37^{\circ} 00' - 18^{\circ} 00'$; fig. 1)

Il risultato finale che, sulla scorta di vari tentativi ed analisi parametriche, viene giudicato il piu' attendibile e' illustrato in fig. 5 dove in ascisse e' riportato il periodo di ritorno in anni ed in ordinate il rapporto tra i valori di picco di accelerazione attesi e l'accelerazione di gravita'.

procedimento b)

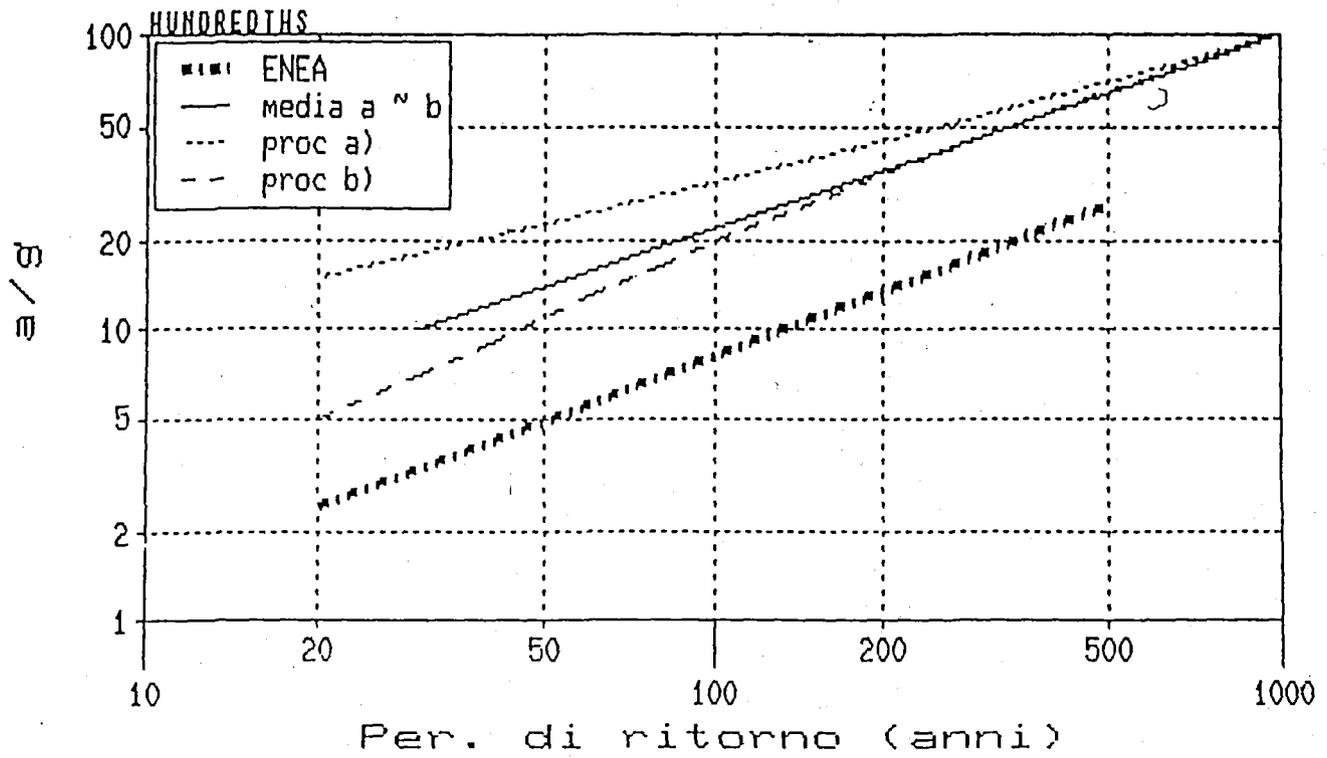


Fig. 5 : Risultati analisi statistiche sui dati macrosismici

tabella 1

$$M = 0.511 I_0 + 1$$

$$\ln a = 0.276 + 0.53 I_0$$

$$I - I_0 = -7.32 + 2.33 \ln R \quad (\text{att. minima})$$

$$I - I_0 = -4.12 + 1.77 \ln R \quad (\text{att. media})$$

Nel secondo procedimento si considerano tutti gli eventi riportati nel catalogo che possono aver interessato il sito di Gioia Tauro; per ognuno di questi si calcola l'intensita' I che probabilmente si e' risentita al sito in base ad una legge di attenuazione di I con la distanza. Si ottiene dunque una statistica in termini di intensita' I al sito; elaborando questi dati con la teoria dei valori estremi del primo tipo (Gumbel) si costruisce la correlazione $I(T)$ fra intensita' al sito e periodo di ritorno; infine utilizzando un legame empirico tra intensita' ed accelerazione massima del terreno si costruisce la correlazione $a(T)$. Il periodo utilizzato va dal 1671 al 1970 (utilizzando il catalogo suddetto). La attenuazione intensita' - distanza e' descritta ancora dalle due formule usate nel primo procedimento; le relazioni accelerazione di picco - intensita' considerate sono 4 (Richter, Trifunac e Brady, e due di Chiaruttini, Crossilla, Siro calcolate per il Friuli).

Il risultato finale piu' attendibile e' riportato in fig. 5.

I due procedimenti sono concordanti teoricamente per le alte accelerazioni ($acc = 1g$) mentre differenze notevoli si riscontrano a basse accelerazioni. Queste differenze vengono imputate dagli Autori al diverso periodo storico indagato, alla diversa valutazione della completezza del catalogo ($I \geq VIII$ dal 1782 e $I \geq VI$ dal 1901 per il primo procedimento; $I \geq V$ dal 1671 per il secondo procedimento), al fatto che nel primo procedimento sono state eliminate le repliche. Attraverso una analisi dell'influenza di detti parametri gli Autori consigliano l'utilizzo della relazione "media" indicata in fig. 5.

- Gruppo di lavoro ENEA per il "Progetto Gioia Tauro"

La recente pubblicazione (1985) di un nuovo catalogo sismico storico nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR e lo sviluppo di piu' sofisticate metodologie per l'analisi della

completezza dei cataloghi e per l'analisi probabilistica delle serie temporali di eventi sismici, ci hanno indotto a compiere una ulteriore analisi della sismicità dell'area.

Questo studio viene svolto sfruttando le competenze sviluppate in questi ultimi anni dall'ENEA. I risultati qui di seguito mostrati sono da ritenersi preliminari in quanto in questa prima fase dello studio ci si è limitati a ripetere le analisi statistiche utilizzate nei lavori suillustrati dei gruppi CGP e SGI sfruttando il recente catalogo del PFG.

È stata condotta preliminarmente una analisi di completezza del catalogo; la tab. 2 mostra i periodi per i quali il catalogo è da considerarsi "non incompleto".

tab. 2
Risultati analisi di completezza
del catalogo PFG

| | |
|----------------|-------------|
| $3 \leq I < 6$ | 1830 - 1980 |
| $6 \leq I < 8$ | 1780 - 1980 |
| $I \geq 8$ | 1600 - 1980 |

Per quanto riguarda una descrizione degli eventi in catalogo e per una descrizione dei metodi usati per l'analisi di completezza, si rimanda all'allegato 2.

Il procedimento statistico usato in questa analisi preliminare è simile a quello usato nel procedimento illustrato in b). Le intensità sono state riportate al sito con le stesse formule di attenuazione. I risultati sono riportati in fig. 5. Per quanto

riguarda una descrizione della metodologia usata si rimanda all'allegato 3.

Nella fig. 5 si nota come il risultato ottenuto in ENEA sia sostanzialmente diverso dai risultati dei gruppi CGP e SGI; in particolare la stima "ENEA" risulta prevedere dei valori di accelerazione di picco piu' bassi al sito di Gioia Tauro di circa il 50 %; questo si traduce in termini di intensita' MCS in un valore massimo attendibile minore di circa 1.5 gradi.

Questo risultato e' dovuto alla sostanziale differenza tra i cataloghi usati; in particolare molti eventi sismici che nel catalogo Carozzo, Iaccarino, Visentini sono riportati con forte intensita' (I ~ IX, X, XI) sono stati rianalizzati e riportati nel catalogo PFG con intensita' piu' basse mediamente di 1 ~ 2 gradi della scala MCS. Questa diminuzione dei valori di intensita' per i forti terremoti ha dunque influito pesantemente sui risultati soprattutto se si tiene in considerazione che l'analisi statistica e' stata effettuata sui massimi eventi in catalogo attenuati al sito. In fig. 6 sono riportate le stesse curve di fig. 5 espresse, per comodita', in funzione dell'intensita' macrosismica (scala MCS).

Ulteriori piu' approfonditi studi sono necessari se si vogliono assegnare con elevata affidabilita' le probabilita' che il sito di Gioia Tauro sia sottoposto ad una data intensita' in un assegnato intervallo di tempo.

In particolare le metodologie utilizzate, come ogni metodologia statistica basata su dati macrosismici, sono sensibili alla scelta delle leggi di attenuazione, delle leggi di correlazione intensita' - magnitudo, accelerazione, ad una possibile ciclicita' nei dati soprattutto per le alte intensita'. Nel paragrafo 3.4 sono indicati gli studi che verranno compiuti per giungere ad una completa caratterizzazione sismica del sito tramite dati macrosismici.

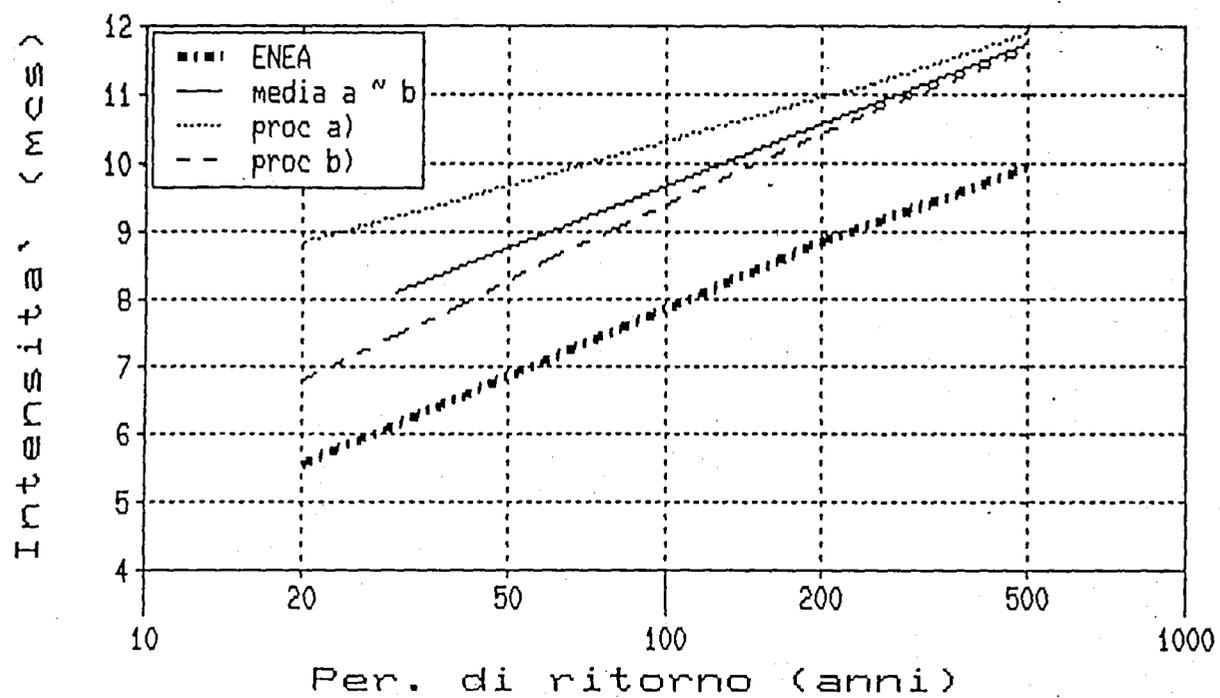


Fig.6: Risultati analisi statistiche su dati macrosismici

Malgrado questo i risultati ottenuti forniscono delle valide stime preliminari di queste probabilita' e sono ottenibili da una metodologia, quale quella dei valori estremi, da anni in uso in sismologia e da una relazione di attenuazione credibile.

3.3 Analisi della sismicita' tramite dati strumentali

L'analisi della sismicita' tramite dati strumentali risulta abbastanza difficile per la Calabria, in particolare per la sismicita' caratterizzata da bassa energia, a causa dello scarso sviluppo di una adeguata rete strumentale.

Prima del 1908 la attivita' sismica veniva registrata dall'Osservatorio Geodinamico di Reggio Calabria, tra il 1910 ed il 1920 dall'Osservatorio Morabito del Seminario di Mileto, dal 1917 al 1945 dall'Osservatorio privato Sproviero di Trenta dell'Osservatorio Geodinamico Reggino. Solamente dal 1978 e' iniziata l'installazione di strumenti di tipo moderno.

- La rete sismica nazionale centralizzata dell'Istituto Nazionale di Geofisica (RSNC)

La rete sismica e' composta attualmente di 49 stazioni su tutto il territorio italiano, dotate tutte di strumentazione identica (sismometro S 13 della Geotech) e collegate in telemetria con la sede centrale dell'ING di Roma.

Nella regione Calabria sono in funzione le stazioni di Oriolo (ORI) dal 1978, Girifalco (GR9) dal 1985, Samo (SM9) e Terranova di Sibari (TS9) dal 1986.

La scarsa copertura strumentale della regione non permette dunque una rilevazione della sismicita' soddisfacente in particolare per terremoti caratterizzati da bassi livelli di energia.

Le potenzialita' odierne della rete sono illustrate in fig. 7 (da R. Console, B. De Simone) In figura sono mostrate le stazioni attualmente operanti e quelle in corso di installazione. Le isolinee (dette isomagnitudo) mostrano il valore di magnitudo minima rilevabile dalla rete. Ne deriva che in Calabria e' possibile localizzare con un errore di 10 km sulla stima delle coordinate epicentrali un evento con magnitudo non inferiore a 2.75 ~ 3.00. La stima della profondita' e' affetta da un errore ancora maggiore.

La sismicita' rilevata dalla rete nel periodo gennaio 1983 - giugno 1986 e' mostrata in fig. 8. Ne deriva una attivita' sismica scarsa (solo 29 terremoti) caratterizzata da bassi valori di energia (la massima magnitudo e' $M=3.5$) e concentrata nella parte settentrionale della Calabria. Questo dato dipende dalla miglior copertura che le stazioni della rete offrono per questa parte della regione.

Ne deriva dunque una sismicita' insufficientemente caratterizzata.

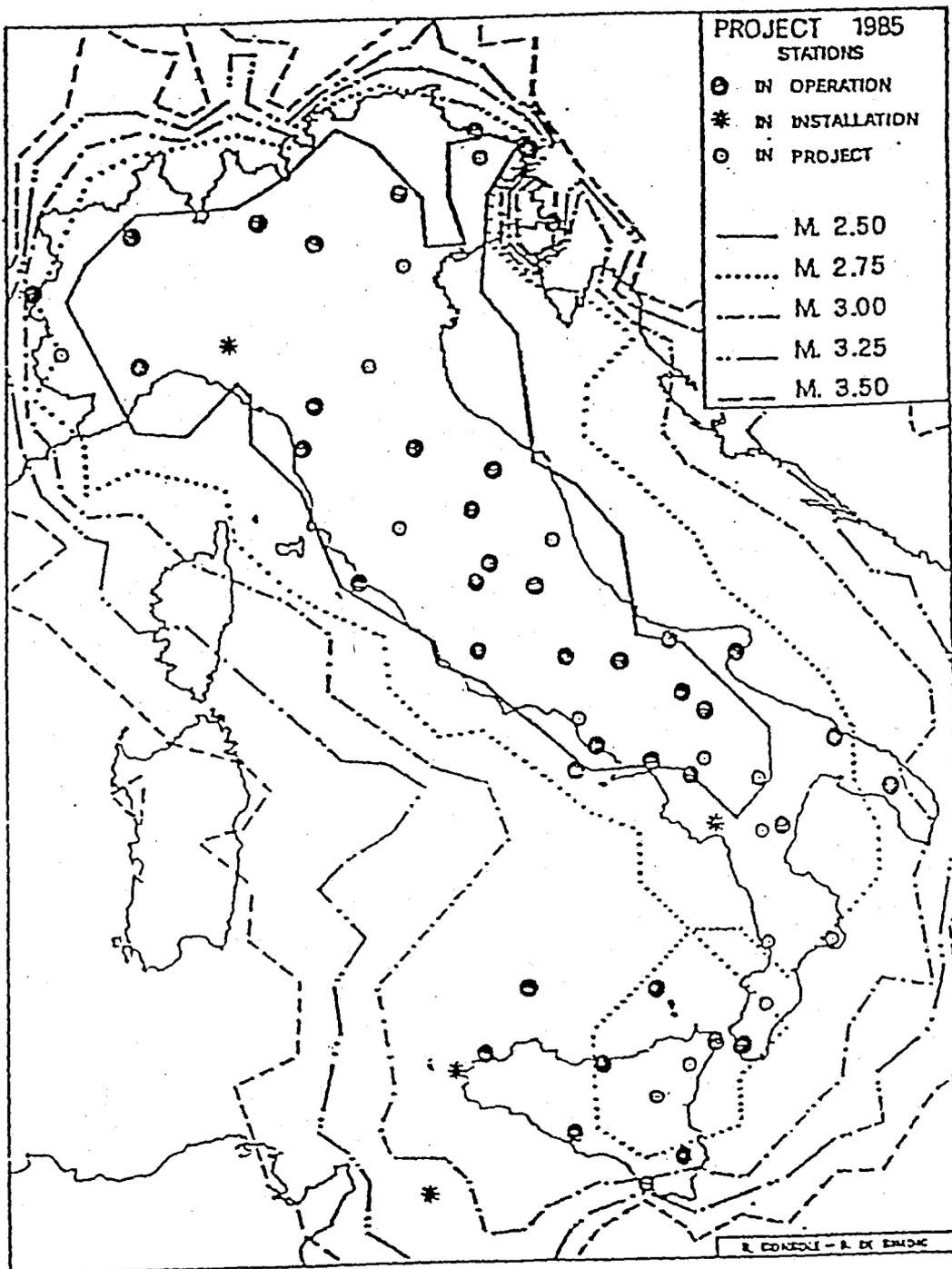


Fig. 7 : Isomagnitudo relative alla rete strumentale I.N.G. (da R. Console-B. De Simone 1985)

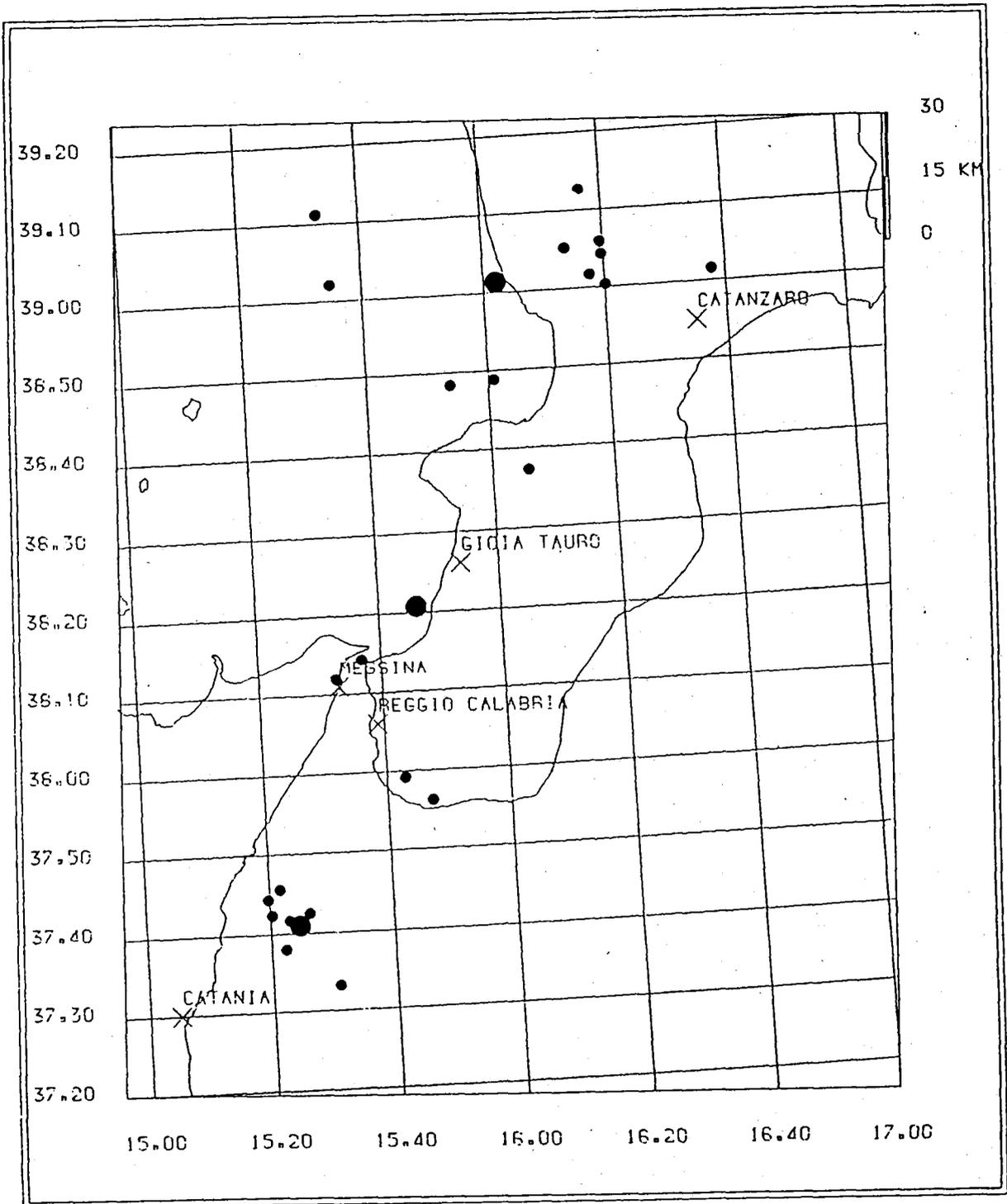


Fig. 8 : Sismicità rilevata dalla Rete Sismica Nazionale Centralizzata nel periodo Gennaio 1983-Giugno 1986

Occorre notare inoltre che i valori di incertezza suddetti sulle determinazioni ipocentrali di eventi di bassa magnitudo sono da considerarsi del tutto inaccettabili al fine di una analisi della sismicità del sito come supporto all'attività della array verticale; una accurata analisi delle registrazioni che verranno ottenute dall'array sarà possibile infatti solo con localizzazioni ipocentrali precise.

- La rete sismometrica regionale dell'Università della Calabria (Cosenza)

La rete sismometrica dell'Università della Calabria è stata concepita, con l'installazione del primo strumento presso la sede di Cosenza nel 1975, al fine di garantire l'osservazione dell'attività sismica a bassissimo livello ed il suo studio dettagliato. La rete, che è entrata a regime nel corso del 1985, è composta da 10 punti di rilevamento con la sola componente verticale; la registrazione è centralizzata nella sede dell'Università a Cosenza per nove stazioni; la stazione di Mormanno (MMN) ha un registratore su carta.

La trasmissione dei segnali da centralizzare viene effettuata in telemetria modulando i segnali in frequenza e miscelandoli con diverse portanti.

In fig. 9 sono riportate le localizzazioni delle stazioni sismografiche; il numero di segmenti paralleli su ciascuna tratta indica il numero di segnali miscelati in transito.

Le stazioni sono attrezzate con sismografi S 13 della Geotech con l'esclusione della stazione di Mormanno attrezzata con un Mark MKIIIA.

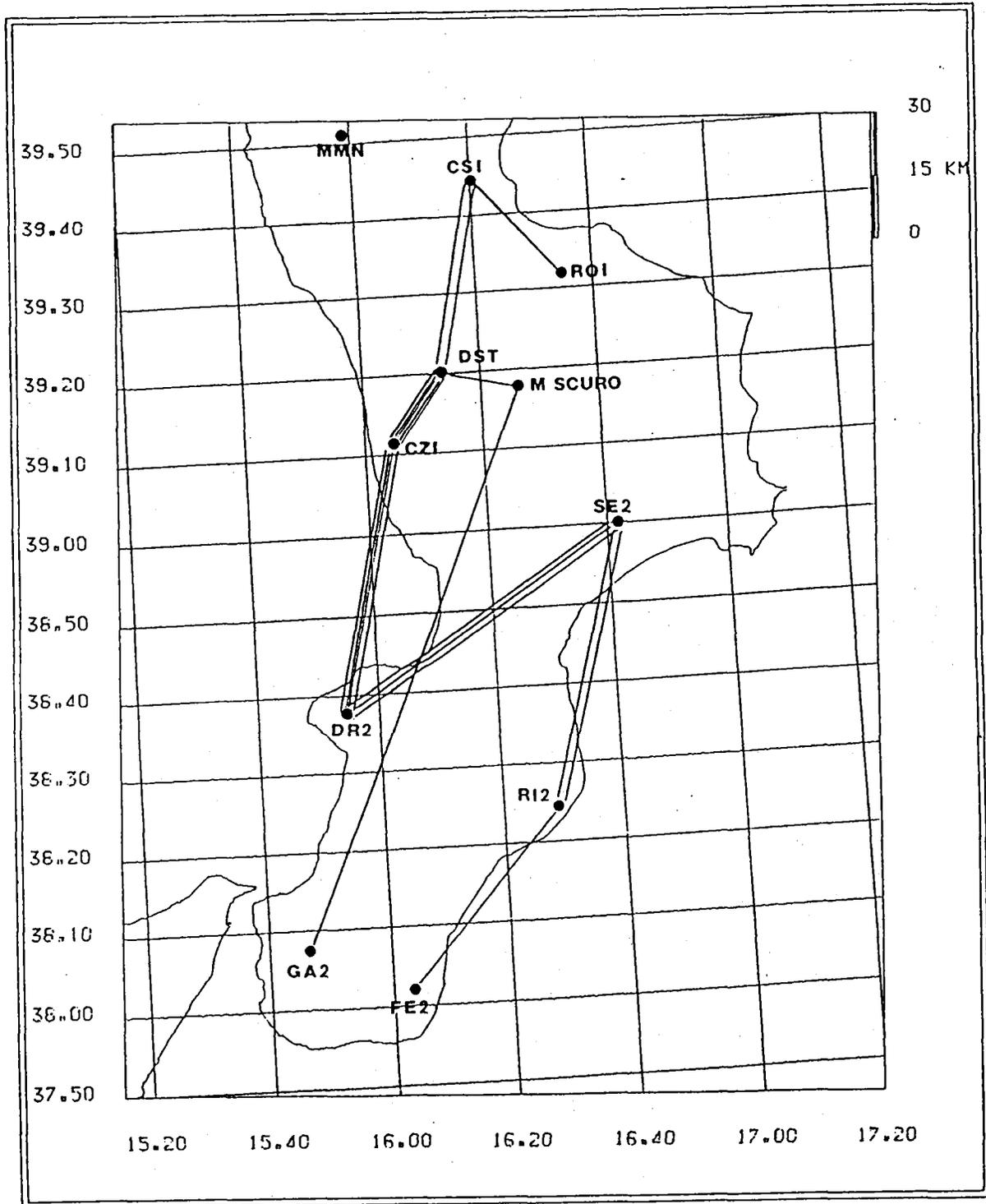


Fig. 9 : Distribuzione delle stazioni sismometriche della rete locale dell'Università della Calabria (per gentile concessione del Prof. I. Guerra)

Nella configurazione attuale la rete consente di localizzare terremoti con magnitudo non inferiore a circa $M=1.5$ con un errore sulle coordinate epicentrali di circa 1 km per eventi localizzati nella Calabria settentrionale. L'errore sulla stima della profondita' e' elevato a causa della mancanza delle componenti orizzontali per consentire indagini basate sull'analisi delle onde trasversali e della larghezza della maglia della rete (circa 50 km).

Nel periodo gennaio 1980 - agosto 1986 sono stati localizzati un totale di circa 700 eventi sismici (fig. 10).

Anche in questo caso si nota un maggior addensamento di epicentri nella Calabria settentrionale; tale caratteristica deriva da una miglior copertura della rete nella Calabria settentrionale.

Nella fig. 11 sono mostrati gli andamenti minimi e medi della magnitudo dei terremoti registrati; si rileva un andamento temporale decrescente attribuibile principalmente alle migliorate caratteristiche della rete a seguito dell'installazione di nuovi strumenti.

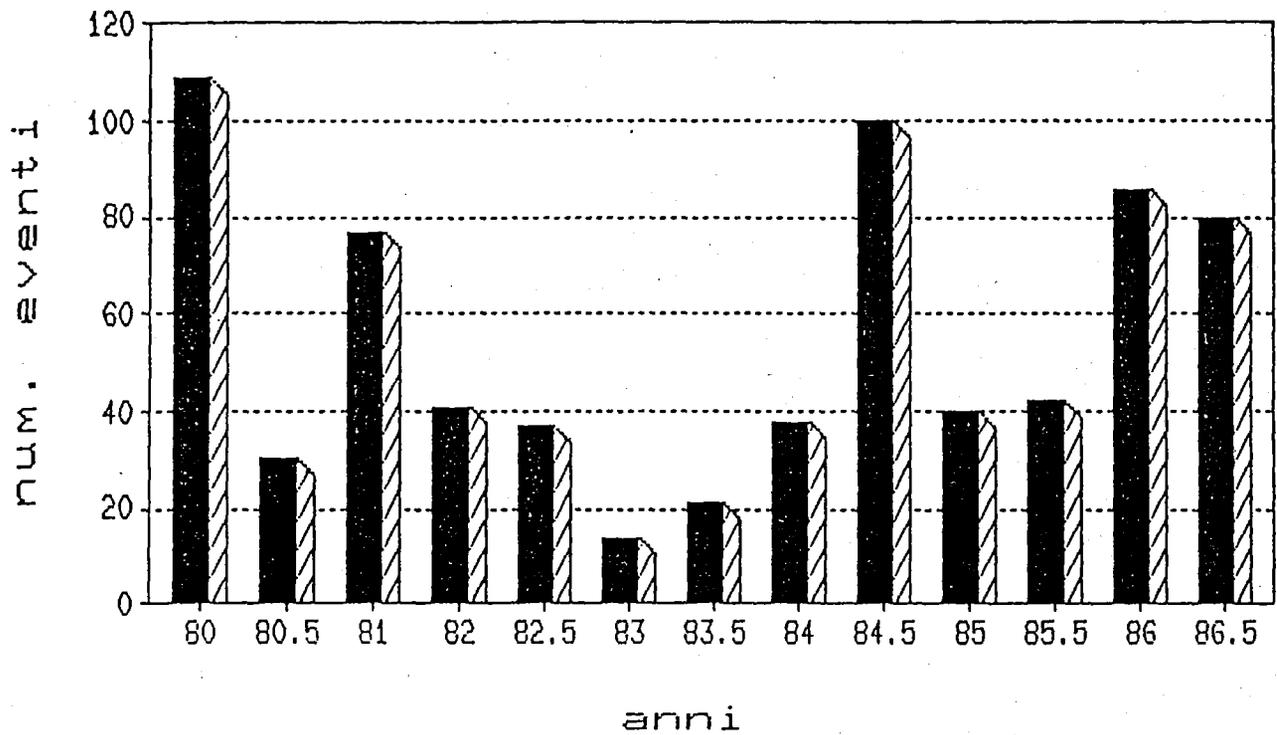


Fig.10 :Sismicità rilevata dalla rete sismica dell'Università della Calabria nel periodo Gennaio 1980–Novembre 1986. In figura è riportato il numero di eventi per semestre. (per gentile concessione del Prof. I.Guerra)

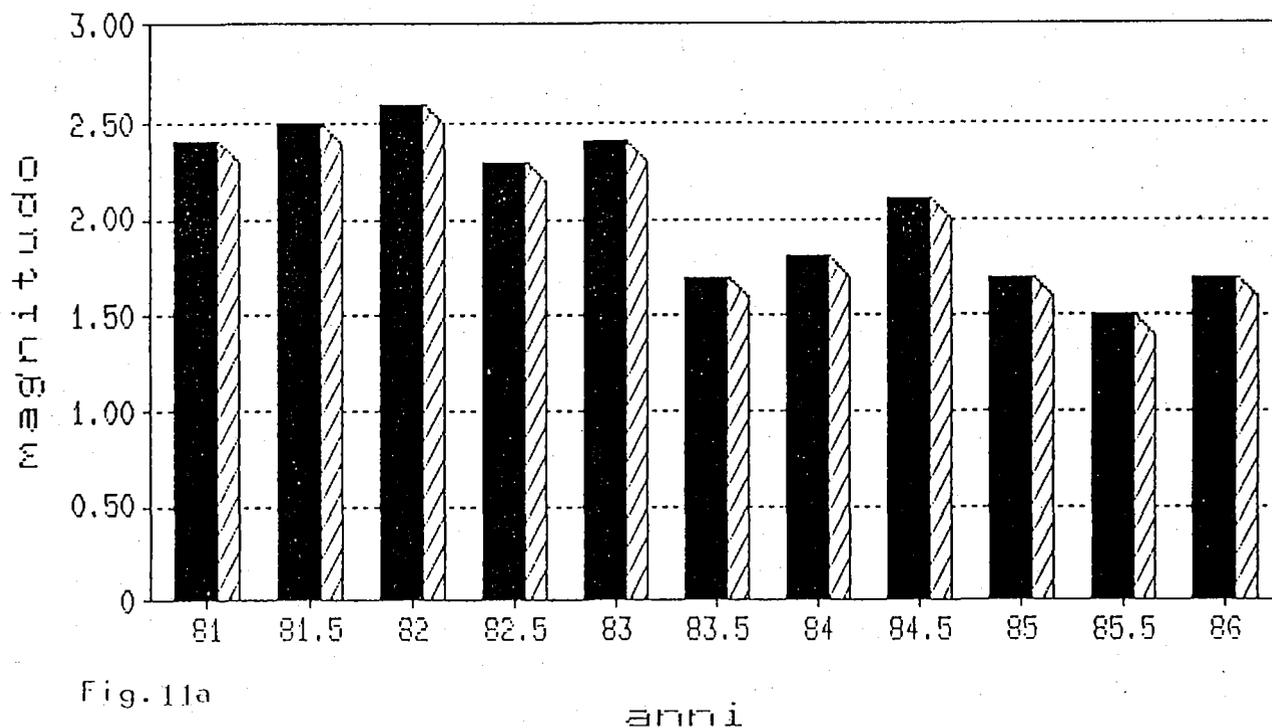


Fig. 11a

anni

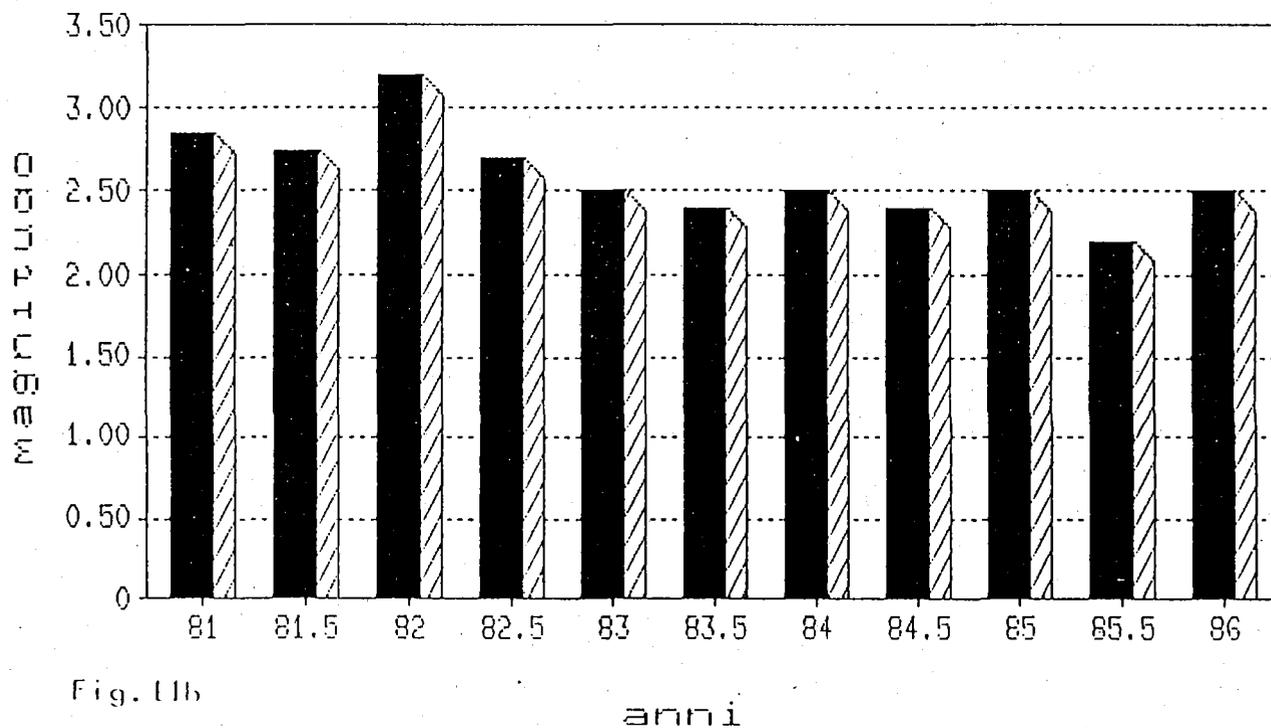


Fig. 11b

anni

Fig. 11: Sismicità rilevata dalla rete sismica dell'Università della Calabria nel periodo Gennaio 1980-Novembre 1986. In figura a) e b) sono riportati rispettivamente i valori minimi e medi della magnitudo (per gentile concessione del Prof. I. Guerra)

3.4 Azioni da promuovere per giungere ad una completa caratterizzazione del sito.

- a) Come detto al paragrafo 3.2 la disponibilita' del catalogo dei terremoti del Progetto Finalizzato Geodinamica, e lo sviluppo di metodologie statistiche piu' sofisticate consentono un riesame piu' approfondito della sismicita' storica.

In particolare e' ora possibile ricalcolare alcune leggi di correlazione tra intensita' e magnitudo, esprimendo questa ultima in termini di MS (calcolata sulle onde superficiali); questo permette di avere un insieme di dati omogenei per un ampio intervallo di tempo (stimabile dal 1900 circa) in quanto i valori di MS sono ricavabili da sismogrammi registrati a grandi distanze epicentrali e non risentono quindi della scarsa copertura geografica della rete sismica. E' da notare inoltre che tali valori di magnitudo sono immediatamente utilizzabili in analisi di opportunita' di liquefazione.

Sara' necessario ricalcolare anche le curve di attenuazione utilizzando cataloghi piu' recenti di isosiste e soprattutto calcolando la dipendenza azimutale della attenuazione.

L'introduzione di piu' sofisticate metodologie statistiche permettera' inoltre di tener conto di possibili ciclicita' nei dati, soprattutto per le elevate intensita'.

- b) In base ai risultati di cui al punto precedente sara' ricalcolato l'hazard sismico per l'intera regione con la stessa metodologia illustrata nell'allegato 1.

- c) L'analisi dei dati strumentali provenienti dalle reti RSNC e dell'Università della Calabria mette in luce la necessità di una migliore descrizione della attività sismica rilevata. Questa può essere ottenuta tramite una rilocalizzazione degli eventi sismici registrati e quelli che verranno registrati in futuro eseguita in funzione dei diversi modelli di velocità crostali esistenti in letteratura, tramite un'analisi delle frequenze di ricorrenza degli eventi (legge di Gutenberg e Richter), tramite un'analisi dell'energia rilasciata e del suo contenuto spettrale.
- d) Altre informazioni sulla sismicità dell'area saranno acquisite dalla rete sismometrica dell'ENEL operante nella piana di Gioia Tauro da circa un anno.
- e) L'analisi delle potenzialità delle reti locali esistenti in Calabria e l'analisi della sismicità strumentale rilevata ha messo in evidenza la necessità di implementare tali reti con almeno 4 sismometri a tre componenti al fine di permettere una localizzazione ipocentrale accurata quando l'array verticale sarà operante.
- f) Infine andrà condotta una analisi del rumore di fondo della piana, al fine di selezionare i siti più idonei per l'installazione degli arrays locali.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'ARCO CALABRO PELORITANO

4.1 Generalita'

Un luogo comune ben radicato soprattutto a livello internazionale considera l'Italia come un Paese dalla geologia abbastanza complicata. Questa convinzione nasce spontanea quando vengono analizzati i risultati scientifici connessi con i tentativi di collegamento e di inquadramento geologico generale della Penisola.

La letteratura geologica dell'area in esame ha risentito per molto tempo degli innumerevoli tentativi di diversi studiosi di spiegare le condizioni litostratigrafiche e strutturali dell'Appennino meridionale sulla base delle conoscenze e della modellistica del resto dell'Appennino.

D'altronde la realizzazione del progetto PAS relativo alla installazione di una rete strumentale nella piana di Gioia Tauro ed aree limitrofe, impone una conoscenza geologica dell'area con un maggior grado di dettaglio. A tal fine e' stato definito un contratto ENEA (in fase di approvazione al momento della redazione del presente documento) con l'Universita' della Calabria (vedi paragrafo 4.7) avente come obiettivo la caratterizzazione geostrutturale dell'area calabro - sicula. Tuttavia tenuto conto della specificita' dei

problemi connessi con l'attivazione della rete strumentale, tali studi saranno ulteriormente approfonditi relativamente all'area di maggior interesse. In tale ambito avranno particolare rilievo le attività che verranno svolte direttamente dai geologi dell'ENEA, particolarmente specializzati in relazione alle attività dell'Ente in studi di tipo sitologico.

Relativamente all'area prescelta gli studi devono essere indirizzati soprattutto alla definizione delle strutture tettoniche attive, nonché alla caratterizzazione neotettonica e paleogeografica della piana di Gioia Tauro.

Questo capitolo, pertanto, non si prefigge l'obiettivo di sostituire tale lavoro, ma al contrario di fornire soltanto un contributo alla conoscenza delle principali peculiarità geologiche dell'area essenziali per affrontare le prime problematiche connesse con il progetto della rete strumentale.

4.2 Sviluppo delle conoscenze geologiche

Il punto di partenza per lo sviluppo delle conoscenze geologiche dell'Appennino calabro - siculo, può essere identificato nella monografia di Baldacci (1886) per la Sicilia e di Cortese (1895) per la Calabria. Quest'ultima monografia riporta elementi sulla giacitura delle diverse unità cristalline della Calabria. Essa fornisce una descrizione estremamente chiara del basamento cristallino da cui si desume la sovrapposizione anomala dei terreni ad alto grado di metamorfismo sui terreni a basso grado.

De Lorenzo (1904) concepisce l'Appennino meridionale secondo la seguente successione descritta dal basso verso l'alto:

- cristallino
- calcari con selce e scisti silicei (Tias medio)
- calcari giurassici e cretacei
- calcari nummulitici (Eocene medio)
- flysch (Eocene sup.-Miocene)
- emersione (Miocene sup.)
- argille azzurre e sabbie gialle (ciclo Plio-Pleistocenico)
- emersione quaternaria

Secondo questo studioso l'intera successione e' completamente autoctona dai terreni cristallini sino ai termini Plio-pleistocenici.

Le prime intuizioni sulla struttura a falde della Sicilia e della Calabria risalgono a Lugeon e Argan (1906) e Limanowski (1913). Quest'ultimo si rese conto per primo delle giaciture anomali del Cristallino sulle formazioni terrigene sovrapposte a loro volta sui massicci calcarei. Inoltre riconobbe alcuni dei principali lineamenti dell'Appennino calabro-peloritano basandosi piu' su ipotesi che su dati analitici a sua disposizione.

La monografia di Quitrow (1935), segna un'altra tappa importante nello studio del cristallino calabrese e delle sue relazioni con i terreni circostanti. Secondo l'Autore l'autoctono sarebbe costituito dalla serie carbonatica mesozoica del Pollino e dalla sua copertura trasgressiva di flysch eocenico. Secondo Quitrow, il massiccio calabrese rappresenta una zolla stabile con costante tendenza al sollevamento e con sovrascorrimenti periferici verso nord.

Tentativi di attribuire una struttura a falde dell'Appennino calabro-peloritano si hanno con i lavori di Grzybowski (1921), Rovereto (1927), Anelli (1939), Fabiani e Trevisan (1940). Tuttavia

una svolta decisiva in tal senso si verifica con studi specifici regionali di Ogniben (1960) per la Sicilia nord orientale, di Selli (1962) per l'Appennino meridionale, di Ogniben (1969) per il confine calabro lucano.

Essi riconoscono nell'Appennino calabro siculo la presenza di diversi complessi o successioni di formazioni coeve ed appartenenti a facies diverse variamente sovrapposte. Furono infatti distinte alcune falde di trasporto in relazione all'ampia coincidenza riscontrata tra successioni e unita' tettoniche.

Tali distinzioni erano basate non piu' su semplici osservazioni strutturali di campagna ma soprattutto su dati stratigrafici e petrografici. Questo nuovo modo di impostare e studiare la geologia condusse al riconoscimento delle successioni anormali in cui terreni piu' antichi erano sovrapposti a terreni piu' recenti. Lo stato attuale delle conoscenze sull'argomento e' tuttavia sintetizzato nella carta litostratigrafica del modello struttura (Ogniben et al.1972) riprodotta parzialmente in fig. 12. In essa sono state distinte, relativamente alla Calabria e Sicilia, le diverse successioni e complessi che attualmente risultano tettonicamente sovrapposte in relazione alla loro posizione paleogeografica originaria.

4.3 Stratigrafia

Scopo delle pagine che seguono e' quello di descrivere succintamente le principali successioni stratigrafiche presenti

nell'ambito dell'area considerata nel presente studio. In generale il quadro geologico della Sicilia e della Calabria e' caratterizzato dalle seguenti successioni o complessi:

1) successione iblea

E' formata in prevalenza dalla serie carbonatica descritta soprattutto da Rigo e Barbieri (1959). Essa inizia con potenti dolomie supratriassiche con livelli effusivi basici (Cristofolini 1966 a) e con facies evaporitiche sottostanti. Le dolomie passano verso sud alle argille nere della formazione Streppenosa del Trias sup.-Lias inf. Seguono discontinue le formazioni calcaree giurassico-plioceniche.

2) successione sicana (area di Siacca)

Secondo Campisi (1968), la successione e' costituita da calcari pseudoolitici a Megadon del Trias sup.-Lias inf., calcari ammonitici (dogger-Malm), calcari a Tintinnidi (Titonico-Neoceniano). Quindi trasgressivi si hanno i calcari a Globigerina e a Globorotalia (Eocene-Oligocene), calcari a Lepidocyclina (inframiocenici) ed infine le argille azzurre Plioceniche.

3) successione imerese

Comprende i terreni che affiorano in Sicilia in continuita' laterale con le facies trapanesi a loro volta laterali a quella Iblea. L'originaria continuita' paleogeografica con passaggi graduali e' evidente soprattutto a livello di Oligocene-Miocene (Ogniben 1972 b). Infatti dalle calcareniti di soglia epineritica degli Iblei si passa alle calcareniti glauconitiche di soglia infraneritica della facies trapanese (Ogniben 1960).

Queste successioni sono presenti nelle Madonie occidentali, Piana degli Albanesi, Capo S. Vito, zona di Sagana ed infine nel confine calabro lucano. Quest'ultima area comprende affioramenti del mesozoico Lagonegro - S. Fede di Selli (1962), interpretata da questo Autore come coltre alloctona che si estende da Lagonegro sino a Bella-S. Fedele.

4) successione panormide

Secondo Trevisan (1960), con questo nome sono indicate le strutture di giacitura alloctona della successione carbonatica della Sicilia e dell'Appennino centro meridionale. Tale successione e' anche nota come "piattaforma carbonatica" oppure "Appennino calcareo meridionale". Essa e' costituita da una potente formazione di terreni calcareo-dolomitici la cui eta' va dal Tias al Miocene. Terreni di questa successione li troviamo nelle Madonie orientali, M. Pellegrino, Capo S.Vito catena costiera della Calabria, Calabria sett.

5) successione ligure

Viene anche denominata come successione delle argille scagliose ofiolitifere caratterizzate da rocce ofiolitiche legate a rocce sedimentarie di eta' giura sup.-creta inf. Esse comprendono gran parte dei flysch degli Autori precedenti a Selli (1962) e corrispondono alle coltri del silenzio e a quelle della Calabria sett., mentre sono completamente sconosciute in Sicilia.

6) successione sicilide

Detta anche delle argille varicolori non ofiolitifere che complessivamente mostrano una successione stratigrafica corrispondente a quella del complesso sicilide di Ogniben (1960). Esse poggiano su terreni di facies imerese in Sicilia mentre sono assenti in Calabria. I terreni sicilidi comprendono la falda piu profonda di Troina rappresentata dal basso dalle argille varicolori cretaceo eoceniche, e dalla falda piu alta di Cesaro rappresentata dal flysch di M.Soro.

7) complesso calabride

Al di sopra dell'edificio a falde, e precisamente sui terreni liguridi in Calabria e sui terreni sicilidi in Sicilia, troviamo i terreni del complesso cristallino calabride (Quitow 1935, Ogniben 1960) rappresentato nei M.Peloritani in Sicilia e dell'Aspromonte, Serra S. Bruno, Sila in Calabria.

I ricoprimenti calabridi sono costituiti da almeno quattro unita' di terreni cristallini con grado di metamorfismo crescente dal basso verso l'alto e da sud verso nord. La loro distinzione e' resa possibile dalla presenza di due successioni mesozoiche-paleogeniche trasgressive sul cristallino con basso grado di metamorfismo e di due sovrapposte falde cristalline a grado metamorfico distinto. Delle quattro falde di ricoprimento distinte da Ogniben (1960), la piu profonda e' la "falda di Longi" che in Sicilia, con la sua copertura carbonatica, delimita il margine esterno del complesso calabride e si estende da S. Fratello a Longi a Taormina. In Calabria invece affiora da Caloveto a Rossano (Ogniben 1972 a' e b). La falda e' costituita da semiscisti o filladi semimetamorfiche in Sicilia (Atzori 1970) e da filladi con intrusioni granitiche in Calabria. Su di essa poggiano trasgressivi le marne ed i calcari mesozoici-paleogenici.

Sovrapposta a questa vi è la "falda di Galati" caratterizzata da semiscisti o filladi di alta epizona (Atzori 1970) su cui in Sicilia poggiano trasgressivi i calcari mesozoici-oligocenici. Questi terreni affiorano in Sicilia a Galati, Rocca Novara, Limina, Forza d'Agro, Capo S. Alessio. In Calabria invece questa falda risulta spesso ricoperta da paleosuolo di tipo limonitico rosso (Guzzetta 1964) e si rinviene a Pilizzi, nella catena da Siderno a Stilo e nell'area compresa tra Amantea e Tiriolo.

In Sicilia, sovrastante alla falda di Galati, vi è la "falda di Mandanici" costituita dalle scisti verdi con scarsa copertura sedimentaria. In Calabria, nella stessa posizione si hanno gli "scisti bianchi" di Cortese (1895) che rappresentano un orizzonte continuo sopra le filladi e sotto le kinzigiti. Essi sono stati denominati da Dubois e Glaugeand (1965) "Unita' di castagna". I principali affioramenti sono presenti a nord di Catanzaro ed in piccoli lembi sull'Aspromonte. Infine troviamo sovrapposti i terreni ad alto grado di metamorfismo denominati da Ogniben "Falda d'Aspromonte". Essi sono rappresentati nei Peloritani e nell'Aspromonte da gneiss biotitici granatiferi. Nelle Serre invece si ha la formazione kinzigitica associata ai tre batoliti granitici delle Serre, Capo Vaticano e della Sila.

Trasgressivo sui livelli delle falde di Galati, di Mandanici e dell'Aspromonte poggia il flysch di Capo d'Orlando presente in Sicilia da Capo d'Orlando a Taormina con spessore fino a 800 m ed in Calabria a sud dello stretto di Catanzaro.

8) argille variegata antiscilidi

Si tratta delle argille variegata sicilidi sovrascorse al flysch di capo d'Orlando oppure sul sottostante complesso calabride. La distinzione del complesso sicilide e antiscilide è dovuta al fatto

che, mentre il complesso sicilide poggia sulla successione di facies imerese ed e' sottostante alla successione calabride, il complesso antisicilide poggia sul flysch di Capo d'Orlando. La denominazione antisicilide e' stata data da Ogniben (1969) a causa del loro senso di trasporto che e' opposto alla vergenza generale del corrugamento.

Esse affiorano in Sicilia sulla costa tirrenica mentre in Calabria sulla costa ionica.

9) calcareniti a briozoi

Sono in trasgressione postorogenena sulle argille variegatae antisicilidi. Si tratta di una formazione che rappresenta la continuazione della sedimentazione del flysch di Capo d'Orlando. Sono costituite da calcareniti organogene e di arenarie calcaree a Briozoi. In Sicilia affiorano soprattutto nella parte nord occidentale, mentre in Calabria sono presenti in piccoli affioramenti sul versante meridionale dell'Aspromonte.

10) formazioni autoctone postorogene

Le formazioni autoctone descritte in precedenza sono seguite da sedimenti autoctoni postorogenetici. Essi sono sovrapposti trasgressivamente all'edificio a falde calabro-siculo; sono costituiti da una successione di depositi terrigeni a granulometria variabile la cui distribuzione ha un chiaro significato strutturale. Secondo Ogniben (1972), essi sono caratterizzati alla base da una bilateralita' corrispondente alla ubicazione dell'attuale catena: i depositi postorogeni del versante tirrenico della Calabria e della Sicilia mostrano inclinazioni accentuate e conformi al versante stesso. Cio' sta' a dimostrare la vicinanza dell'area di sollevamento postorogeno alla costa tirrenica. Inoltre i depositi postorogeni

della Sicilia centro meridionale sono piu' grossolani verso nord e piu' fini verso sud denotando una provenienza del detrito da nord. Essi inoltre colmano alcune fosse di subsidenza. Questo tipo di sedimentazione dimostra di essere avvenuto successivamente alle fasi orogenetiche di trasporto che al contrario hanno determinato dei ricoprimenti tutti nello stesso senso.

Le evidenze cronologiche delle fasi di trasporto orogenetico, culminanti nel trasporto dei materiali alloctoni a formare la fascia corrugata si ha al limite tra Elveziano-Tortoniano.

La tettonica postorogena mostra il sollevamento isostatico della fascia corrugata, tutt'ora in corso a partire dal Tortoniano, la formazione di terrazzi medio-pleistocenici, lo sviluppo di una zona di faglie sismicamente attive lungo la linea Gela-Catania-stretto di messina-valle del Mesina-valle del Crati.

4.4 Morfogenesi dell' Appennino Calabro - Siculo

L'Appennino calabrese e quello della Sicilia nord-orientale (M. Peloritani), presentano una elevata individualita' geolitologica che li differenzia dal resto dell'Appennino e ne caratterizza la sua configurazione morfologica. L'Appennino Calabrese, infatti risulta composto da gruppi di rilievi a volte isolati che spesso non sono allineati nella direzione dell'asse orografico della Regione. Tra i

principali di tali gruppi vanno annoverati la Sila e l'Aspromonte entrambi con altezze superiori a 1900 m s.l.m.

Se escludiamo l'Aspromonte, le caratteristiche geomorfologiche più rilevanti dei principali rilievi montuosi calabresi sono caratterizzate da forme arrotondate e relativamente appiattite delle loro vette con pendici molto scoscese. Questo aspetto è da porre in relazione all'affioramento del cristallino calabrese intensamente fratturato e profondamente alterato in superficie da presentarsi come masse incoerenti instabili. Inoltre in molte montagne calabresi sono evidenti antiche superfici di erosione riconducibili geneticamente ad un ciclo Pliocenico. Esse sono estremamente evidenti ad esempio sull'altopiano della Sila a quote comprese tra 1100 e 1700 m, mentre sulle Serre sono comprese a quote inferiori (1000-1400m) e a 500-650 m sul M. Pozzo. Questa diversificazione della altezza delle superfici topografiche sui vari blocchi sono da attribuire alle dislocazioni tettoniche (probabilmente ancora in atto) che hanno interessato i diversi blocchi successivamente allo spianamento sommitale iniziale.

Al contrario il gruppo dell'Aspromonte presenta caratteri morfologici che si differenziano dai precedenti. I fianchi infatti presentano una particolare gradinata (pianalti) che si estende da circa 300 m s.l.m. a 1200-1300 m. Secondo A. Desio essi sono interpretati o come spianate d'abrasione marina incise sui fianchi di un rilievo in via di sollevamento a scatti, oppure come resti di una stessa superficie d'erosione continentale smembrata da faglie a gradinata e successivamente sollevata. Quest'ultima ipotesi sembra la più plausibile a causa della coincidenza delle scarpate dei gradini con i piani di faglia. Oltre ai suddetti terrazzi relativi soprattutto alla parte meridionale della Calabria, ne esistono altri, altrettanto significativi, su entrambi i versanti dell'Appennino calabrese (dal Crotonese e dalla catena Costiera fino all'Aspromonte).

Inoltre relativamente al rilievo della Sicilia e' da puntualizzare come la loro distribuzione spaziale non segue un allineamento particolare. Questa peculiarita' e' probabilmente in relazione con l'estremo disordine presente nella struttura geologica dell'Isola in cui sono presenti la maggior parte di tipi morfologici della regione appenninica. Come puntualizzato in precedenza, i M. Peloritani possono essere considerati come una parte dell'Appennino calabrese presente nella Sicilia nord-orientale.

La parte centrale della Sicilia presenta una morfologia piu' uniforme della parte occidentale, con rilievi a volte sormontati dai resti di una formazione di rocce gessifere. Mentre a sud-est nella regione Iblea la morfologia e' caratterizzata da tavolati a quote di circa 500 m.

4.5 Generalita' sulla geologia locale della piana di Gioia Tauro

La zona in esame rappresenta una depressione colmata da sedimenti prevalentemente continentali di eta' quaternaria, che si prolunga verso nord nella valle del Mesina e verso sud entro il massiccio dell'Aspromonte.

Nella zona sono presenti terrazzi a vari livelli (da 40 m ad oltre 300 metri s.l.m.) relativi a paleosuperfici marine e rappresentati negli alti strutturali da superfici di abrasione senza

depositi marini. Nella depressione di Gioia Tauro, il terrazzo più basso è rappresentato da un deposito litorale ghiaioso-sabbioso dello spessore di alcuni metri. Sulla quasi totalità dell'area della piana si estende una superficie topograficamente omogenea che rappresenta la paleosuperficie principale ricoperta da un paleosuolo rossastro dello spessore di circa 3 m che maschera la natura della piana. Lungo la costa tale superficie passa, in modo graduale, ai depositi terrazzati di Gioia Tauro interessati da una serie di cordoni dunari orientati parallelamente alla costa.

In una zona compresa tra Drosi e Rosarno, tra le quote di 10 e 130 m s.l.m., si sviluppa una piana sabbiosa a morfologia ondulata costituita da una fitta alternanza di depressioni separate da strette dorsali disposte perpendicolarmente alla linea di costa. In questa area le sabbie del substrato sono state dapprima rimaneggiate dalla attività fluviale che ha completamente asportato il paleosuolo e successivamente rielaborate dall'azione eolica. Sono inoltre presenti ai margini della piana lembi fossili di depositi continentali di tipo conoidale (zona compresa tra Seminara e il T. Marro, area di Taurianova e di Melicucco). Un lembo fossile di conoide è anche addossato alla scarpata dell'alto strutturale di Nicotera, degradando sulla pianura del terrazzo di Nicotera marina.

A Sud di Gioia Tauro, ai lati dei maggiori corsi di acqua, si rinvencono più ordini di terrazzi fluviali caratterizzati da copertura alluvionale di tipo conglomeratico dello spessore massimo di 5 metri. Inoltre alluvioni recenti e attuali, costituite da conglomerati sabbiosi costituiscono l'alveolo dei maggiori corsi d'acqua attuali.

4.6 Studi esterni per la caratterizzazione geotettonica dell'area Siculo-calabrese

Da quanto esposto in precedenza risulta come il grado di conoscenza geotettonica dell'Arco Calabro-Peloritano e' tutt'altro che esauriente e lungi quindi dal fornire gli elementi essenziali per una adeguata caratterizzazione del sito di Gioia Tauro. Daltronde la progettazione ed installazione della rete strumentale da ubicare in tale sito necessita di una migliore definizione di alcuni parametri di progetto che possono essere ottenuti soltanto sulla base di una adeguata conoscenza geotettonica dell'area siculo calabrese considerata. A tale scopo sono stati intrapresi presso operatori esterni studi di geologia mirati a fornire risultati significativi dell'area. In particolare verra' eseguito uno studio geologico strutturale dell'area evidenziando nel contempo le sue caratteristiche neotettoniche e sismotettoniche con particolare riferimento all'area di Gioia Tauro.

Il progetto di ricerca e' strutturato in due linee di attivita':

- a) inquadramento geologico strutturale dell'arco Calabro-Peloritano;
- b) caratteristiche neotettoniche e sismotettoniche del suddetto arco e dell'area di Gioia Tauro.

Obiettivo della linea di attivita' a) sará quello di fornire l'inquadramento geologico strutturale dell'arco Calabro-Peloritano nel contesto geologico del Mediterraneo centrale. La linea di attivita' b) invece prevede lo studio sistematico delle caratteristiche neotettoniche e sismotettoniche dell'area in oggetto con particolare riferimento alle tematiche dei modelli neotettonici e della attivita' delle principali strutture neotettoniche.

Inoltre in relazione all'importanza che riveste la piana di Gioia Tauro per il progetto ENEA inerente alla installazione della rete di monitoraggio strumentale verticale, verra' eseguito uno studio ad hoc supplementare relativo alle sue caratteristiche sismotettoniche. In tale ambito verranno svolte una serie di considerazioni di tipo sismotettonico sulla base delle conoscenze di carattere geologico, neotettonico e geofisico disponibili per la regione considerata.

L'obiettivo delle ricerche di tipo sismotettonico e' costituito dalla definizione delle relazioni esistenti tra strutture superficiali e profonde, geometria del campo degli sforzi agente, movimenti crostali recenti e sismicita'. La comprensione di queste relazioni e dei processi geodinamici cui esse obbediscono risulta estremamente complessa a causa del grande numero di dati multidisciplinari. La compilazione di un modello sismotettonico non puo' infatti prescindere dalla conoscenza di una serie di informazioni fondamentali quali:

- un modello strutturale;
- un modello dell'evoluzione geodinamica;
- una caratterizzazione dei processi deformativi neotettonici;
- una analisi del campo degli sforzi agente;
- una definizione della sismicita' dell'area ottenuta mediante dati strumentali, informazioni di tipo macrosismico e da rilievi sismometrici locali.

Verranno inoltre esaminati tutti i dati disponibili nella letteratura inerenti i punti di cui sopra, attribuendo ad essi pesi differenti in funzione di un obiettivo che vede la caratterizzazione sismotettonica e conseguentemente una zonazione dell'area in esame a scala regionale.

4.7 Indagini passate nella piana di Gioia Tauro

La piana di Gioia Tauro e le aree limitrofe, in relazione al loro elevato interesse sitologico per impianti energetici, sono state oggetto nel recente passato di indagini geognostiche significative. Le aree della piana investigate in modo abbastanza approfondito, soprattutto dal punto di vista geotecnico e geofisico, sono tutte a breve distanza tra loro e dall'abitato di Gioia Tauro. Uno schema di massima di tali siti e' riportato nella fig. 18, mentre di seguito sono riportate alcune informazioni di interesse su ciascuna di tali aree:

a) Quinto Centro Siderurgico

Le indagini effettuate nell'area risalgono al periodo 1976 - 1977. Tali studi sono stati eseguiti dalla societa' D'Appolonia e sono concentrati soprattutto nella fascia di depositi costieri compresi tra S. Ferdinando ed Eranova. Nelle indagini sono state impiegate metodologie della sismica a rifrazione e a riflessione e metodi di datazione dei livelli sedimentari.

b) Porto Industriale

Nell'area interessata alla costruzione del Porto Industriale di Gioia Tauro sono state eseguite indagini tra il 1975 e il 1981 concentrate soprattutto a cavallo della linea di costa con perforazioni e prove penetrometriche statiche e dinamiche sia a

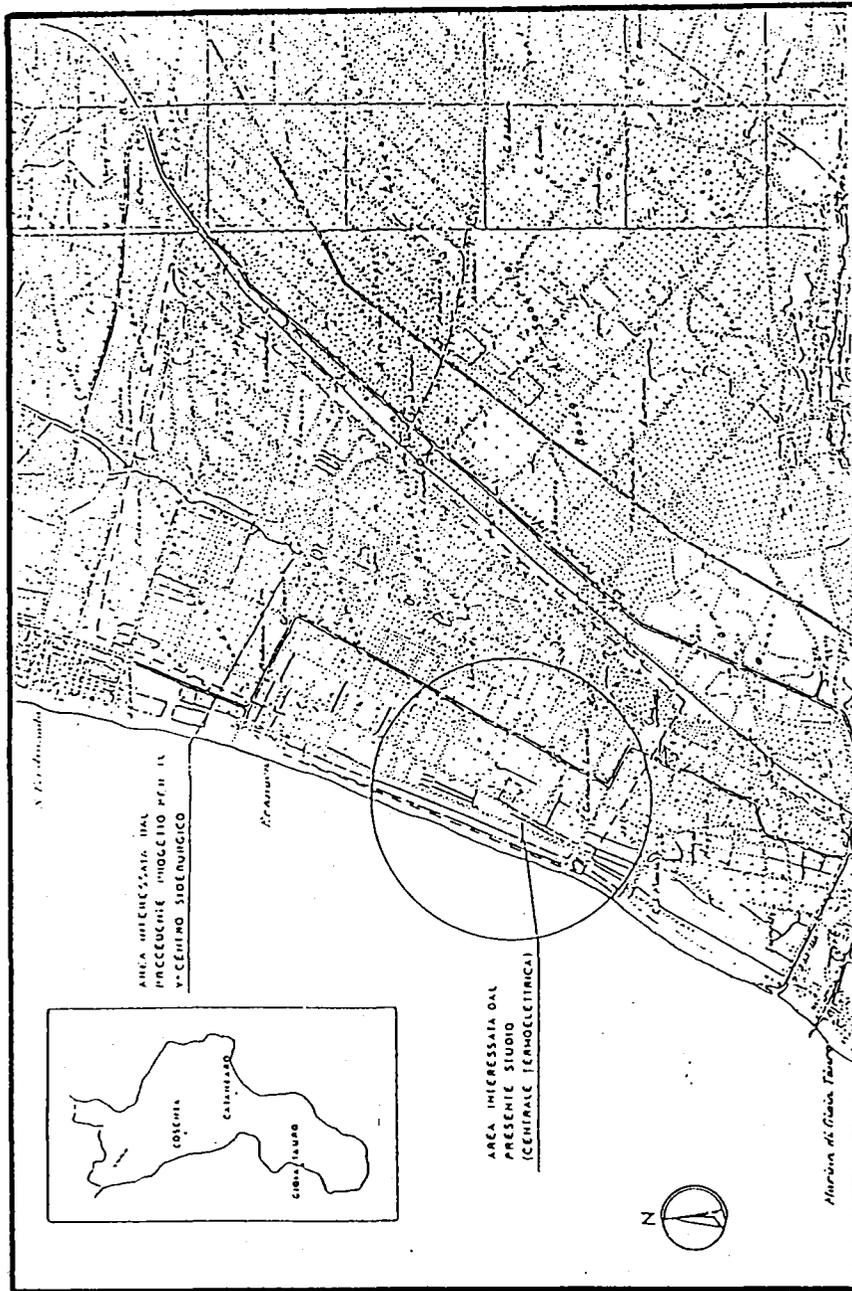


Fig. 13: Localizzazione delle aree in cui sono state condotte indagini geotecniche.

terra che a mare. Ad eccezione dei dati delle prove geotecniche di laboratorio, il resto delle informazioni geostratigrafiche sono gentilmente fornite dalla Cassa per le Opere Straordinarie di Pubblico Interesse nell'Italia Meridionale.

Stratigrafia

Le indagini eseguite nelle tre campagne geognostiche nel periodo anzidetto hanno evidenziato una notevole variabilità nella stratigrafia, sia orizzontalmente che verticalmente (fig. 19). Pur non essendo possibile tracciare un inquadramento litologico, geomorfologico e sedimentario dell'intera zona a causa della limitatezza dell'area investigata, è possibile tuttavia ricavare una descrizione stratigrafica sufficientemente accurata dei sedimenti che colmano la depressione di Gioia Tauro utile sia sotto l'aspetto geotecnico che ingegneristico.

Al riguardo assume un particolare interesse la serie quaternaria sovrapposta alle argille plioceniche, in quanto direttamente coinvolta nella rete strumentale verticale. Procedendo dall'alto verso il basso abbiamo:

I) sabbie superiori

Nell'ambito di questa formazione è possibile individuare due sottostrati costituiti dai seguenti materiali.

- sabbie da medio grosse a fini di colore grigio, con locali livelli di sabbie poco limose. Questi livelli diventano via via più limosi procedendo da terra verso mare rendendo talvolta difficile la distinzione dalla formazione sottostante di sabbie limose e limi. Lo spessore di questo strato varia da 10 a 25 m in genere crescente verso mare a discapito della formazione di sabbie

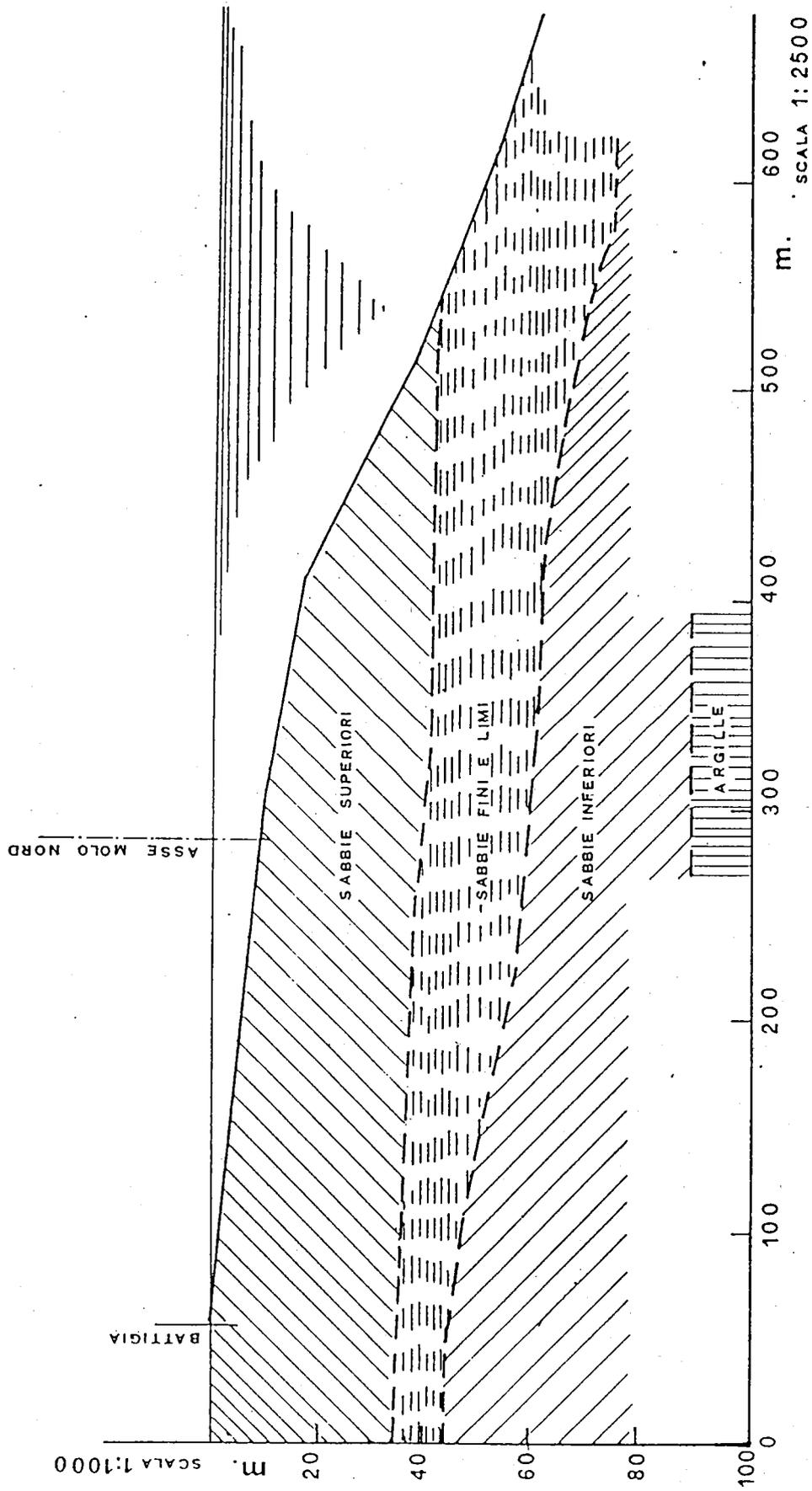


Fig. 14: Stratigrafia schematica dei terreni dell'area del Porto di Gioia Tauro.
 (per gentile concessione della Cassa per le Opere Straordinarie di
 Pubblico Interesse nell'Italia Meridionale di Roma)

grossolane sovrastanti.

- sabbie medie e medio-grosse superficiali con ghiaia e ghiaietto di colore bruno nocciola passante al grigio nella parte bassa. Il quantitativo di ghiaia e ghiaietto diminuisce da terra verso mare. A terra questa formazione e' ricoperta sovente da sabbie fini da limose a poco limose, di colore bruno di spessore variabile mediamente tra i 3-4 m. Lo spessore di queste sabbie varia da 12 a 16 m.

II) Sabbie fini e limi

Questo strato si presenta generalmente come una fitta alternanza di sabbie fini limose e di limi sabbiosi e/o argillosi di bassa plasticita' di colore grigio, caratterizzato da sporadici frammenti conchigliari e tracce di mica. La geometria del deposito e' lenticolare; si riscontra inoltre un abbassamento della formazione ed una riduzione del suo spessore procedendo da Sud verso Nord. La potenza media si aggira tra i 15-20 m.

III) Sabbie inferiori

Questo strato e' costituito da sabbie fini e medio-fini di colore grigio con tendenza a presentare intercalazioni di sabbie limose procedendo da nord verso sud.; sono caratterizzate da una estrema variabilita' orizzontale ed il loro spessore e' di 25-30 m.

IV) Argille Plioceniche marine del substrato

Questa formazione e' costituita da argille marine grigio-azzurre il cui tetto e' stato rilevato in corrispondenza di un unico sondaggio alla profondita' di circa 90 m dal livello del mare. Non essendo disponibili altri dati geotecnici relativi ad

altri fori e' praticamente impossibile ricostruire con una certa esattezza il suo andamento areale.

c) Centrale termoelettrica dell'ENEL.

Questo sito e' adiacente al porto ed e' stato interessato da indagini eseguite nel periodo 1983-1985. Le caratterizzazioni geognostiche eseguite su di esso hanno fornito un insieme di dati di gran lunga piu' completi rispetto a quelli ottenuti dalle indagini eseguite sulle due aree precedenti. Tuttavia tenuto anche conto della posizione centrale di tale area nell'ambito della piana per una sua corretta conoscenza sono essenziali informazioni e dati di natura soprattutto stratigrafica. Facendo riferimento alle poche notizie geotecniche in nostro possesso relative a tale sito e, procedendo dall'alto verso il basso, e' possibile tracciare una stratigrafia di massima relativa alle formazioni sabbiose di maggiore interesse per questo studio. Di seguito viene riportata la stratigrafia di massima:

I) sabbie medie e grossolane

Si tratta di una sequenza di prevalenti sabbie grigiastre ben classate da medie a grossolane caratterizzate da locali intercalazioni di ghiaie poligeniche, che formano i sedimenti del substrato della depressione di Gioia Tauro. Questa sequenza, potente circa 70 m, e' attribuibile geneticamente al Pliocene inferiore.

II) sequenza marnoso-argillosa

E' costituita da una porzione inferiore di marne bruno-grigiastre del Pliocene inferiore avente una potenza di circa 70 m e da una porzione superiore di argille grigo azzurre non ben definita, con intercalazioni centimetriche di sabbie fini piu frequenti verso l'alto. Lo spessore delle argille, difficilmente valutabile in profondita', risulta di circa 200 m in affioramento nell'area di Palmi.

III) sequenza arenaceo-calcarenitica

Appartiene al Miocene ed e' costituita da una porzione basale di arenarie leggermente cementate con granulometria da media a grossolana. E' caratterizzata da intercalazioni di conglomerati e da una porzione superiore di calcareniti cementate biancastre. Questa sequenza affiora presso Palmi e Nicotera ed ha uno spessore di circa 10 m.

IV) substrato cristallino

Si tratta delle formazioni metamorfico-cristalline affioranti nelle zone di Palmi e Nicotera.

4.8 Generalita' sul fenomeno di liquefazione

Lo studio del comportamento dei terreni sottoposti a carichi di natura dinamica rappresenta uno dei problemi di maggior interesse nei settori della geotecnica e dell'ingegneria civile. La conoscenza dei parametri statici, come ad esempio l'analisi granulometrica, i limiti di Atterberg, il peso specifico e l'indice dei vuoti, anche se di estremo interesse per la comprensione dei fenomeni statici o quasi statici forniscono scarse informazioni relativamente al comportamento dei terreni quando sono attraversati dalle onde sismiche. In particolare le sabbie sciolte o poco addensate, se attraversate da vibrazioni sismiche, possono aumentare il loro grado di compattazione dando origine in superficie ad apprezzabili cedimenti verticali imputabili soprattutto alle onde di taglio.

Esempi storici in tal senso sono rappresentati dal terremoto di Valdivia (Cile) nel 1960 e dal terremoto avvenuto in Alaska nel 1964. In entrambi i casi l'addensamento delle formazioni sabbiose determino' cedimenti verticali dell'ordine del metro. Relativamente ai fattori esterni che influenzarono il fenomeno e' da rilevare come la loro entita' sia funzione della frequenza delle oscillazioni indotte dal sisma nella struttura del deposito nonche' della sua magnitudo. Inoltre a parita' di numero di cicli il grado di compattazione e' funzione sia dell'ampiezza delle oscillazioni tangenziali sia dell'indice dei vuoti del deposito.

Altro fenomeno di rilievo conseguente alla propagazione delle onde sismiche nella crosta terrestre e' rappresentato dalla liquefazione ciclica. Come gia' descritto da O. Iacurto questo fenomeno, determinato dalla eccitazione ciclica di strati saturi di terreni incoerenti di opportuna granulometria, assume particolare interesse nella progettazione di manufatti sia civili che energetici. Si tratta di un fenomeno che, in relazione alla sua natura genetica, interessa soprattutto le piane alluvionali, marine e lacustri con

livello della falda freatica prossima alla superficie. Storicamente fenomeni di questo genere si sono verificati sia in Italia (Friuli 1976 e Irpinia 1980) sia in maniera molto più accentuata a Niigata (Giappone) durante il terremoto del 16.6.1964, con magnitudo pari a 7.3 ed epicentro distante circa 20 km.

Relativamente al nostro Paese numerose sono le formazioni incoerenti suscettibili di liquefarsi. Questo aspetto assume particolare interesse in quanto spesso molti terreni di fondazione presentano tale peculiarità. Altro aspetto di questo fenomeno da non sottovalutare per le sue implicazioni sulla stabilità delle strutture, e' rappresentato dalla costruzione delle medesime che, modificando gli equilibri preesistenti, contribuiscono ad aumentare il pericolo di liquefazione. Tale fenomeno può interessare non soltanto gli impianti energetici ma anche molte strutture urbane.

In generale quando le sabbie sature sono attraversate dalle onde sismiche la loro tendenza a consolidare e' accompagnata dall'aumento della pressione dell'acqua intergranulare. In generale, se per effetto di azioni dinamiche esterne lo sforzo totale applicato si trasferisce integralmente alla fase liquida, si verifica il fenomeno della liquefazione ed in queste condizioni la resistenza tangenziale della sabbia diviene nulla. Le implicazioni di questo fenomeno sulla portanza dei terreni sedimentari che caratterizzano la quasi totalità delle pianure costiere sono rilevanti e non sempre quantizzabili in modo rigoroso. Ciò spiega il crescente interesse, a livello nazionale e internazionale, verso metodologie che valutino tale fenomeno sia sulla base delle caratteristiche granulometriche delle formazioni di interesse, sia sulla stima del loro modulo di taglio.

4.8.1 Metodologie per la stima del potenziale di liquefazione -

I metodi attualmente disponibili in letteratura per la valutazione della suscettibilità di liquefazione di formazioni geologiche opportune sono molteplici e spesso disomogenei. Le maggiori divergenze riguardano soprattutto la diversità dei parametri che ciascun metodo utilizza, nonché l'estrema peculiarità delle condizioni di sito cui spesso fanno riferimento. Questo aspetto crea non pochi problemi, non soltanto sulla validità di tali metodologie per situazioni locali, ma soprattutto rendono quasi impossibile un confronto critico dei risultati ottenuti. Inoltre la maggior parte di tali metodologie stima il potenziale di liquefazione non tenendo nel debito conto i rapporti granulometri che caratterizzano gli strati di interesse. A ciò va aggiunta la consuetudine, ormai consolidata tra gli studiosi anche di livello internazionale, del calcolo della forzante a date profondità utilizzando "time history" registrate in superficie e trasferite alla quota di interesse sulla base di relazioni empiriche a volte scarsamente significative. Soltanto di recente, grazie alla maggiore disponibilità di dati geotecnici, si stanno diffondendo metodologie comprendenti anche parametri granulometrici nella valutazione di tale potenziale.

In prima approssimazione tali metodologie possono essere così suddivise:

a) metodologie di microzoning (vedi allegato 4)

b) metodologie regionali

Queste ultime metodologie, ancora non sufficientemente applicate nel nostro Paese, sono particolarmente versatili per caratterizzare preliminarmente, in termini di suscettibilità di liquefazione, ampie

aree regionali. Inoltre possono fornire, nei casi di mancata liquefazione dei terreni, utili indicazioni relative alla possibile riduzione della capacita' portante dei medesimi. Da cio' risulta come un appropriato uso di questa metodologia potrebbe fornire elementi utili anche in sede di pianificazione urbanistica ed industriale del territorio. Al riguardo se si considera che il nostro Paese e' molto sismico e che molti Comuni sono ubicati in aree di origine alluvionale o lacustri caratterizzate da terreni incoerenti e con livello della falda prossima alla superficie, questo strumento assume importanza rilevante.

Tuttavia un loro uso corretto presuppone uno studio delle caratteristiche litologiche e freatiche dell'area e la valutazione dei livelli di accelerazione ivi esistenti. Tali informazioni dovrebbero essere sintetizzate in carte tematiche in grado di fornire notizie utili relative sia alla suscettibilita' di liquefazione dell'area nel suo complesso, sia del livello dell'hazard sismico. Le prime devono limitare aree caratterizzate da materiali suscettibili di liquefazione in condizioni opportune, mentre sulle seconde sono riportati i periodi di ritorno per terremoti di levata intensita' macrosismica. A cio' va aggiunto la definizione delle magnitudo dei terremoti dell'area da utilizzare nella valutazione dell'hazard dell'area.

L'analisi congiunta di queste mappe, unitamente ad altre informazioni utili disponibili, potra' fornire indicazioni per la valutazione della suscettibilita' di liquefazione dell'area considerata. Tuttavia le conclusioni dedotte con questo tipo di metodologia, anche se di estremo interesse, non possono fornire valutazioni a livello puntuale del potenziale di liquefazione. Cosicche' per le problematiche di sito esse devono essere integrate con tecniche di microzoning che sulla base delle peculiarita' litostratigrafiche del sito consentono di ottenere elementi maggiormente significativi e quindi meno generalizzabili.

Relativamente all'area di Gioia Tauro e con riferimento ai dati in nostro possesso e' da precisare come uno studio a livello regionale della suscettibilita' di liquefazione, utilizzabile anche per altre aree di interesse, non sia stato eseguito. Al contrario, sulla base di livelli stimati di accelerazione sono state fornite valutazioni sulla liquefacibilita' di alcune aree.

4.9 Azioni da promuovere per giungere ad una completa caratterizzazione geologica e geotecnica del sito

Al fine di giungere ad una completa caratterizzazione del sito, in considerazione di quanto fin qui espresso, si dovranno compiere indagini geologiche, sismotettoniche, geotecniche, sismiche e morfologiche; in particolare sara' necessario compiere prospezioni sismiche ad alta risoluzione, prospezioni geoelettriche, sondaggi stratigrafici, prove geotecniche in sito ed in laboratorio.

L'area relativa alla piana di Gioia Tauro e' stata oggetto nel recente passato di indagini geognostiche da parte di diversi operatori. Tenuto conto dell'importanza di tali risultati ai fini della caratterizzazione geolitologica dei terreni della piana, tali risultati andrebbero acquisiti con opportune azioni esterne. Di seguito vengono riportati i titoli dei diversi lavori da acquisire in relazione ai tre siti maggiormente studiati.

- Quinto centro siderurgico.

Relativamente a questo sito sono state eseguite dalla societa' D'Appolonia indagini geognostiche per conto dell'ITALSIDER S.P.A. di Genova. In particolare le indagini comprendono:

- Appendix A to final report age dating of soils (Paleontology, paleomagnetism, carbon 14) and boring logs
- Appendix B to final report geophysical data (reflection, refraction and resistivity)
- Appendix C to final report laboratory soil testing (cyclic triaxial and grain size)
- Final report site investigation Geology, geophysics and liquefaction potential (literature search, aerial photography, aerial reconnaissance, field investigation of critical areas, fault activity criteria, aerial photography and local geologic mapping, test borings, geophysical survey, geochronology, interpretation of fault investigation results, phenomenon of liquefaction, methodology for liquefaction potential analysis, conservatism of liquefaction potential analysis).
- Porto industriale

Inoltre nelle zone interessate dalle infrastrutture portuali, sono state eseguite dalla società ESTRAMED S.P.A. le sottoriportate indagini:

Sondaggi geognostici (meccanici, elettrici, carotaggi radioattivi)

Sismica a riflessione (Boomer ad alta risoluzione, Sparkar, Ecosonda, Metodo di rilievo, Sistema di navigazione)

Indagini sismologiche (Geodinamica dell'arco Calabro, sismicità della Calabria, possibilità di maremoti)

Relazione geologica (Le formazioni affioranti nell'area circostante la

Piana di Gioia Tauro, i terremoti della piana di Gioia Tauro, la piana interna, i terremoti del fondo marino antistanti la costa, tettonica della Regione, tettonica del fondo marino).

Queste indagini non sono attualmente in nostro possesso. Tenuto conto della loro rilevanza ai fini di una migliore caratterizzazione dell'area in oggetto, andrebbero intraprese nell'immediato azioni tendenti alla loro acquisizione.

- Sito ENEL Il sito e' stato oggetto di numerose indagini geotecniche e geofisiche condotte per conto dell'ENEL nel periodo 1983 - 1985. Una migliore caratterizzazione geo-litologica del sito, in relazione alla installazione della rete strumentale, sara' possibile sulla base delle analisi dei dati provenienti dalle indagini ENEL.

Le tematiche sviluppate in questo capitolo sono il risultato della compilazione ed elaborazione di informazioni geostrutturali desunte dai lavori riportati in bibliografia cui si rimanda per ulteriori e piu' approfondite analisi.

BIBLIOGRAFIA

La seguente bibliografia e' relativa ai capitoli 1,2,3,4,5

- P. Bard, M. Bouchon : "The Seismic Response of Sediment-Filled Valley; Part 1. The Case of Incident SH Waves"
BSSA vol.70, n.4, pp. 1263-1286, ago. 1980
- P. Bard, M. Bouchon : "The Seismic Response of Sediment-Filled Valley; Part 2. The Case of Incident P and SV Waves"
BSSA vol.70, n.5, pp. 1921-1941, ott. 1980
- J. Boatwright (Edit.) : "The Dynamic Characteristics Of Faulting Inferred From Recordings Of Strong Ground Motion"
Proc. of Workshop XVI,
USGS Open File Rep. 82-591, ott. 1981,
vol 1 e 2
- Cassa Per Opere Straordinarie di Pubblico Interesse
Nell'Italia Meridionale (Cassa del Mezzogiorno) :
"Porto Industriale di Gioia Tauro;
Studio della sismicita' locale"
nov. 1979
- I. Guerra, V. Gallo : "Recenti osservazioni sismografiche in Calabria"
Presentato al V Convegno del Gruppo Naz. di Geofisica della Terra Solida, Roma nov. 1986
- I. Guerra : "Gli studi sulla sismicita' del territorio

calabrese in corso presso l'Universita' della Calabria"

Rendic. Oss. Reggino, vol XXVIII anni 1980-81, 1984

W. Hays (Edit.) : "Site-Specific Effects Of Soil And Rock On Ground-Motion And The Implications For Earthquake-Resistent Design"

Proc. of Confer. XXII,

USGS Open File Rep. 83-845,

luglio 1983, Santa Fe

J.L. King, P.E. Tucker : "Observed Variations of Earthquake Motion Across a Sediment-Filled Valley"

BSSA vol.74, n.1, pp 137-151, feb. 1984

J.L King, J.N.Brune : "Modeling the Seismic Response of Sedimentary Basins"

BSSA vol.71, n.5, pp. 1469-1487, ott. 1981

W.D.Iwan (Edit.) : "U.S. Strong-Motion Earthquake Instruments"

Proc. National Workshop On Strong-Motion Instrument, Santa Barbara, California 1981

W.D.Iwan (Edit.) : "Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays",

Proc. Intern. Workshop On Strong Motion Instrument Arrays, Honolulu 1978

T. Okubo, T. Arakawa, K. Kawashima :

"Dense Instrument Array Program of the Public Research Institute and Preliminary Analysis of the Records"

T. Tanaka, Y. Kitagawa : "Strong Motion Earthquake Seismometer

Arrays in Japan"

P.E. Tucker, J.L. King : "Dependence of Sediment-Filled Valley
Response on Input Amplitude and Valley
Properties"
BSSA vol. 74, n.1, pp. 153-165, feb. 1984

P.E. Tucker, J.L. King, D. Hatzfeld, I.L. Nersesov :
"Observations of Hard-Rock Site Effects"
BSSA vol.74, n.1, pp 121-136, feb.1984

EERI "Proceedings Workshop on Strong Ground Motion
Simulation and Earthquake Engineering:
Application"
Los Altos California apr. 1984

La seguente bibliografia e' relativa al capitolo 6

Cassa Per Opere Straordinarie di Pubblico Interesse
Nell'Italia Meridionale (Cassa del Mezzogiorno) :

"Porto Industriale di Gioia Tauro;
Progetto di variante delle opere foranee"
nov. 1979

Ippolito F. : "Bibliografia Geologica d'Italia: Calabria"
vol.IV. Stabilimento topografico G.Genovese,1959.

Dei io A. : "Geologia dell'Italia"
Unione tipografica-Editrice Torino

Anelli M. : "Sulla presenza di falde di ricoprimento
nell'Italia meridionale"
Atti Soc. Naz. Modena, 70, 1-13, 1939

- Atzori P. : "Contributo alla conoscenza degli scisti epizonali dei M. Peloritani"
Riv. Min. Sic. a .21, Palermo, 1970
- Baldacci L. : "Descrizione geologica dell'isola di Sicilia"
Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, I, 403 p.
Roma 1886
- Campisi B. : "Microfossili e stratigrafia del Miocene inf. dei Sicani sud-occidentali"
Atti Acc. Gioemia Sc. Nat. Catania,
s.6, 20, 233-234 Catania 1968
- Cortese E. : "Descrizione geologica della Calabria"
Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia ,9, Roma 1895
- Cristofolini R. : "Studio petrografico del piu profondo livello vulcanico nel sottosuolo (dolomia triassica di Ragusa)"
Atti Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania 1966 a
- De Lorenzo G. : "Geologia e geografia fisica dell'Italia meridionale"
Laterza, Bari 1904
- Dubois R. e Glangeaut L.: "Grandes structures et sensdes chevauchements de material cristallin a l'estremite meridionale du massif de la Sila"
C.R. somm. Soc. Geol. Fr.7, Paris 1965
- Fabiani R. e Trevisan L.: "Prove dell'esistenza di uno stile tettonico a falde di ricoprimento nei M. Peloritani "
Atti R. Acc. d'Italia Mem. Cl. fis. mat. nat,

(1), Roma 1940

- Grzybowski K. : "Contributi agli studi della struttura geologica dell'Italia meridionale"
Soc. Geol. It., 40(1-2), Roma 1921
- Guzzetta G. : "Condizioni di giacitura dei terreni sedimentari affioranti nel circondario di Palazzi (Reggio Calabria)"
Boll. Soc. Natur. Napoli, 73, 201-210,
Napoli 1964
- Iacurto O. : "Parametri e metodologie inerenti al fenomeno della liquefazione di formazioni sabbiose"
Publ. ENEA (RT/PAS/2) 1985
- Iacurto O. : "Importanza dei parametri dinamici nella valutazione del potenziale di liquefazione: parte prima"
Publ. ENEA (RT/PAS/8) 1985
- Limanowski M. : "Die grosse Kalabrische Decke"
Bull. Int. Acad. S.
Cracovia, Cl. Sc. Math. Nat., s.A, (6A), 1913
- Lugeon M. e Argand E.: "La racine de la nappe sicilienne et l'arc de charriage de la Calabre"
C.R. Acad. Sciences, 142, 3p., Paris 1906
- Ogniben L. : "Nota illustrativa dello schema geologico della Sicilia nord orientale"
Riv. Min. Sic., a 11, 64-65, Palermo 1960

- Ogniben L. : "Tettonica della Sicilia e della Calabria"
Boll. Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania 1968
- Ogniben L. : "Schema introduttivo al confine calabro
lucano"
Mem. Soc. Geol. It., 8, Pisa 1969
- Ogniben L. : "Gli elementi strutturali della regione
appenninica"
Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova 1971
- Ogniben L. : "Schema geologico della Calabria su base
compilativa"
Mem. Soc. Geol. It. Pisa 1972
- Ogniben et al. : "Structural model of Italy"
C.N.R.-Roma 1975
- Ogniben L. : "Relazione sul modello geodinamico
conservativo della regione italiana"
1981 ENEA
- Quitow H.W. : "Der Deckenban des Kalabrischen Massivs und
seiner Rangebiete"
Abh. Ges. Wiss. Gottinge, Math. Phys. Kl., s. 3,
(13) Gottingen 1935
- Rigo M. e Barbieri F. : "Stratigrafia pratica applicata alla
Sicilia"
Boll. Serv. Geol. It., 80(2-3), Roma 1959
- Rovereto G. : "Sur les charriages de l'apennin centrale et
meridionale"
C. R. Soc. Geol. Fr., 27(9), Paris 1927

- Selli R. : "Il Paleogene nel quadro della geologia
dell'Italia centro meridionale"
Mem. Soc. Geol., 3, Pavia 1962
- Trevisan L. : "Elementi di geologia"
IV Ed., Vallerini E.S. Pisa 1960
- Vezzani L. : "Moderne vedute sulla geologia
dell'Appennino"
Acc. Naz. dei Lincei, 16-18 Febbraio, Roma 1972
- Vezzani L. : "L'Appennino siculo - calabro - lucano"
Atti Conv. 'Moderne vedute sulla geologia
dell'Appennino' Roma 1972

ALLEGATO 1 -

ANALISI PRELIMINARE DI PERICOLOSITA' SISMICA PER LA REGIONE
CALABRIA

Carlo Marzi - Adriana Carillo

Recentemente, presso il Laboratorio Ingegneria dei Siti, e' stata messa a punto una catena metodologica per l'analisi di pericolosita' sismica finalizzata alla produzione automatica di mappe di sismicita' per il territorio italiano come contributo alla risoluzione di problemi di siting di impianti energetici e di installazione di reti strumentali per misure sismiche.

La procedura e' composta da due fasi successive.

La prima parte, dedicata all'analisi dei dati di sismica storica e strumentale, e' stata strutturata secondo una serie concatenata di metodologie di seismic hazard o gia' note in letteratura e modificate allo scopo, o appositamente messe a punto nell'ambito di questo lavoro. Nella seconda fase si e' operato per la gestione automatica dei risultati e per la loro sovrapposizione ai dati geografici del territorio italiano.

Il primo passo del presente studio e' stato l'accesso alle fonti dei dati. Per i dati di sismica storica si e' fatto uso del catalogo del Progetto Finalizzato Geodinamica (P.F.G.) che riporta gli eventi sismici avvertiti in Italia a partire dall'anno 1000 con intensita' macrosismica espressa secondo la scala M.C.S..

Per i dati sismici strumentali si e' fatto riferimento:

- a- alla banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica per quanto riguarda i valori di magnitudo, distanze epicentrali e profondita' ipocentrali;
- b- alla banca dati ENEA-ENEL, costituita da registrazioni acquisite tramite la rete accelerometrica installata sul territorio italiano, per i valori di accelerazione, velocita' e spostamento del terreno durante l'evento sismico.

All'interno della regione presa in esame per l'analisi di seismic hazard sono state individuate le aree cosiddette "sorgenti" di eventi sismici sulla base della distribuzione spaziale degli epicentri degli eventi sismici avvenuti, delle mappe delle ricorrenze sismiche, dei dati strumentali eventualmente disponibili e da analisi sismotettoniche. In figura 1 sono riportate le sorgenti selezionate. Tutta l'attività sismica non compresa in queste aree sismogenetiche, e' stata ridistribuita sull'intero territorio italiano considerandola come un livello di sismicità diffusa.

Per la metodologia applicata era necessario caratterizzare l'attività sismica di ciascuna area sismogenetica mediante una cosiddetta relazione di ricorrenza.

La legge più usata in letteratura fino ad oggi e' stata quella nota come Gutenberg-Richter (G.R.) che mette in relazione il numero di terremoti con i valori di magnitudo:

$$\log N = a - b M \quad (1)$$

I dati di sismica storica che costituiscono il catalogo del P.F.G. sono però classificati con l'intensità M.C.S.; da vari studi appare consistente la dipendenza tra intensità macrosismica e magnitudo soltanto con valori relativi ad una stessa struttura sismogenetica. Esistono tuttavia molte leggi di dipendenza generalizzata tra le due grandezze. Si e' ritenuto di adottare, per le finalità di questo studio, una legge lineare tra le più note (Gutenberg e Richter), del tipo:

$$M = 2/3 I_0 + 1$$

Inoltre esprimendo la (1) in funzione del numero di terremoti annuo si ha:

$$\log N/A = a - b I$$

Per ogni area sismogenetica poi sono stati estratti dal catalogo generale quegli eventi, particolari relativi alle singole sorgenti. Per ciascuno di questi ultimi e' stata fatta l'analisi di completezza, si e' cioè individuato, per ogni classe di intensità, l'intervallo di tempo a ritroso da oggi per il quale si ritiene che il catalogo riporti tutti gli eventi sismici realmente avvenuti.

Successivamente per ogni sorgente, applicando il metodo dei minimi quadrati, e' stata effettuata la stima dei coefficienti della G.R. conteggiando sul relativo catalogo "completo" gli eventi per classe di intensità.

Passo successivo e' stato quello di valutare la legge di attenuazione dell'intensità macrosismica con la distanza. A tale scopo e' stata adottata la legge di Gupta-Nuttli che ha la forma:

$$I = I_0 + a \log R + b R$$

Per l'applicazione di questa legge si e' operato come segue:

- a- misurazione delle aree di ugual danno sulle mappe delle isosiste dei maggiori e piu' significativi terremoti italiani e calcolo, con il metodo del cerchio equivalente, delle distanze di uguale intensita' attenuata per ogni terremoto;
- b- stima dei coefficienti a e b della legge di Gupta-Nuttli con il metodo di bootstrap.

A questo punto e' stato possibile applicare un modello previsionale (PERK) appositamente rielaborato. A tal fine si e' proceduto dividendo la regione in esame in aree elementari di 10' x 10'. Su ogni cella cosi' delimitata e' stato calcolato, in ragione degli studi fin qui descritti, il valore dell'intensita' macrosismica che ha probabilita' P di non essere superata in un intervallo di tempo T. Per questo studio e' stato fissato un livello di probabilita' P=0.9 e stabiliti 3 periodi di ritorno di un terremoto (T1=25 anni, T2=50 anni e T3=100 anni).

Nella seconda fase si e' lavorato per la gestione automatica dei valori fin qui prodotti e per la loro sovrapposizione ai dati geografici del territorio.

Per questo scopo ci si e' serviti del software IGGS dell'IBM e i valori della griglia con maglia 10' x 10' sono stati interpolati con creazione di curve di uguale pericolosita' sismica. I risultati relativi alla Calabria previsti da questa catena metodologica sono stati espressi da mappe con curve che delimitano aree di uguale probabilita' che l'intensita' macrosismica indicata non venga superata nei prossimi 25, 50 e 100 anni. Le mappe relative sono riportate nelle figure 2,3 e 4.

Il lavoro qui descritto, finalizzato al calcolo della pericolosita' sismica per il territorio italiano con valori discretizzati per maglie di 10'x10', ha permesso di individuare per la Calabria i valori di intensita' macrosismica aspettata con affidabilita' coerente alla catena metodologica messa a punto ed alla griglia scelta per la resa dei risultati.

L'eventuale necessita' di effettuare un'analisi di pericolosita' con maglia piu' piccola, compatibile con studi finalizzati alla caratterizzazione sismica di piccole aree, impone a questa metodologia alcune implementazioni:

- a- la scelta delle aree sorgenti prospicienti l'area in esame dovrà essere' piu' dettagliata e quindi supportata da studi piu' specifici sulla tipologia delle strutture tettoniche;
- b- la legge di attenuazione dovrà tener conto della eventuale dipendenza azimutale delle isosiste e di eventuali effetti locali dovuti alle condizioni del suolo;
- c- il modello previsionale Perk dovrà essere implementato per poter trattare griglie a maglia piu' fitta

BIBLIOGRAFIA

- Algermissen S. T., Perkins D. M. : "A technique for seismic zoning: general considerations and parameters"
NOAA Rep. - may 1973
- Barbano M.S., Cosentino M., Lombardo G., Patane' G. :
"Isosismal maps of Calabria and Sicily earthquakes (Southern Italy) -
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Progetto Finalizzato Geodinamica - Gruppo di Lavoro
"Catalogo dei Terremoti" Pubbl. num. 34
- Cornell C.A. : "Engineering seismic risk analysis"
BSSA Vol. 58 num. 5 1968 pp.1583-1606
- Gutenberg e Richter : "Frequency of earthquake in California"
BSSA Vol. 34 1944
- Gutenberg e Richter : "Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration" BSSA
- Efron B. : "The jackknife, the bootstrap and other resampling plans" CBMS - NSF regional conferences series in applied mathematics SIAM 1982
- Efron B., Diaconis P. : "Computer - intensive method in statistics" Scientific American, may 1983 96-108
- Howell F., Schultz R. : "Attenuation of Modified Mercalli Intensity with Distance from the Epicenter"
BSSA Vol. 65 num.3 1975 pp. 651-665
- Iacurto O. et al. : "On the Completeness Analysis of Historical Catalogues"
Congresso annuale del P.G.F. del CNR
Udine 11-14 maggio 1981
- Magri G., Molin D. : "Sulla raccolta e catalogazione delle notizie di sismica storica"
Congresso annuale del P.G.F. del CNR
Udine 11-14 maggio 1981
- Vanmarcke E. Lai S. : "Attenuation of Intensity with Epicentral Distance in the Philippines"
BSSA Vol. 70 num.4, 1980

TABELLA 1

Legenda delle intensità macrosismiche relative alla Fig.1

| | | |
|---|---------|-----|
|  | 10 - 12 | MCS |
|  | 9 | MCS |
|  | 8 | MCS |
|  | 7 | MCS |
|  | 6 | MCS |
|  | 5 | MCS |

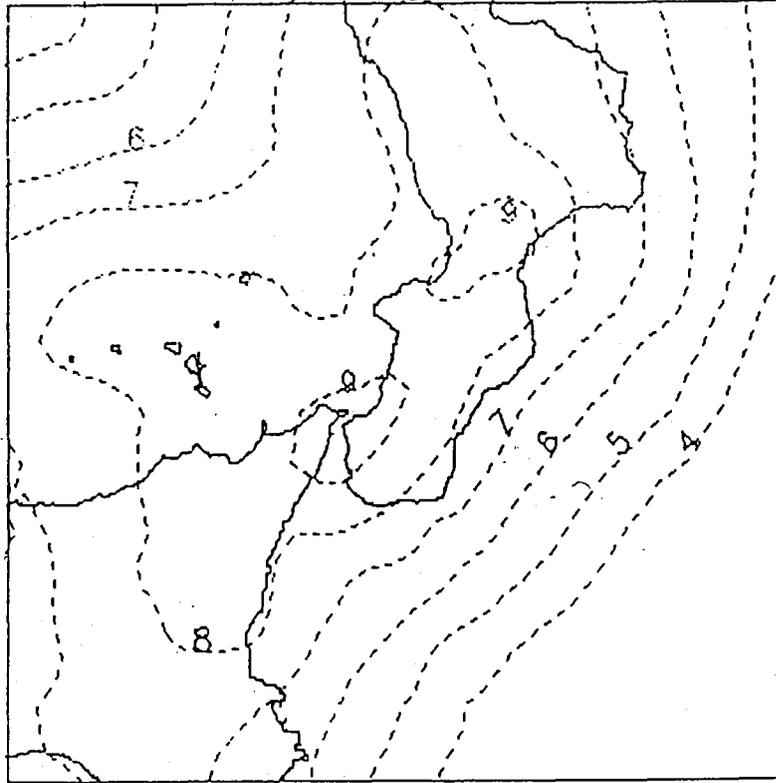


Fig.2: Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 25 anni.

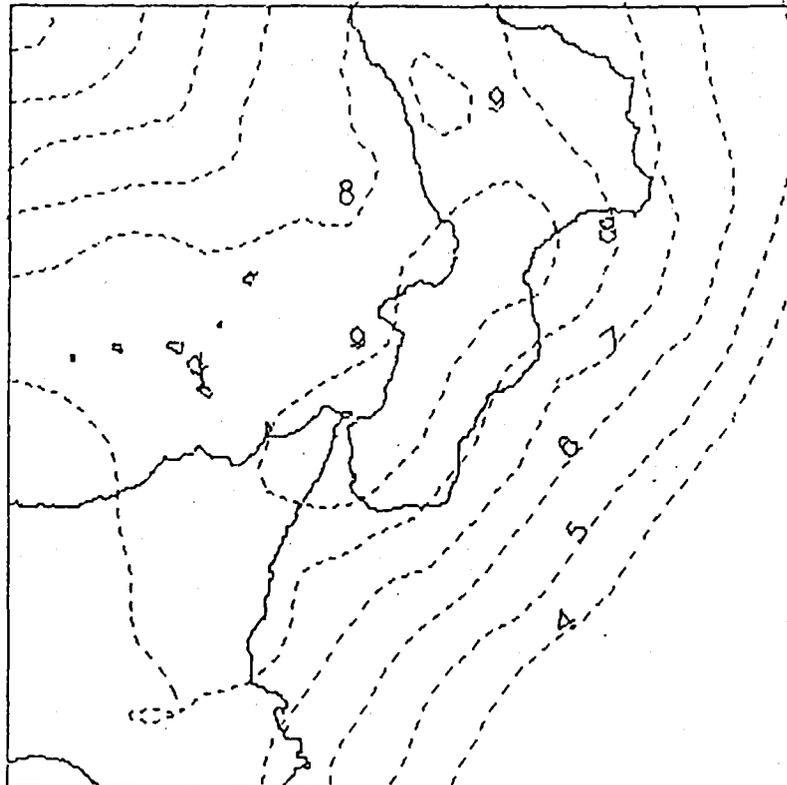


Fig.3: Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 50 anni.

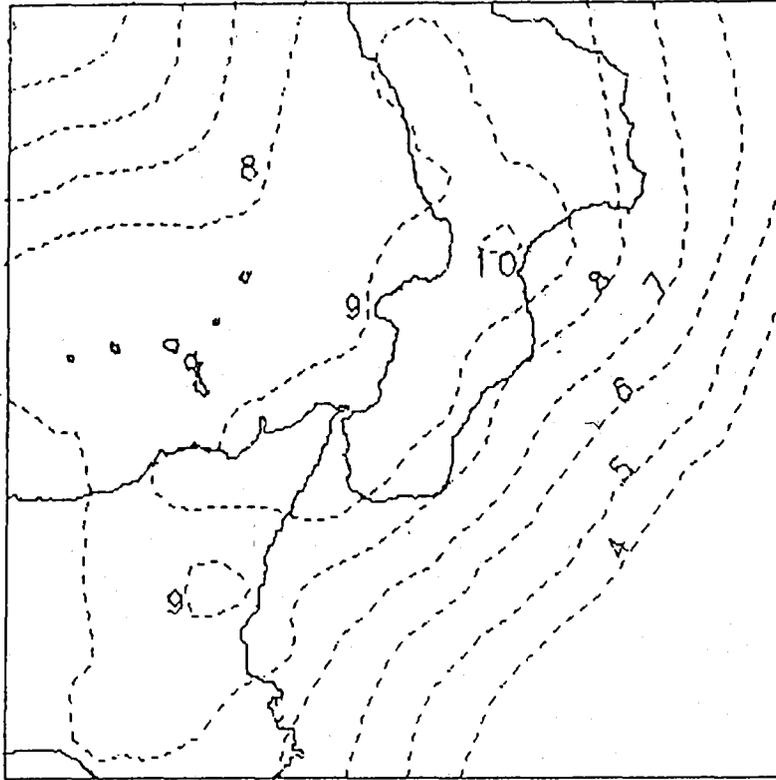


Fig. 4 :Curve di pericolosità sismica con probabilità del 90% che l'intensità macrosismica non venga superata in 100 anni.

ALLEGATO 2 -

ANALISI PRELIMINARI DEL CATALOGO SISMICO UTILIZZATO PER
LO STUDIO DEL SITO DI GIOIA TAURO

Antonella Paciello

Si e' presa in esame l'area geografica delimitata dai paralleli 37 00' - 39 40' e dai meridiani 14 00' - 18 00', in modo da tener conto della sismicita' almeno fino ad una distanza di 150 chilometri dal sito di Gioia Tauro.

I dati utilizzati sono stati estratti dal catalogo del Progetto Finalizzato Geodinamica e sono relativi al periodo 1000 - 1980. Essi riguardano 7719 eventi per i quali sono riportati: il tempo di comparsa, le coordinate epicentrali, l'intensita' macrosismica misurata in gradi della scala MCS (Mercalli Cancani Siberg) ed' altre eventuali informazioni (magnitudo, profondita', ecc.); le mappe I e II mostrano rispettivamente la distribuzione geografica delle intensita' degli eventi e il numero di ricorrenze sismiche per ciascun epicentro.

Nel catalogo sono riportate 7 classi di attendibilita' per le coordinate dell'epicentro: le classi 1 e 2 sono relative solo ad eventi "moderni" il cui epicentro e' stato determinato tramite registrazioni strumentali; le classi 3-5 comprendono sia dati strumentali che dati macrosismici con incertezza variabile tra 5 e 50 chilometri; le classi 6 e 7 sono relative ad eventi con localizzazione molto incerta per cui le coordinate in catalogo sono da considerare solo indicative dell'area di risentimento; vi sono inoltre 344 eventi per i quali non e' riportata alcuna attendibilita'.

TABELLA 1 : accuratezza delle coordinate epicentrali per le classi di attendibilita' 1 - 5.

| classe | minore di km |
|--------|--------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 10 |
| 4 | 25 |
| 5 | 50 |

La tabella 1 mostra le incertezze sulle coordinate epicentrali per le classi con attendibilita' 1-5 e le mappe III - VIII presentano la distribuzione nello spazio e nel tempo degli eventi in funzione della classe di attendibilita'.

Nella classe 4 (incertezza minore di 25 chilometri) e' raccolto piu' del 60% degli eventi e nella classe 3 (incertezza minore di 10 chilometri) circa il 30%, quasi tutti osservati dopo il 1800. Solo 27 scosse appartengono alle classi 6 o 7, ma tra di esse 4 hanno intensita' elevata (2 decimi gradi, 1 nono grado, 1 ottavo grado, tutti successivi al 1600). Questi dati, pur non essendo da trascurare, non devono essere utilizzati per analisi di tipo spaziale.

La completezza del catalogo e' stata valutata col contributo di diversi metodi:

- metodo di Stepp, modificato da Iacurto et al.: esso permette di determinare, per ciascun intervallo di intensita', la soglia di totale incompletezza, vale a dire l'anno prima del quale il catalogo e' cosi' pesantemente incompleto da non essere utilizzabile per analisi statistiche. Il grafico di Stepp e' riportato in fig. 1 per gli intervalli di intensita' definiti da $I < IV$, $IV < I < VI$, $VI < I < VIII$, $I > VIII$

- esame delle frequenze annue di eventi per ogni classe di intensita' in funzione di intervalli di tempo crescenti, contati a partire dall'anno finale del catalogo (fig. 2). Questa analisi e' simile alla precedente, ma visualizza meglio il comportamento delle singole classi di intensita' ed in questo caso evidenzia un rapido aumento nelle frequenze osservate per le intensita' minori e uguali al VII grado nell'intervallo 1880-1930

- esame della distribuzione temporale degli eventi: la fig. 3 mostra gli istogrammi per gli intervalli di intensita' gia' definiti e per intervalli di tempo di 50 anni; la fig. 4 rappresenta le intensita' degli eventi riportate su un asse dei tempi e la fig. 5 e' simile alla precedente, ma evidenzia la comparsa delle intensita' maggiori e uguali ad VIII.

Complessivamente esse confermano la pesante incompletezza del catalogo finì al 1600 (solo 27 eventi sono riportati prima di questa data) e contribuiscono a definire i seguenti intervalli di completezza:

| | | |
|---|--------------------|-------------|
| 1 | $III \leq I < VI$ | 1830 - 1980 |
| 2 | $VI \leq I < VIII$ | 1780 - 1980 |
| 3 | $I > VIII$ | 1600 - 1980 |

Le mappe IX - XI mostrano la distribuzione geografica degli eventi del catalogo selezionati in base agli intervalli di completezza e la fig. 6 mostra l'andamento della sismicita' nel tempo in funzione

della latitudine e della longitudine: questo grafico permette di evidenziare eventuali "migrazioni" di sismicità, che possono essere effettive o dovute a variazioni della densità di popolazione e degli altri fattori determinanti nella capacità di una data area di avvertire un sisma.

In questo caso sono riportati gli eventi successivi al 1600 con intensità maggiore e uguale al VI grado: non si notano effetti di migrazione, si nota invece un "gap" di sismicità a Nord del parallelo 39 00' fino al 1750 circa, seguito da un evento di intensità uguale o superiore all' VIII grado.

CONCLUSIONI

Da uno studio preliminare del catalogo sismico dell'area in esame risulta che:

- 27 eventi hanno localizzazione epicentrale molto incerta e non sono quindi da utilizzare per analisi di tipo spaziale;
- il catalogo può essere usato per analisi statistiche negli intervalli

| INTENSITA' | ANNI |
|---------------|-------------|
| III < I < VI | 1830 - 1980 |
| VI < I < VIII | 1780 - 1980 |
| I > VIII | 1600 - 1980 |

- non si evidenziano nell'area migrazioni di sismicità.

BIBLIOGRAFIA

- Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980
Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR). Bologna 1985
- O. Iacurto et al. "On the completeness analysis of the
historical catalogues "
Congresso Annuale di Geodinamica. Udine 1981.
- D. Veneziano and J. Van Dyck "Seismic hazard analysis for the
Friuli region, part I: magnitude conversion and
earthquake clustering"
Consulting Report. ENEA 1985

LEGENDA DELLE MAPPE

(N.B. La scala e' mostrata in alto a destra)

mappa I : distribuzione geografica delle intensita' degli eventi
sismici nell'area in esame.

mappa II : numero di ricorrenze sismiche osservate in ciascun
epicentro.

mappa III : distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi appartenenti alle classi 1-2 di
attendibilita' epicentrale (minore di 5 km)

mappa IV : distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi appartenenti alla classe 3 di
attendibilita' epicentrale (minore do 10 km)

mappa V : distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi appartenenti alle classi 4 di
attendibilita' epicentrale (minore di 25 km)

mappa VI : distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi appartenenti alle classi 5 di
attendibilita' epicentrale (minore di 50 km)

mappa VII : distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi appartenenti alle classi 6-7 di
attendibilita' epicentrale incerta

mappa VIII: distribuzione spaziale e temporale (riquadro in alto
a sin.) degli eventi non appartenenti ad alcuna
classe

- mappa IX : distribuzione geografica degli eventi nell'intervallo di completezza 1
- mappa X : distribuzione geografica degli eventi nell'intervallo di completezza 2
- mappa XI : distribuzione geografica degli eventi nell'intervallo di completezza 3

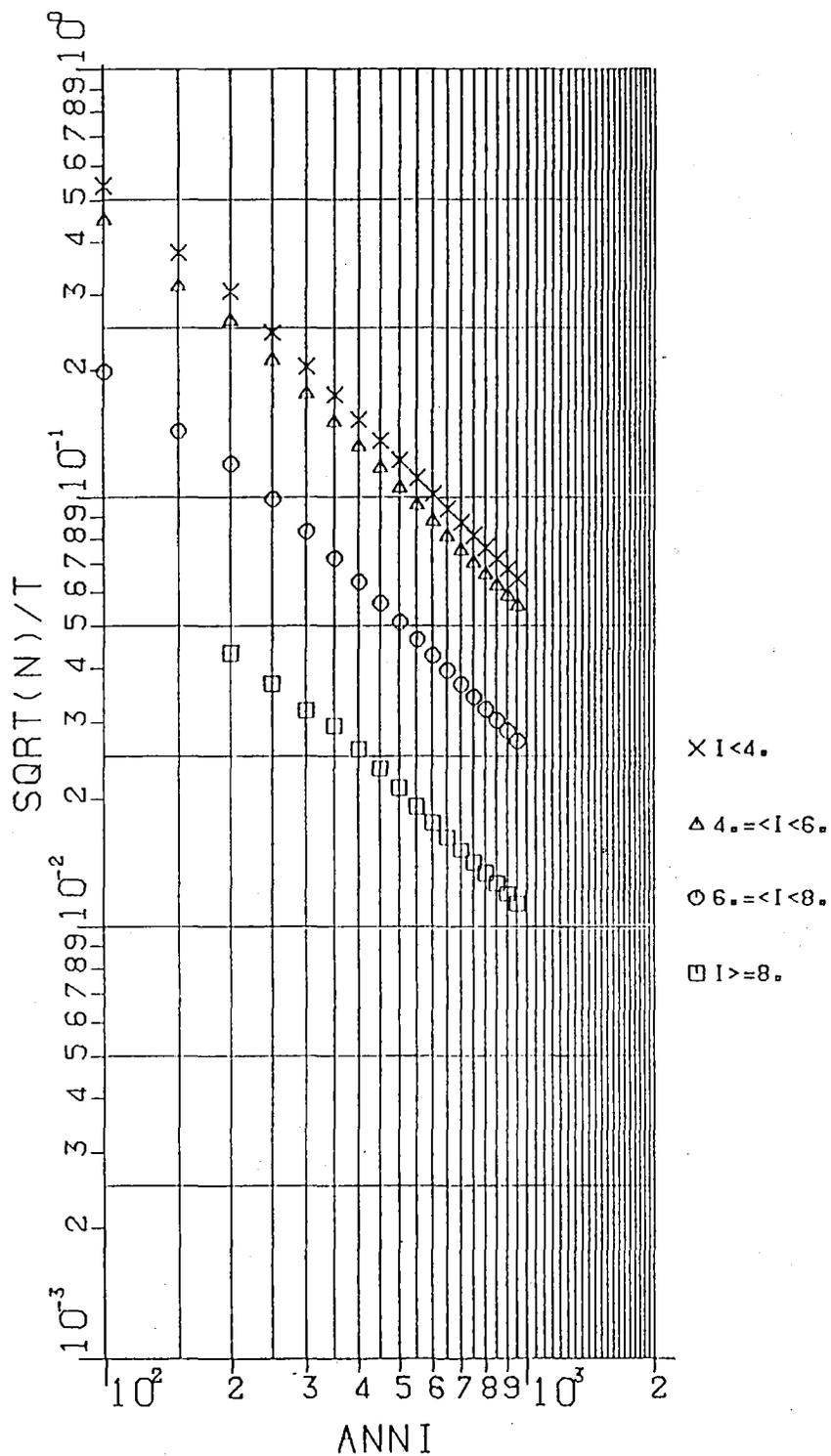


Fig. 1. Grafico di Stepp per la Calabria e Sicilia Orientale.

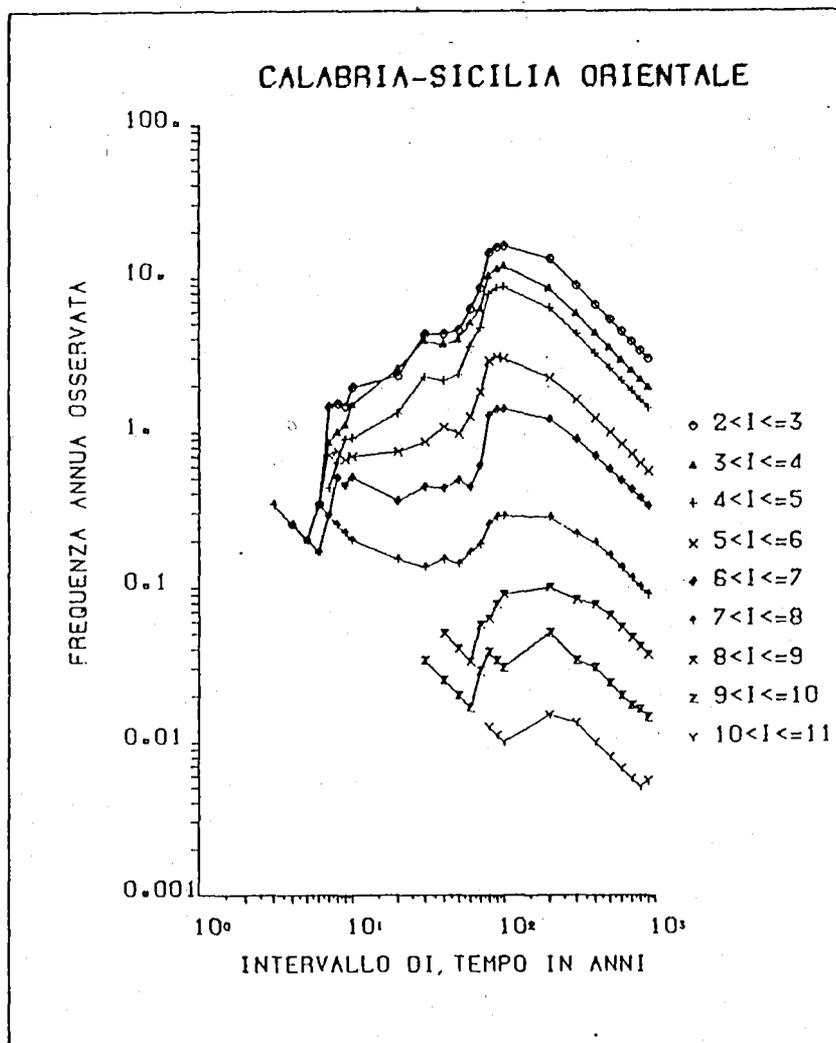


Fig. 2. Frequenze annue degli eventi osservati in ciascuna classe di intensità.

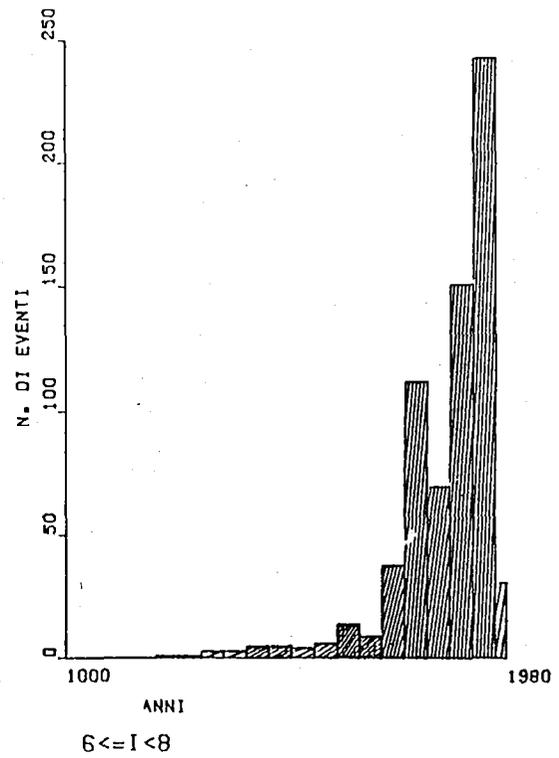
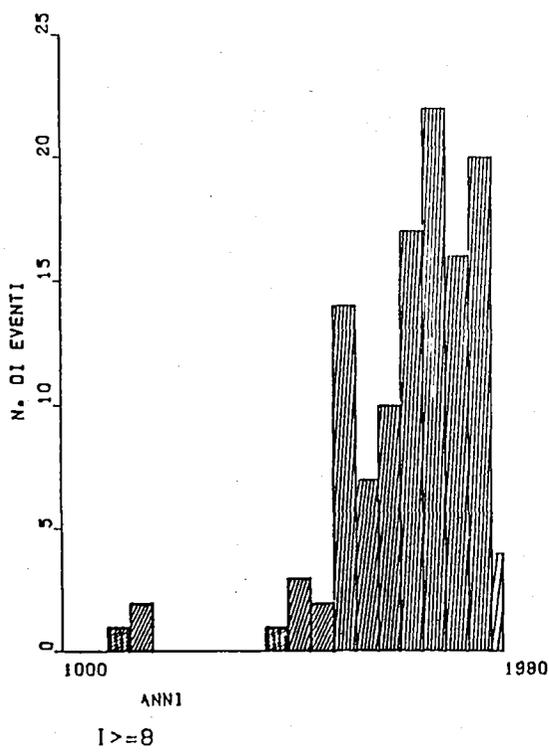
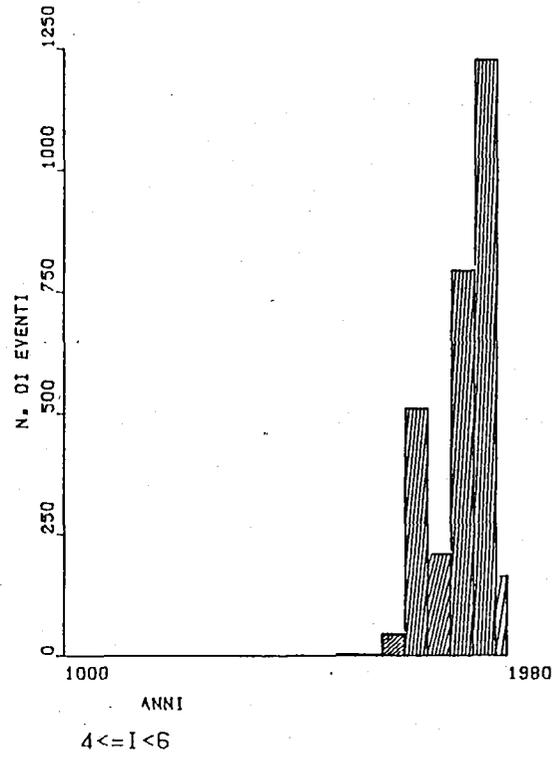
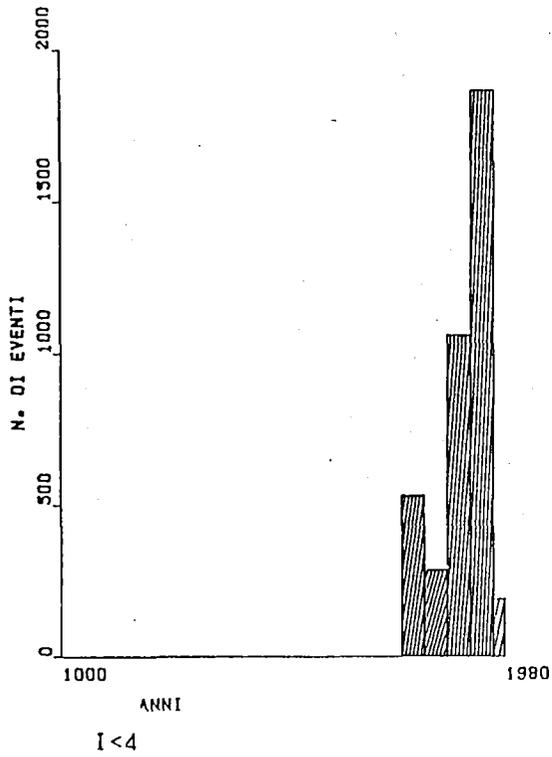


Fig. 3. Istogrammi del numero di eventi osservati per classi di intensità e per intervalli di 50 anni.

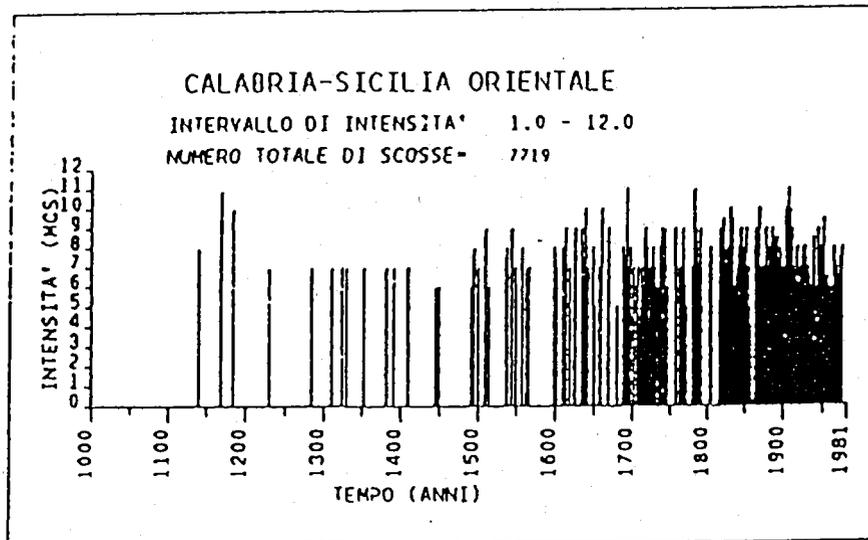


Fig. 4. Andamento dell'intensità degli eventi nel tempo.

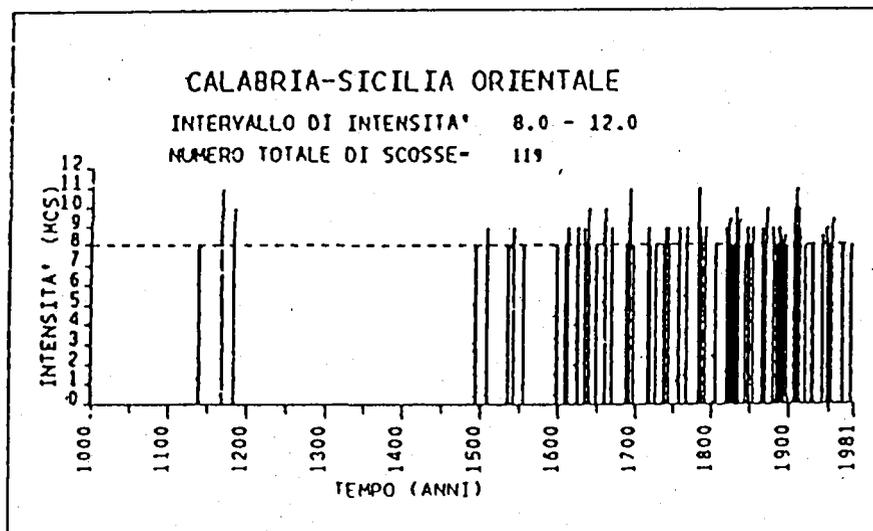


Fig. 5. Andamento delle intensità maggiori e uguali allo VIII grado nel tempo.

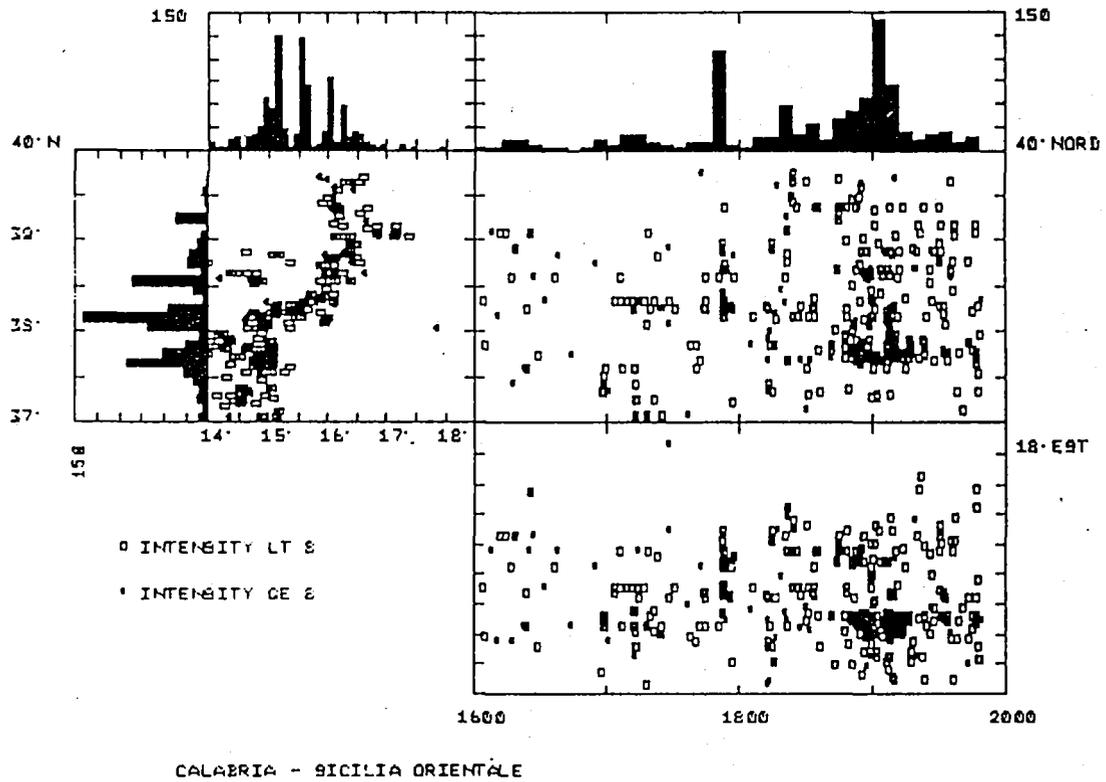
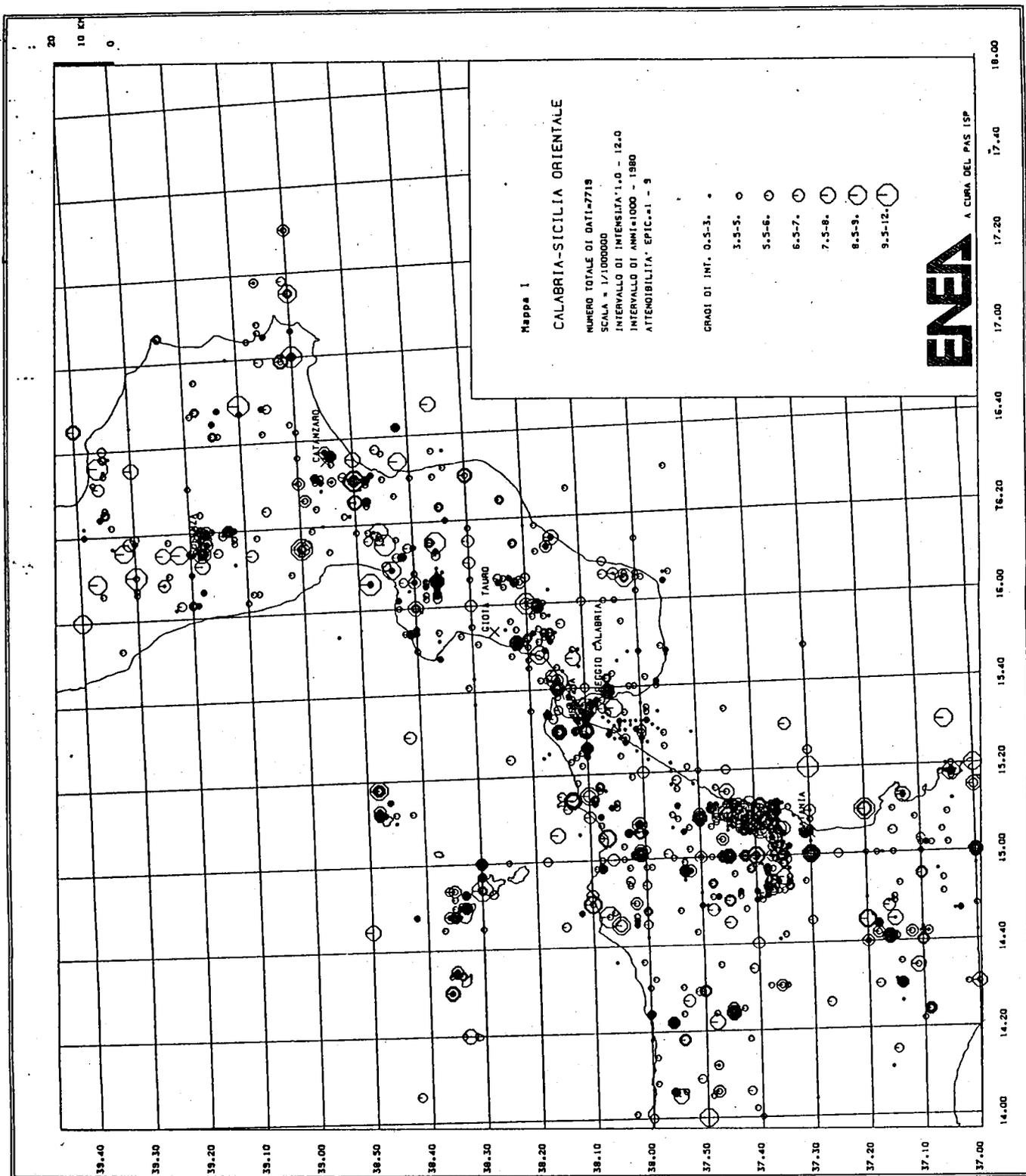
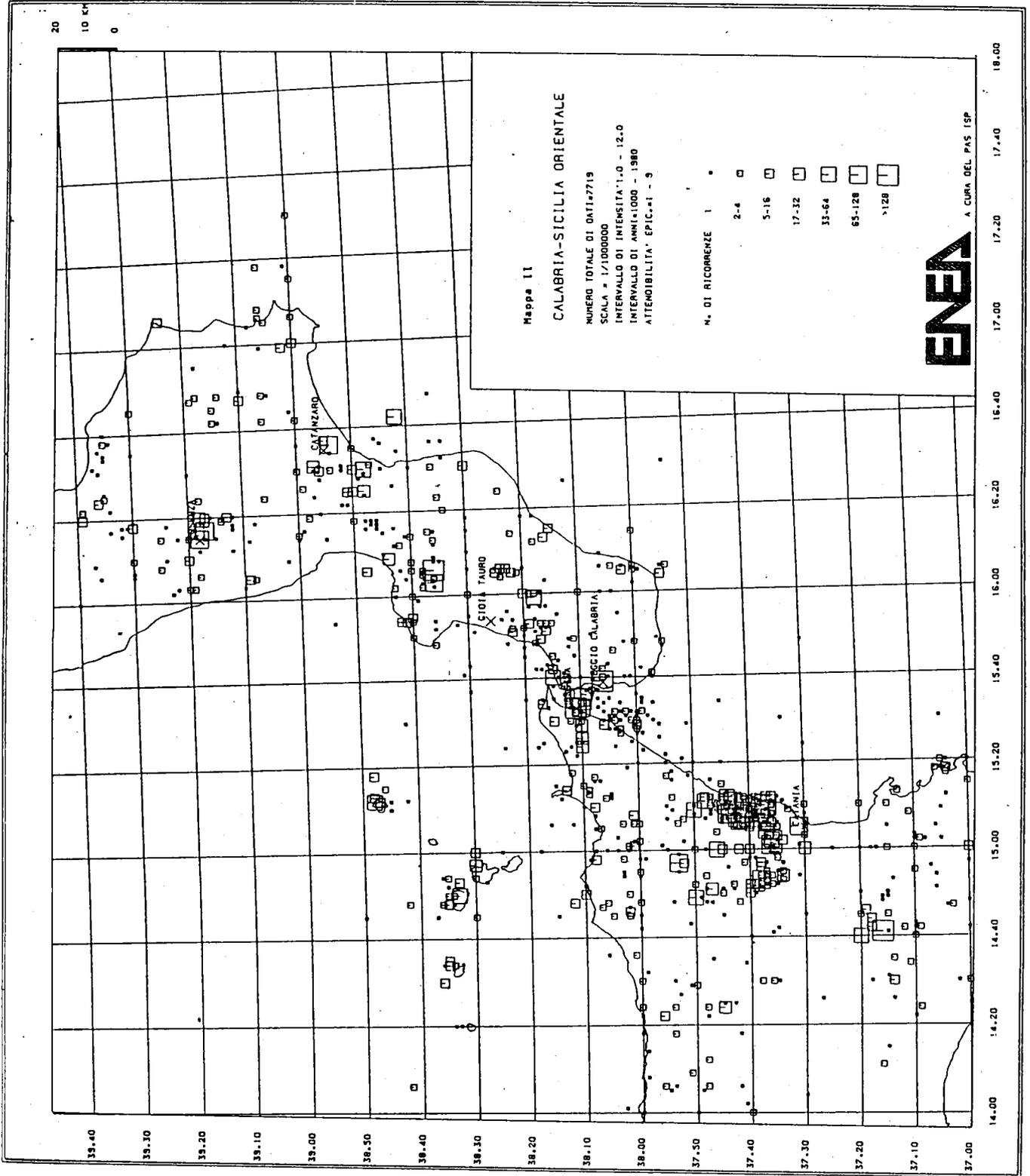
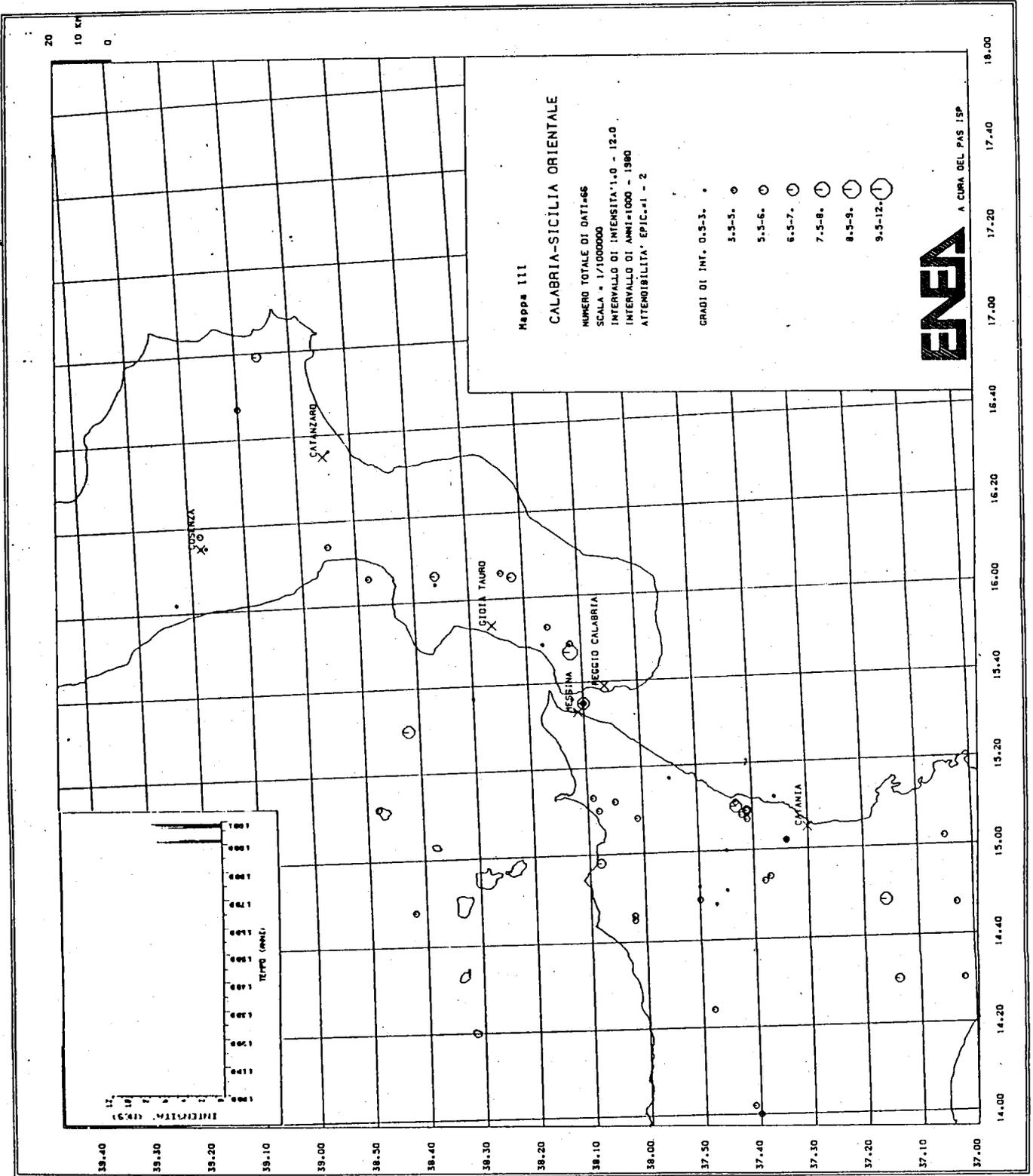
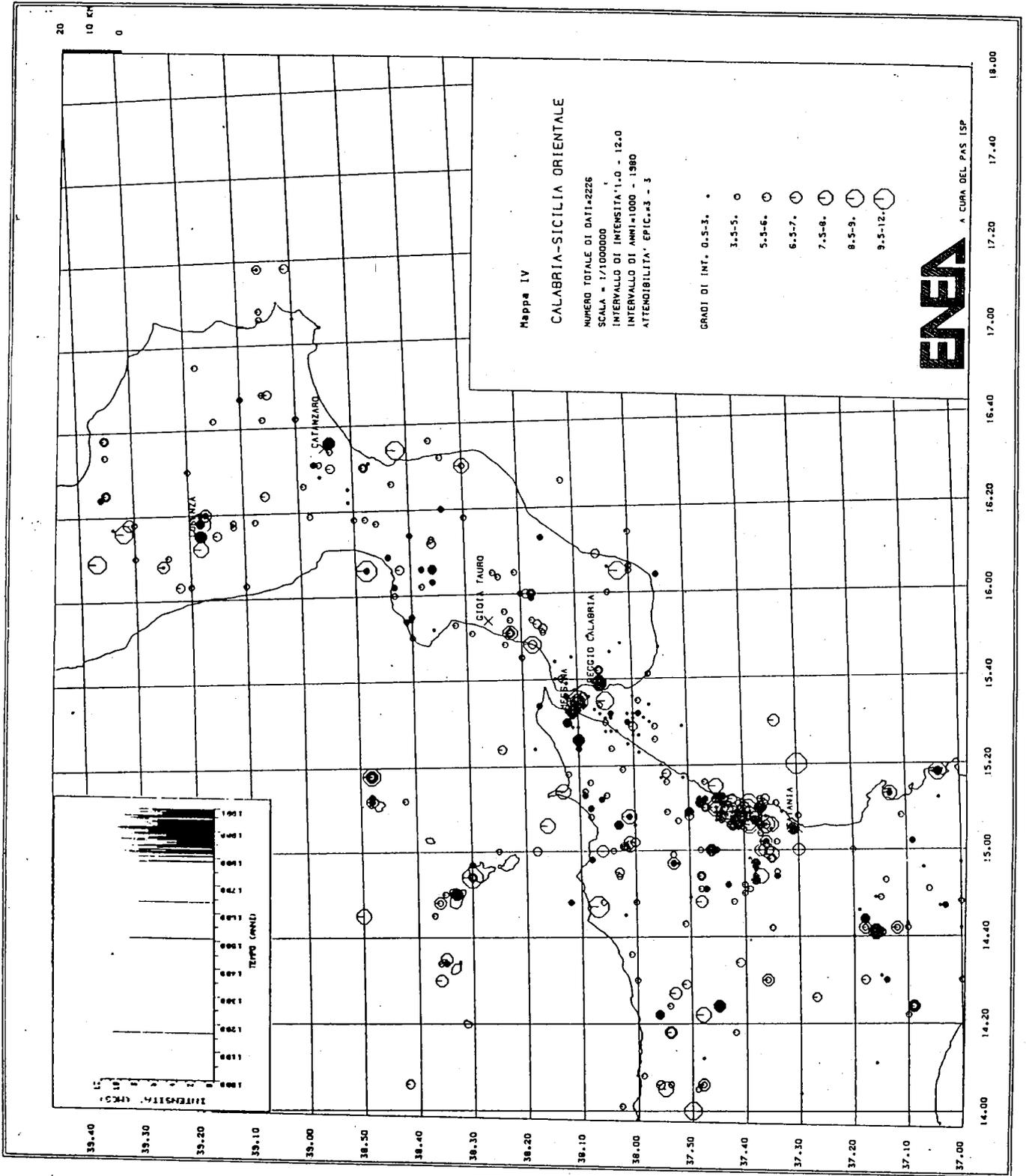


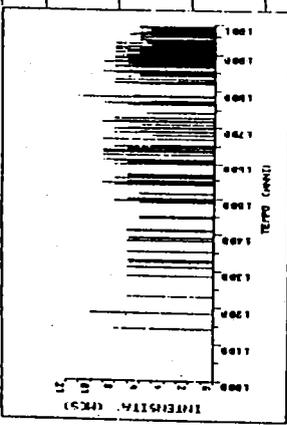
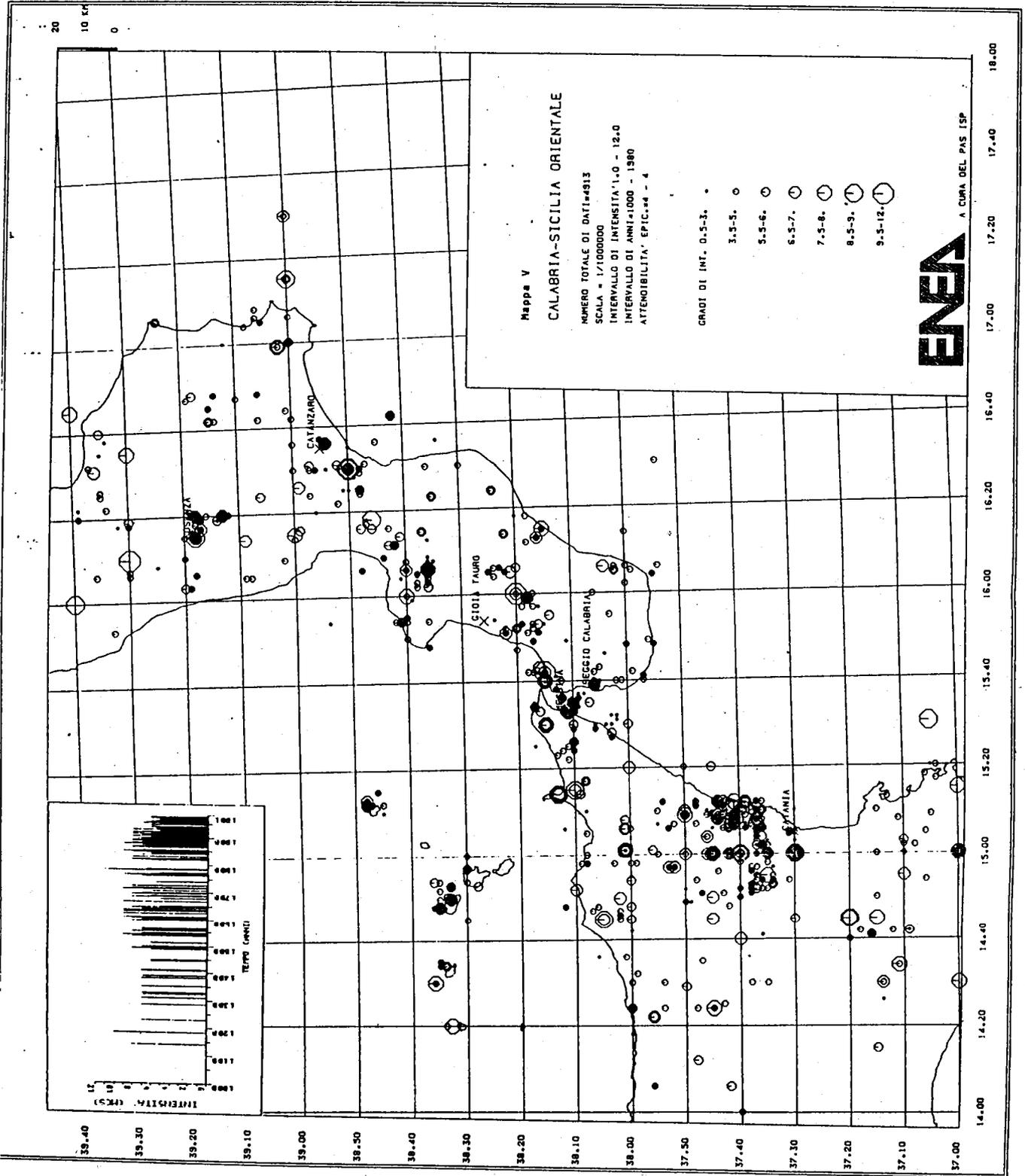
Fig. 6. Andamento della sismicità in funzione della latitudine, della longitudine e del tempo per intensità maggiore e uguale al VI grado.

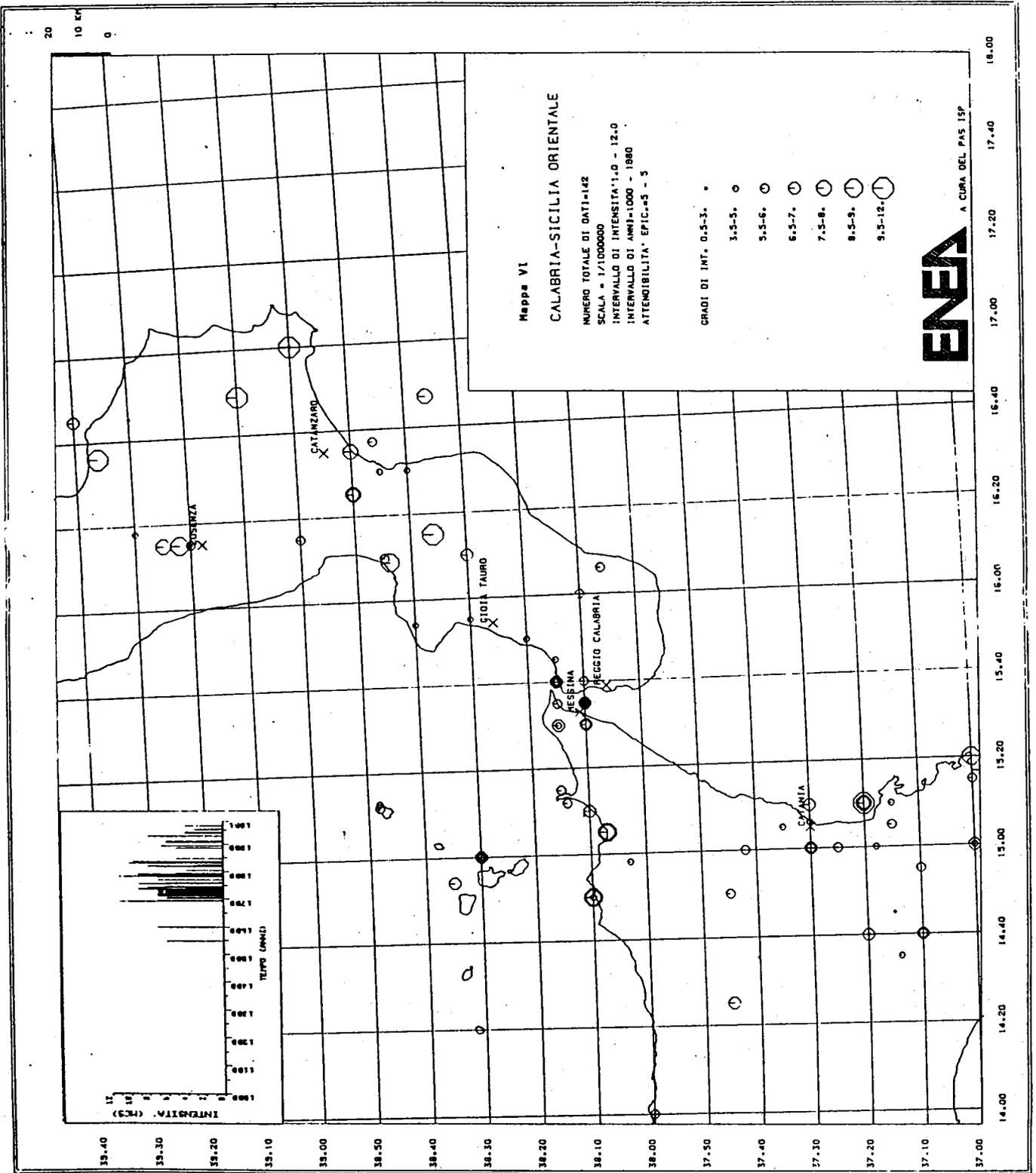


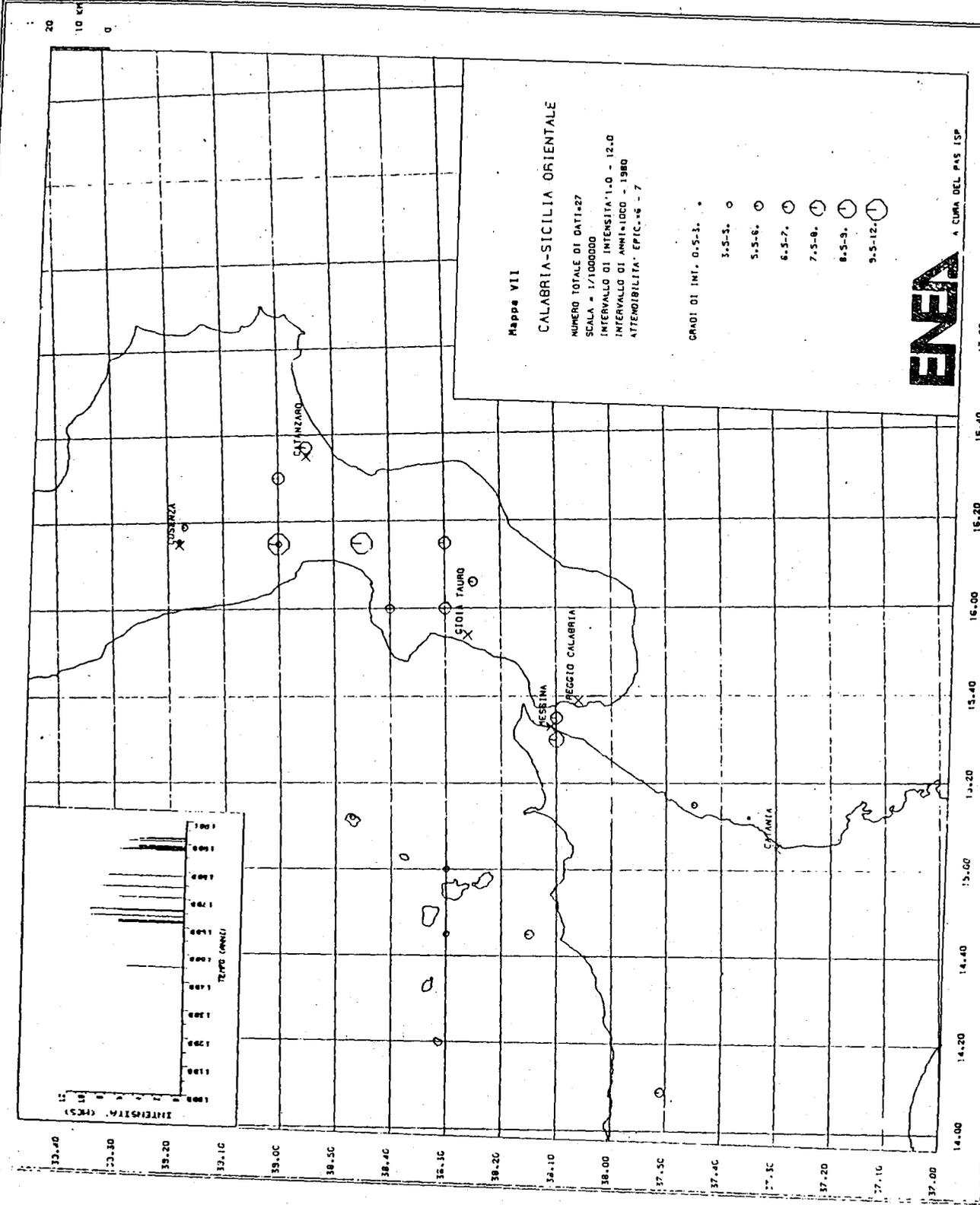












20
10 km

33.40

33.30

33.20

33.10

33.00

32.50

32.40

32.30

32.20

32.10

32.00

31.50

31.40

31.30

31.20

31.10

31.00

30.50

30.40

30.30

18.00

17.40

17.00

16.40

16.20

16.00

15.40

15.20

15.00

14.40

14.20

14.00

14.00

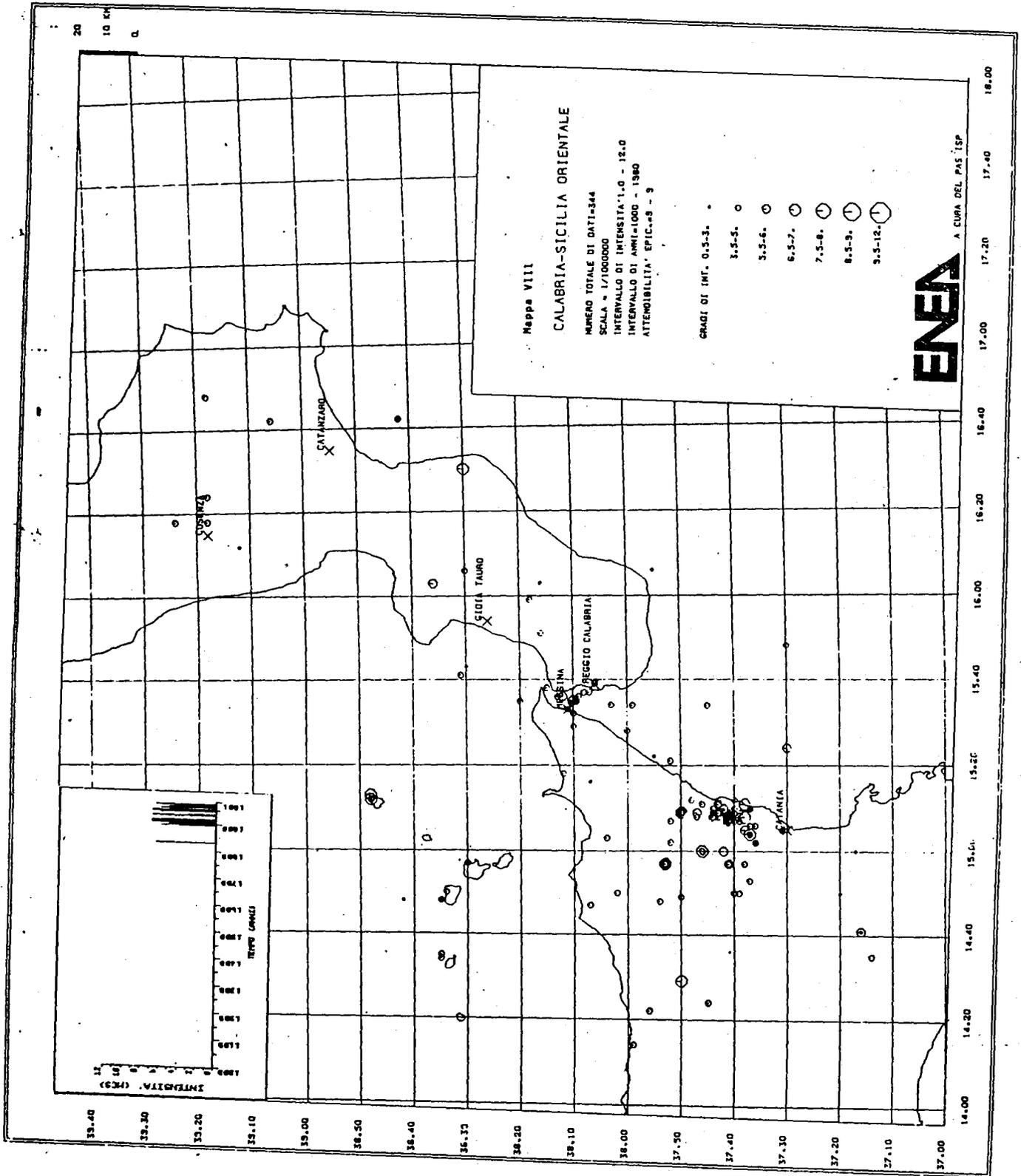
14.00

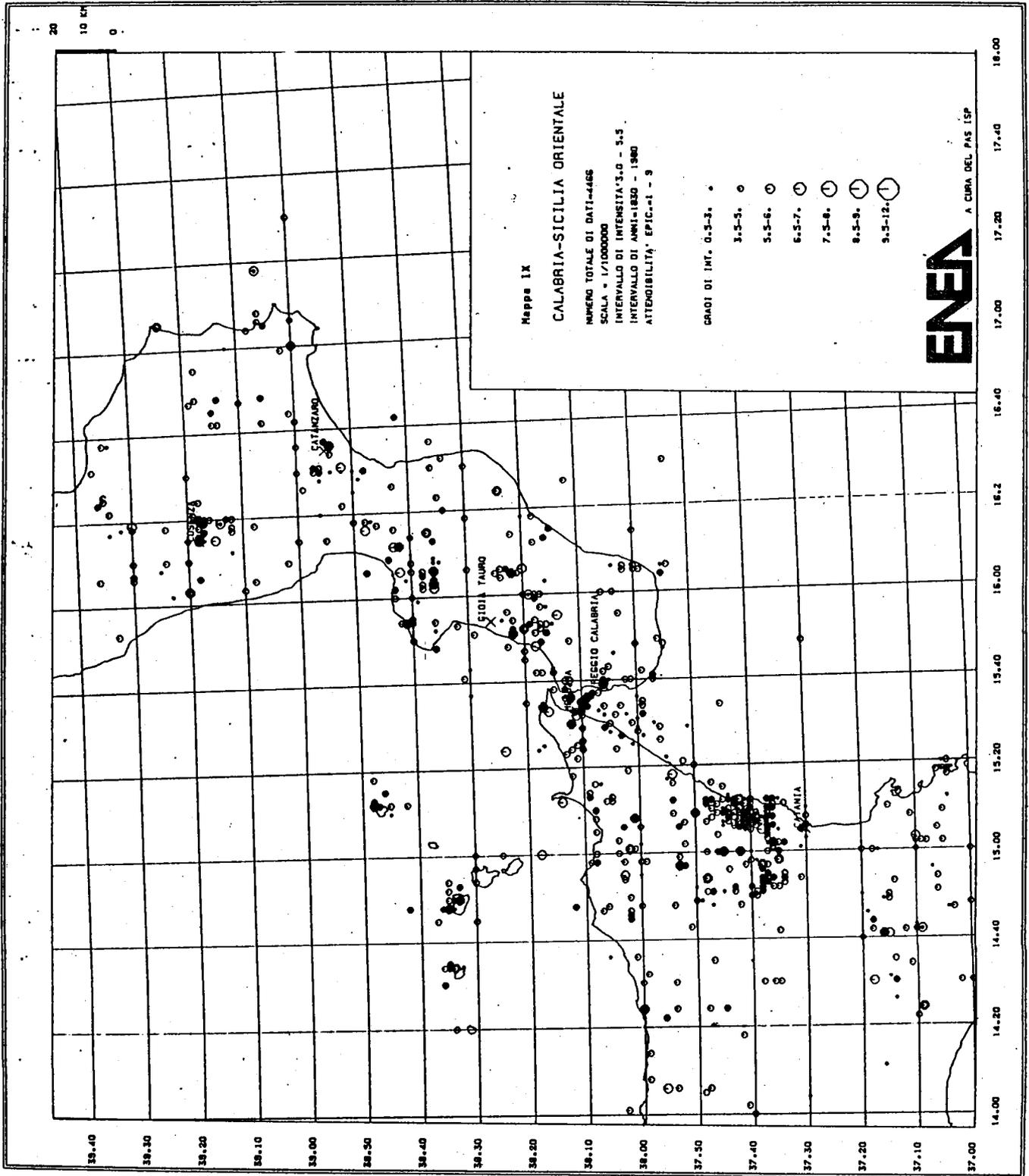
14.00

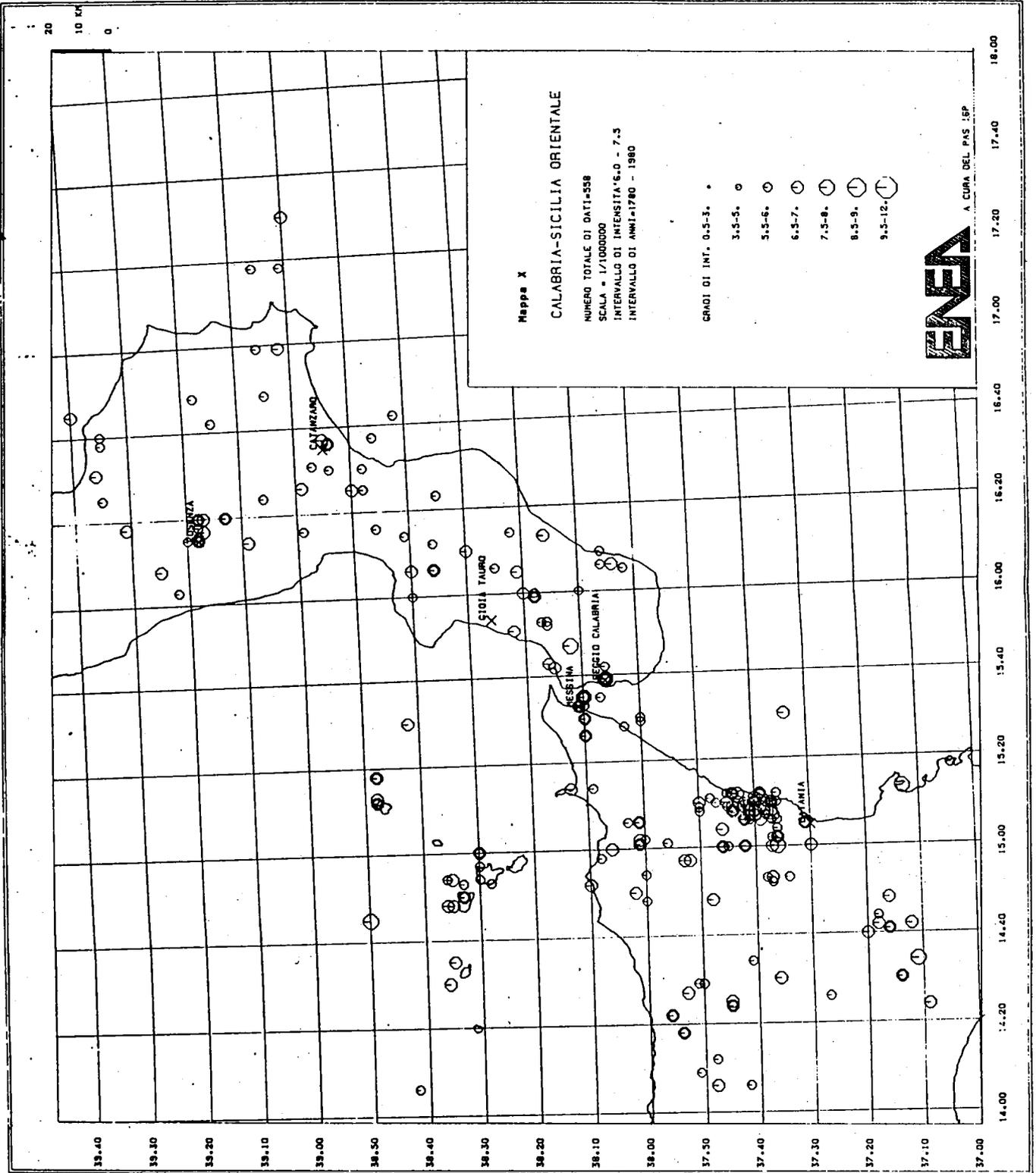
14.00

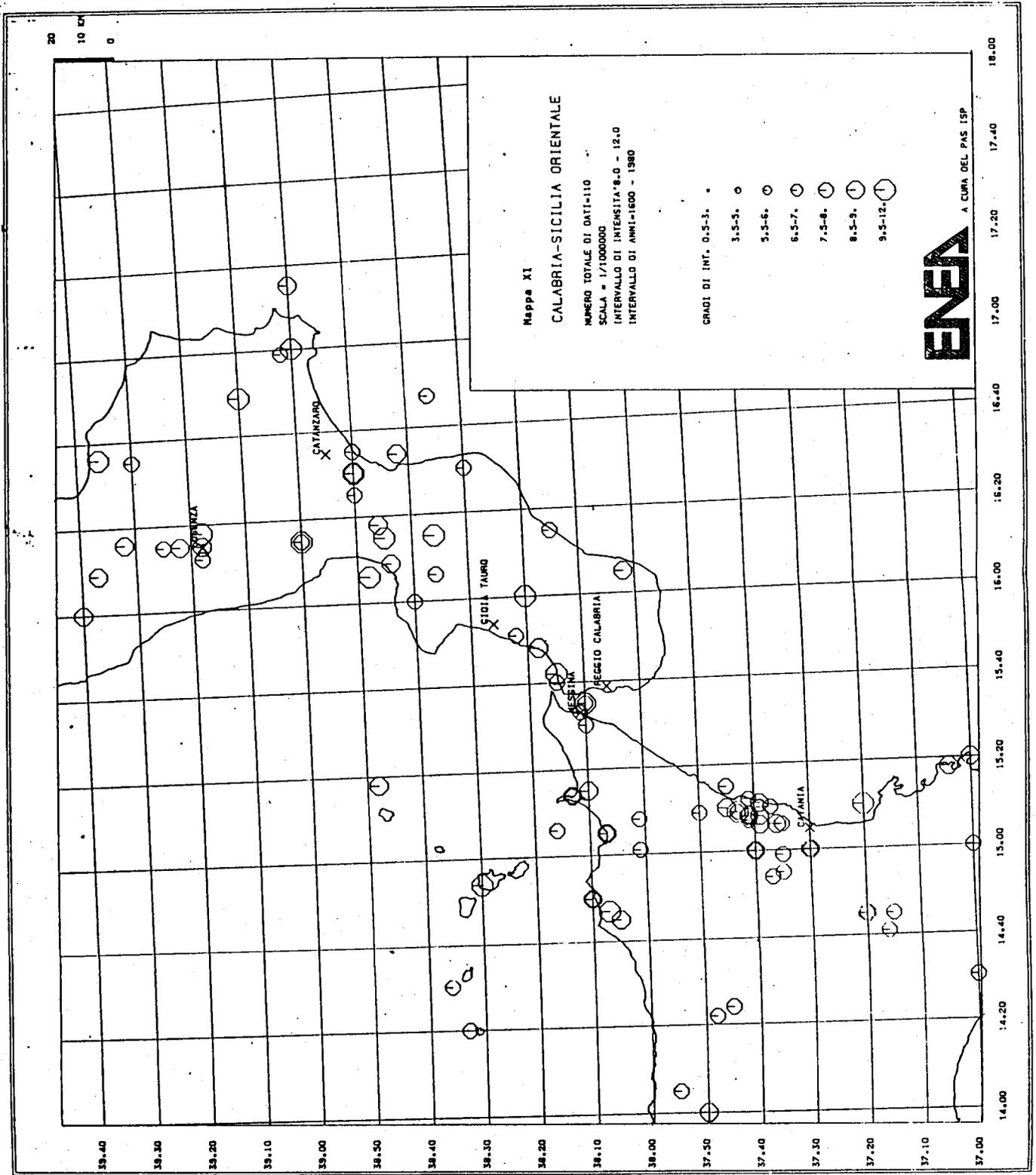
14.00

14.00









ALLEGATO 3 -

STIMA DELLA PROBABILITA' DI RISENTIMENTO DI UNA ASSEGNATA
INTENSITA' AL SITO DI GIOIA TAURO

Fabio Musmeci

1 INTRODUZIONE

Relativamente agli studi preliminari inerenti alla installazione della rete strumentale nell'area di Gioia Tauro, assume una importanza di primo piano la caratterizzazione sismica del sito, al fine di ottenere gli elementi conoscitivi necessari per la progettazione e l'installazione di detta rete.

Tale studio e' stato eseguito elaborando con metodi probabilistici i dati sismici storici dell'area considerata e utilizzando relazioni empiriche per l'attenuazione delle intensita' al sito. Sulla base di tali relazioni, viene ricostruito un catalogo di intensita' macrosismiche risentite al sito. La relazione di attenuazione utilizzata e' quella proposta da Grandori (1979) definita come "attenuazione media"

$$I_s = I_e - 1.77 \text{ Log}(r) + 4.12 \quad (1)$$

Dove

 I_s = intensita' risentita al sito di Gioia Tauro I_e = intensita' epicentrale r = distanza epicentro-sito

La relazione (1) e' valida per distanze superiori ai 10 Km, per distanze inferiori viene assegnata una intensita' al sito uguale a quella epicentrale.

Le analisi statistiche eseguite sul catalogo regionale adottato mostrano che questo puo' ritenersi completo relativamente alle seguenti soglie temporali e d'intensita' macrosismica:

| Intervallo di completezza | soglia d'intensita' |
|---------------------------|---------------------|
| 1600-1980 | VIII |
| 1780-1980 | VI |
| 1830-1980 | III |

E' da precisare come le suddette soglie d'intensita' indicano il livello minimo al di sopra del quale il catalogo puo' essere considerato completo.

2 STATISTICA DEI VALORI ESTREMI

Le assunzioni base di tale teoria sono:

1. le intensita' epicentrali dei terremoti sono realizzazioni indipendenti di una variabile aleatoria. Ossia la probabilita' di comparsa delle scosse nelle intensita' non e' influenzata ne' dalla storia sismica precedente, ne' influenza quella successiva;
2. la distribuzione F di tale variabile aleatoria (probabilita' di comparsa di un terremoto con assegnata intensita') e' costante in tutto il periodo di osservazione.

Conseguenze importanti della teoria dei valori estremi sono:

- a) indipendentemente dalla distribuzione F, la distribuzione G delle massime intensita' negli intervalli t , puo' essere solo di tre tipi:
 - illimitata a destra e a sinistra (Gumbel del tipo I)
 - limitata inferiormente (Gumbel tipo II)
 - limitata superiormente (Gumbel tipo III)

- b) Nel caso in cui le realizzazioni della variabile non siano indipendenti (cioe' la F varia da terremoto a terremoto), la teoria dei valori estremi assicura ugualmente convergenza della distribuzione G a una delle distribuzioni di cui al precedente punto 3), per intervalli t sufficientemente ampi.

Abbiamo visto come gli intervalli di completezza anzi considerati, si riferiscono esclusivamente al catalogo epicentrale adottato. Tuttavia tenuto conto che la legge di attenuazione utilizzata ha il solo effetto di ridurre le intensita' epicentrali al sito, vengono assunti gli stessi intervalli di completezza per il catalogo di sito.

Sulla base di quanto esposto sulla statistica dei valori estremi, ci si propone di stimare, per un fissato intervallo t, la probabilita' che i massimi terremoti in tale intervallo non eccedano una data intensita'.

A tale fine dividiamo l'intero periodo di osservazione T in un dato numero di intervalli t. Nel caso in esame, considerando per esempio t=10 anni, e a partire dal 1780, si sono risentite a Gioia Tauro le massime intensita' riportate in tabella 1. Per stimare la probabilita' di eccedenza P di ciascun massimo, i dati riportati nella tabella 1 vengono ordinati in modo crescente come in tabella 2. La frequenza osservata di non eccedenza dell'ottavo grado e' pari a 18/20, dove 18 e' il numero d'ordine "m" dell'intensita' e 20 corrisponde al numero "n" di intervalli t considerati. Se venisse usato lo stimatore m/n per assegnare la probabilita' di non eccedenza si avrebbe che la probabilita' di non eccedenza dell'intensita' piu' elevata (10.4) sarebbe 1. Questo inconveniente viene superato assumendo la seguente relazione di Gumbel (1958) per stimare la probabilita' di non eccedenza

$$P(I) = m/(n+1) \quad (2)$$

Con riferimento alla tabella 2, per i decenni caratterizzati dallo stesso valore dell'intensita' massima, il calcolo di P(I) tramite la (2), viene eseguito sostituendo al numero "m" il numero m' fornito dalla seguente relazione:

$$m' = \text{sqrt}(m_1 m_2)$$

dove m1 e m2 sono i numeri d'ordine delle intensita' considerate.

Nel nostro caso, con riferimento alla tabella 2, i decenni n.10 e 14 sono caratterizzati entrambi da intensita' 5.9 e valori di m_1 e m_2 pari a 12 e 13, la probabilita' $P(5.9)$ e' data :

$$P(5.9) = m'/(n+1) = 0.5947$$

Se, con l'ausilio della (2), valutiamo tutti i valori di probabilita' $P(I)$ relativamente alle intensita' massime osservate di tabella 2 otteniamo che a ciascuna intensita' viene associata una probabilita' di non eccedenza. Se riportiamo sulle ordinate di un grafico i valori delle intensita' massime e in ascisse le corrispondenti $P(I)$, otteniamo un insieme di punti che approssimano la distribuzione cumulata dei massimi. Assumendo che tale cumulata segue la Gumbel del tipo I, a tale distribuzione viene associata la seguente legge:

$$I = -\text{Log} (-\text{Log} (P(I))) \quad (3)$$

Per questo motivo, sulle ascisse dei grafici che seguono, vengono riportati i valori delle $P(I)$ in scala non lineare e i valori della funzione (3) in scala lineare. La variabile $y = -\log(-\log(P(I)))$ viene chiamata variabile ridotta.

Con questa convenzione la Gumbel del tipo I e' esprimibile con una retta del tipo

$$I = a + b y$$

I parametri a e b che caratterizzano la distribuzione sono stimati interpolando i punti con il metodo dei minimi quadrati. Nota la probabilita' $P(I)$ di non eccedenza di un dato evento la probabilita' di eccedenza sara' $1-P(I)$.

2.1 Statistica Dei Valori Estremi: Il Caso Macrosismico

Nel caso i massimi che si stanno analizzando siano delle intensita' macrosismiche tratte da un catalogo storico, sono

preliminarmente da affrontare alcune problematiche particolari:

1. COMPLETEZZA: a seconda del periodo che si considera, non tutti i terremoti ad intensita' Mercalli meno elevata sono riportati nel catalogo. Di conseguenza alcuni intervalli t possono essere "vuoti", ossia nel catalogo non ci sono riportati terremoti a causa dell'incompletezza;
2. SCUOTIBILITA': poiche' solo a rilevanti moti del terreno e' associata un'intensita' Mercalli alcuni intervalli t possono risultare "vuoti" in quanto gli eventi avvenuti non erano di intensita' apprezzabile;
3. INDIPENDENZA DEI MASSIMI: a causa dello stile sismogenetico della regione, del periodo t e delle intensita' considerate, i massimi eventi non saranno tra loro indipendenti.

Relativamente alle tre soglie d'intensita' assunte, vengono considerati come periodi t "sotto soglia" quei periodi di intensita' massima inferiore a tale livello. In questa ultima categoria vengono assegnati anche i periodi vuoti indipendentemente dalla causa della mancata registrazione. Cosicche' nelle analisi che seguono vengono presi in esame soltanto i dati sopra soglia in quanto maggiormente significativi. Quindi se grafichiamo i dati relativi a tre diversi periodi di completezza e assumiamo $t = 10$ anni si ottengono tre diagrammi che evidenziano la relazione tra I e la corrispondente $P(I)$.

L'affidabilita' dei dati riportati in ciascuno di essi, a parita' di altre condizioni e' proporzionale al numero di intervalli utilizzati.

Cosicche', per esempio, le probabilita' per $I=8$ e' piu' attendibile in figura 1 dove e' stimata con 38 intervalli che in figura 2 e 3 dove e' stimata rispettivamente con 20 e 15 intervalli. Analogamente i valori di probabilita' di figura 2 sono piu' attendibili di quelli riportati in figura 3.

Se riportiamo in un unico grafico i punti con $I=8$ di figura 1, i punti $6 < I < 8$ di figura 2 e quelli $3 < I < 6$ otteniamo il grafico di figura 4 che riunisce il meglio dell'informazione disponibile e sulla cui distribuzione viene eseguita l'interpolazione con il metodo dei minimi quadrati (figura 5).

La probabilita' di non eccedenza puo' essere calcolata non soltanto con la relazione (2) ma anche con altri parametri significativi. Cosicche' con riferimento ad un generico intervallo t_1 , (per esempio 10 anni) e di una assegnata intensita' (per esempio 6 grado) essa puo' essere valutata anche utilizzando le stime su

intervalli t_2 (per esempio 1 anno) piu' piccoli. Infatti si ha:

$$\text{Prob. di non eccedenza in } t_1 = (\text{Prob. di non eccedenza in } t_2)^{**k}$$

dove $k = t_1 / t_2$ rappresenta il numero di intervalli t_2 contenuti in t_1 (nell'esempio $k=10$).

Viceversa la probabilita' nel periodo t_2 puo' essere a sua volta stimata a partire da quella ottenuta con t_1 , ossia:

$$\text{Prob. di non eccedenza in un periodo } t_2 = (\text{Prob. di non eccedenza in un periodo } t_1)^{**(1/k)}$$

3 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL SITO DI GIOIA TAURO

Nel paragrafo precedente si e' visto come per $t=10$ anni e relativamente alle tre soglie d'intensita' del catalogo e' stato possibile ottenere il grafico di figura 4.

Ripetendo tale procedimento per valori di $t=1,5,20$ anni otteniamo altrettanti diagrammi la cui interpolazione forniscono le figure 6,7,8 da cui per ciascun valore d'intensita' e per i quattro valori di t e' possibile ricavare la tabella 4.

Con riferimento al passo di campionamento t si nota come, procedendo da intervalli grandi ($t=20$) verso intervalli piccoli ($t=1$ anno), un sempre maggiore effetto sulla probabilita' stimata dei cluster presenti nel catalogo. Se assumiamo che i dati del catalogo siano tra loro indipendenti e quindi in assenza di cluster, si dovrebbe avere per tutte le intensita':

$$P(I, 10 \text{ anni}) = P(I, 1 \text{ anno})^{**10} \quad (4)$$

In generale se per tutte le intensita' stimiamo i valori di probabilita' per intervalli di t_2 pari 1,5,10 anni utilizzando la relazione (4) otteniamo la tabella 5.

Ripetendo la stessa procedura per valori $t=20$ anni otteniamo la tabella 6. In entrambe nella prima colonna sono riportate le probabilita' dedotte dalla tabella 4 mentre nelle altre colonne sono riportati i valori di probabilita' calcolati con la relazione (4).

L'analisi dei dati delle due tabelle evidenzia la non coincidenza dei valori di probabilita' stimate con le due diverse metodologie. In particolare i valori di probabilita' sono crescenti all'aumentare di t . Cio' soprattutto per le intensita' minori. Tuttavia all'aumentare dei valori d'intensita' questa divergenza dei risultati tra i due metodi tende ad attenuarsi, raggiungendo la quasi coincidenza dei valori per intensita' 8. Sulla base di queste considerazioni viene scelta la stima di $t=10$ anni.

Con questa assunzione e' allora possibile valutare la probabilita' di non eccedenza per intervalli t pari a 1,5,20 anni dalla seguente relazione:

$$P(I,1 \text{ anno}) = P(I,10 \text{ anni})^{1/10}$$

I risultati di tali elaborazioni sono riportati in tabella 7. I complementi ad 1 di queste probabilita' forniscono le probabilita' che determinate intensita' siano eccedute in fissati periodi di tempo.

Le probabilita' di eccedenza sono riportate in tabella 8.

4 CONCLUSIONI.

A parere di chi scrive la metodologia adottata e' estremamente sensibile a:

1. la scelta della legge di attenuazione;
2. la affidabilita' del catalogo storico utilizzato in particolare nell'assegnazione dell'intensita' epicentrale
3. una possibile ciclicita' nei dati, soprattutto per le elevate intensita' macrosismiche. I dati contenuti nelle ultime tabelle forniscono delle stime preliminari di probabilita' affidabili almeno con la prima cifra significativa.

Cio' significa che il sito di Gioia Tauro subira' un moto del terreno almeno pari al V grado della scala Mercalli nei prossimi 5 anni con una probabilita' del 40%, mentre per un VI grado nello stesso periodo e' circa il 20%. Rispettivamente di circa il 20% e 10% sono le probabilita' che il sito sia sottoposto ad un moto del terreno almeno pari al VII e VIII grado nei prossimi 10 anni.

La filosofia con cui e' stato svolto il presente lavoro e' finalizzata all'istallazione della rete strumentale verticale nella piana di Gioia Tauro. La legge di attenuazione utilizzata non e', in un ottica di assegnazione di rischio sismico, conservativa. Le differenze tra i risultati ottenuti con questo lavoro e quelli ottenuti da Castiglioni, Grandori e Petrini (1979) sono poi imputabili soprattutto ai diversi cataloghi sismici utilizzati.

Ulteriori piu' approfonditi studi sono necessari se si vogliono assegnare con maggiore affidabilita' le probabilita' in oggetto, soprattutto se si vuole tener conto di possibili forti variazioni delle probabilita' di terremoto nel corso del tempo.

BIBLIOGRAFIA

- Castiglioni A., Grandori G., Petrini N. : "Porto Industriale di Gioia Tauro; Studio della sismicita' locale"
Polytecna Harris 1979
- Gumbel : "Statistics of Extremes"
Columbia University Press N.Y. 1958
- Makjanic : "On the Frequency Distribution of Earthquake Magnitude and Intensity"
BSSA Vol. 70, num.6 pp. 2253-2260, 1980
- Tuncel, Yegulalp, Kvo : "Statistical Prediction of the Occurrence of Maximum Magnitude Earthquakes"
BSSA Vol. 64, num.2 pp.393-414, 1974
- Weirchert : "Estimation of Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes"
BSSA Vol. 70, num.4 pp 1337-1346, 1980

TAB.1

| n. del decennio | intensita' max del decennio |
|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 10.4 |
| 2 | 6.5 |
| 3 | 4.9 |
| 4 | 4.7 |
| 5 | 8.0 |
| 6 | 5.7 |
| 7 | 4.4 |
| 8 | 6.1 |
| 9 | 6.3 |
| 10 | 5.9 |
| 11 | 5.0 |
| 12 | 7.5 |
| 13 | 8.5 |
| 14 | 5.9 |
| 15 | 5.0 |
| 16 | 3.5 |
| 17 | 5.7 |
| 18 | 5.7 |
| 19 | 4.3 |
| 20 | 5.7 |

TAB.2

| n. d'ordine (m) | n.del decennio | intensita' max del decennio |
|-----------------|----------------|-----------------------------|
| 1 | 16 | 3.5 |
| 2 | 19 | 4.3 |
| 3 | 7 | 4.4 |
| 4 | 4 | 4.7 |
| 5 | 3 | 4.9 |
| 6 | 15 | 5.0 |
| 7 | 11 | 5.0 |
| 8 | 6 | 5.7 |
| 9 | 20 | 5.7 |
| 10 | 18 | 5.7 |
| 11 | 17 | 5.7 |
| 12 | 14 | 5.9 |
| 13 | 10 | 5.9 |
| 14 | 8 | 6.1 |
| 15 | 9 | 6.3 |
| 16 | 2 | 6.5 |
| 17 | 12 | 7.5 |
| 18 | 5 | 8.0 |
| 19 | 13 | 8.5 |
| 20 | 1 | 10.4 |

TAB.3

| intensita' mercalli | dati del periodo | esempio con $\delta t=10$ |
|-----------------------|------------------|---------------------------|
| tra VIII e XII | 1600-1980 | n=38 |
| tra VI e VIII escluso | 1780-1980 | n=20 |
| tra III e VI escluso | 1830-1980 | n=15 |

TAB.4 : Probabilita' di non eccedenza di diverse intensita' massime su differenti periodi al sito di Gioia Tauro stimate attraverso la Gumbel del tipo I con diversi δt

| ampiezza δt (anni) | intensita' massima in δt | | | | n. di casi sotto soglia |
|-------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|
| | V | VI | VII | VIII | |
| 1 | .8528 | .9357 | .9727 | .9885 | 63 |
| 5 | .5208 | .7492 | .8800 | .9550 | 2 |
| 10 | .3361 | .6396 | .7920 | .8978 | 0 |
| 20 | .1503 | .4078 | .6541 | .8180 | 0 |

TAB.5 : Probabilita' di non eccedenza di diverse intensita' in 10 anni per il sito di Gioia Tauro stimate attraverso la Gumbel del tipo I con diversi δt

| intensita' | P(10 anni) | P(5 anni)**2 | P(1 anno)**10 |
|------------|------------|--------------|---------------|
| V | .3361 | .2712 | .2035 |
| VI | .6396 | .5613 | .5145 |
| VII | .7920 | .7740 | .7580 |
| VIII | .8978 | .8930 | .8910 |

TAB.6 : Probabilita' di non eccedenza di diverse intensita' in 20 anni per il sito di Gioia Tauro stimate attraverso la Gumbel del tipo I con diversi δt

| intensita' | P(20 anni) | P(10 anni)**2 | P(5 anni)**4 | P(1 anno)**20 |
|------------|------------|---------------|--------------|---------------|
| V | .1503 | .1129 | .0735 | .0414 |
| VI | .4078 | .4090 | .3150 | .2647 |
| VII | .6541 | .6273 | .5996 | .5749 |
| VIII | .8180 | .8060 | .7974 | .7935 |

TAB 7: probabilita' di non eccedenza per diverse intensita' e periodi
al sito di Gioia Tauro

| Intensita' | periodo (anni) | | | |
|------------|----------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 5 | 10 | 20 |
| V | .8967 | .5797 | .3361 | .1129 |
| VI | .9562 | .7997 | .6396 | .4091 |
| VII | .9769 | .8899 | .7920 | .6272 |
| VIII | .9893 | .9475 | .8978 | .8060 |

TAB 8: probabilita' di eccedenza per diverse intensita' e periodi
al sito di Gioia Tauro

| Intensita' | periodo (anni) | | | |
|------------|----------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 5 | 10 | 20 |
| V | .1033 | .4203 | .6639 | .8871 |
| VI | .0438 | .2003 | .3604 | .5909 |
| VII | .0233 | .1101 | .2080 | .3728 |
| VIII | .0107 | .0520 | .1022 | .1940 |

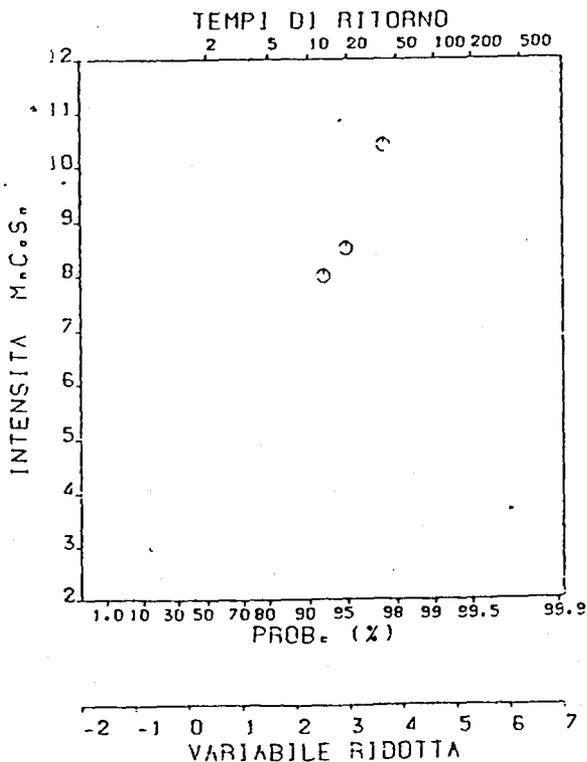


Figura 1: Distribuzione dei punti nell'intervallo 1600-1980 ($l \geq 8$, $\delta t = 10$ anni).

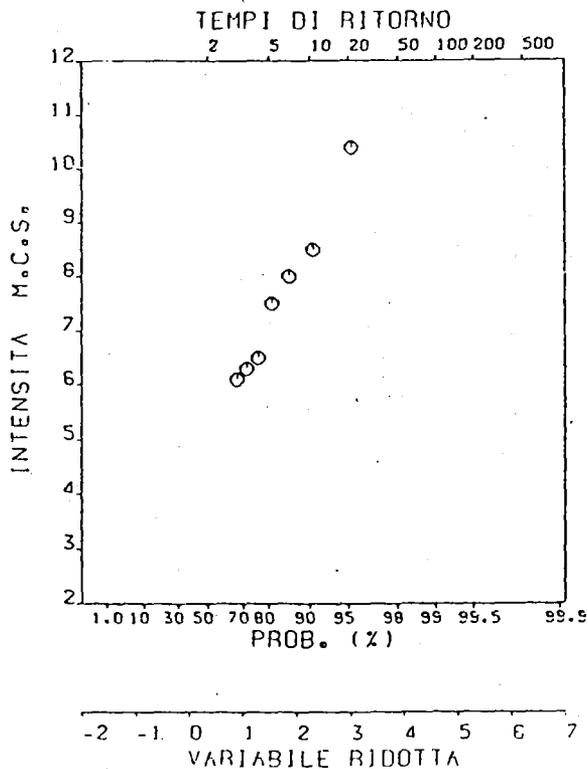


Figura 2: Distribuzione dei punti nell'intervallo 1780-1980 ($l \geq 6$, $\delta t = 10$ anni)

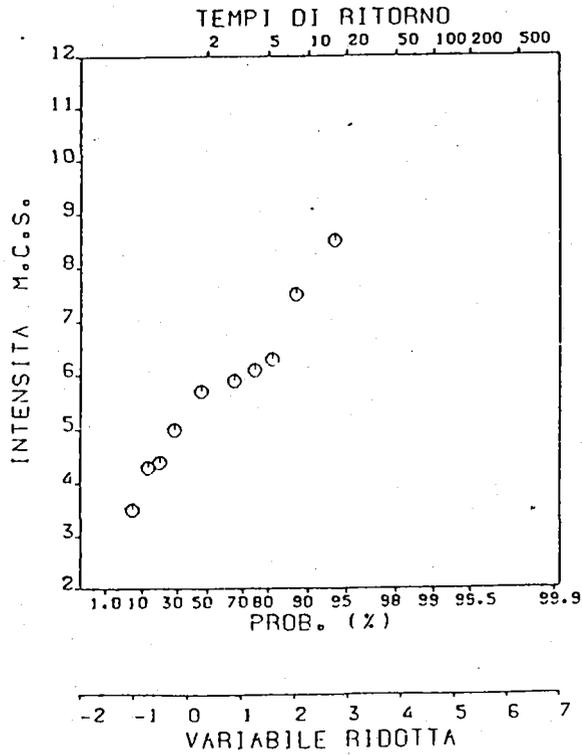


Figura 3: Distribuzione dei punti nell'intervallo 1830-1980 ($l \geq 3$, $\Delta t = 10$ anni)

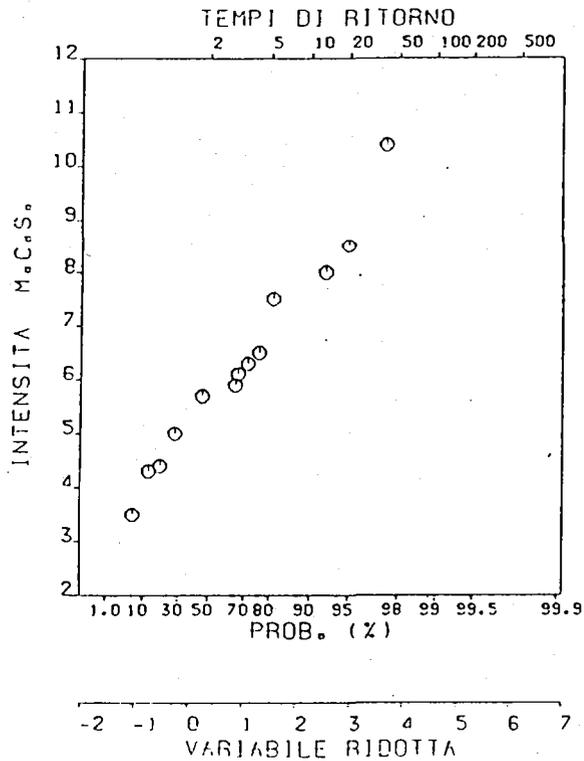


Figura 4: Distribuzione dei punti delle tre figure precedenti

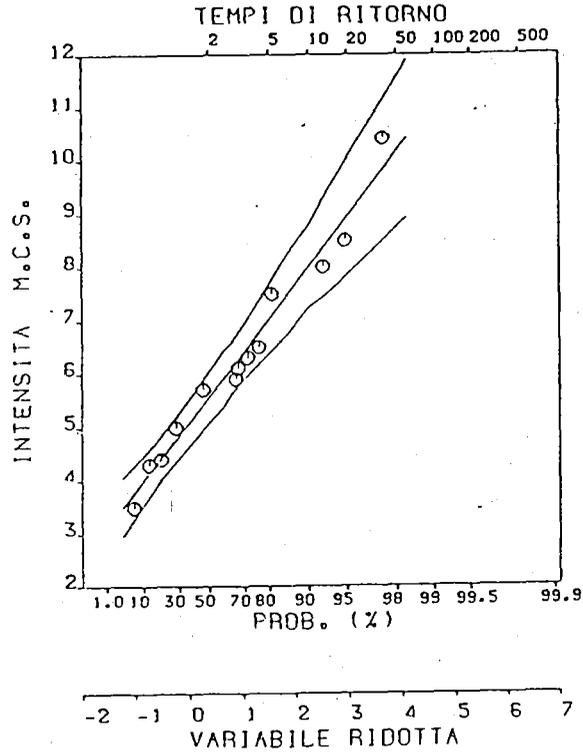


Figura 5: Distribuzione dei punti con $\delta t=10$ anni per le tre classi di completezza. Le fasce di confidenza sono al 95%. I tempi di ritorno sono espressi in unità $\delta t \times 10$ anni.

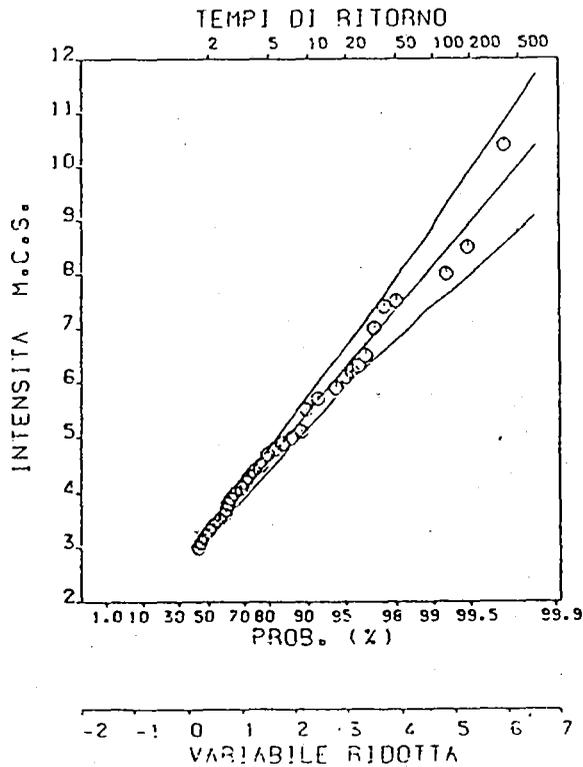


Figura 6: Distribuzione dei punti e relative fasce di confidenza al 95% per $\delta t=1$ anno.

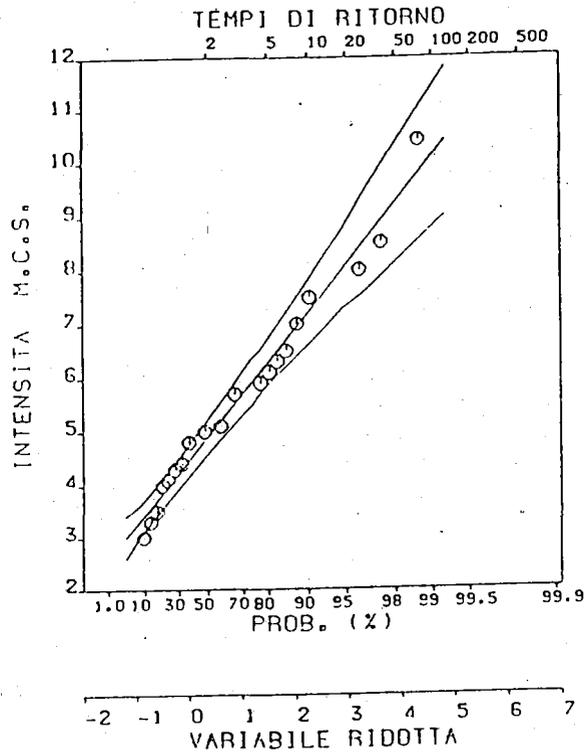


Figura 7: Distribuzione dei punti e relative fasce di confidenza al 95% per $\delta t=5$ anni. I tempi di ritorno sono in unita $\delta t \times 5$ anni.

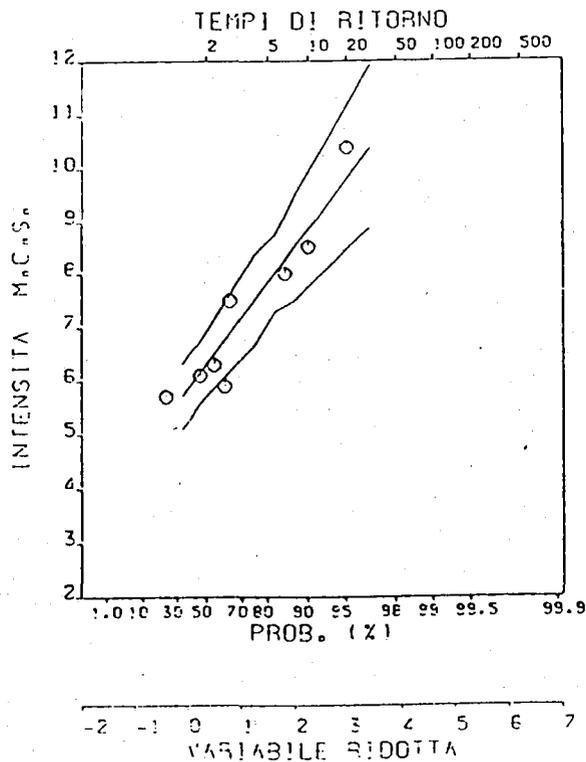


Figura 8: Distribuzione dei punti e relative fasce di confidenza al 95% per $\delta t=20$ anni. I tempi di ritorno sono in unita $\delta t \times 20$ anni.

ALLEGATO 4 -

METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE PUNTUALE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Alain Fels

Scopo della presente relazione, e' quello di descrivere succintamente i metodi attualmente piu' utilizzati per la stima del pericolo di liquefazione di depositi sabbiosi con opportune caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche quando sono sottoposti ad azioni di natura dinamica. Tra i principali ricordiamo:

1. CRITERIO DI SEED

Questo metodo discende da un approccio semplificato proposto da Seed e Idriss (1971) e puo' essere descritto nei seguenti passi:

a) valutazione degli sforzi ciclici indotti dal terremoto nella formazione in esame.

Lo sforzo ciclico di ampiezza costante equivalente generato alla profondita' "z" dal terremoto di riferimento, e' fornito dalla relazione:

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} r_d \quad (1)$$

dove a_{max} = valore massimo della accelerazione registrata in superficie

σ_0 = pressione totale relativa alla profondita' di interesse

σ'_0 = pressione efficace alla profondita' di cui sopra

r_d = fattore di riduzione dello stress

b) caratterizzazione della resistenza alla liquefazione del terreno

Tale caratterizzazione e' fornita dalla misura in sito del parametro N_{spt} relativamente alla profondita' di interesse in condizioni opportune. Per tale scopo, tuttavia, questo parametro non puo' essere utilizzato direttamente, ma deve essere normalizzato per tenere conto della diversa pressione di confinamento alle differenti profondita' secondo la relazione:

$$N_1 = C_n N_{spt} \quad (2)$$

dove la variazione del coefficiente C_n in funzione della pressione efficace e' riportato in figura 1. Per una data profondita' noti quindi i valori della resistenza penetrometrica dinamica e dello sforzo di taglio, sulla base della figura 2 viene valutato il pericolo di liquefazione. La curva limite in essa riprodotta e' relativa a terremoti con valore di magnitudo pari a 7.5. Tuttavia per sismi con valori differenti di magnitudo possono essere utilizzate altre curve sperimentali che meglio si prestano alle peculiarita' sismiche italiane. La curva di figura 1 rappresenta il limite empirico tra i casi di liquefazione e di non liquefazione osservati sul terreno in occasione di molti terremoti significativi. Se il punto in esame cade al di sotto della curva limite e' improbabile che si abbia liquefazione, al contrario se cade al di sopra o sulla curva puo' aversi liquefazione. Cosicche' per un dato valore di N_1 , si puo' calcolare il rapporto tra la corrispondente ordinata della curva limite e il valore dato dalla (1), ossia:

$$F_e = \frac{(\tau_e / \sigma'_v)}{(\tau_d / \sigma'_v)}$$

Il parametro F_e viene assunto come "fattore di sicurezza" nei riguardi della liquefazione ($F_e < 1$ e' indicativo del pericolo di liquefazione). Valutando il valore di F_e relativamente alle profondita' di interesse in cui sono disponibili misure di N_{spt} , si e' in grado di definire il fattore di sicurezza e quindi la eventuale possibilita' di avere liquefazione.

2. CRITERIO DELLA RESISTENZA PENETROMETRICA STATICA Secondo Seed et al. (1983), la resistenza del sito alle onde sismiche puo' essere misurata non soltanto con il parametro N_{spt} , ma anche utilizzando il parametro q_c rappresentativo della resistenza alla punta nella prova penetrometrica statica. Tale prova presenta molti vantaggi rispetto a quella N_{spt} , quali:

- maggiore rapidita' ed uniformita' di esecuzione;
- possibilita' di avere un profilo continuo di resistenza del terreno

Tuttavia allo stato attuale vi e' ancora una base di dati troppo esigua per determinare direttamente delle curve limite da misure di sito. In attesa quindi che aumentino le osservazioni in sito, per scopi pratici puo' essere maggiormente vantaggioso utilizzare correlazioni empiriche tra N_{spt} e q_c in funzione della granulometria (figure 3).

3. CRITERIO DELLE V_s

Un'altra estensione di notevole interesse proposta da Seed et al. (1983), riguarda la possibilita' di rappresentare la resistenza al sito mediante la velocita' delle onde di taglio V_s . Anche in questo caso l'uso di tale parametro presenta indubbi vantaggi rispetto al parametro N_{spt} :

- il profilo di V_s e' la caratterizzazione piu' significativa per la risposta dinamica di un sito;
- i valori di V_s tengono conto della storia geologica del sito.

Accanto a tali vantaggi esiste allo stato attuale il grosso limite rappresentato dalla mancanza di dati relativamente a siti che hanno subito liquefazione. In mancanza di questi e' pertanto ragionevole usare correlazioni empiriche tra V_s e N_{spt} (Seed et al (1983):

$$V_s(\text{m/s}) = 56 \sqrt{N_{spt}}$$

che sulla base di opportuni passaggi puo' essere trasformata nella seguente relazione (valida per $z < 15$ m) in cui il valore di v_s e' espresso direttamente in funzione del parametro N_1 che tiene conto della pressione di confinamento alla profondita' di interesse:

$$V_s(\text{m/s}) = 62 \sqrt{N_1}$$

Cosicche' tarando le ascisse di figura 2 anche in funzione dei valori di V_s e' possibile estendere l'uso di tali curve anche ai casi in cui la resistenza del terreno viene espressa mediante la velocita' delle onde di taglio.

4. METODO DI TOKIMATSU e YOSHIMI

Recentemente Tokimatsu e Yoshimi(1983) hanno rielaborato il metodo di Seed introducendovi significativi miglioramenti per quanto riguarda le osservazioni sul terreno: influenza delle modalita' di esecuzione delle prove N_{spt} , influenza delle caratteristiche granulometriche. La rielaborazione dei due Autori puo' essere riassunta nei seguenti passi:

a) lo sforzo tangenziale ciclico equivalente generato dal terremoto di riferimento a profondita' z e' dato:

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0.1(M-1) \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} (1 - 0.015z)$$

b) il valore di N_{spt} misurato in sito con il metodo dello sganciamento automatico, viene normalizzato per tenere conto della pressione di confinamento e corretto per il contenuto di fini tramite la relazione:

$$N_a = \frac{1.7}{\sigma'_0 + 0.7} N_{spt} + N_f$$

Il termine N_f tiene conto del contenuto di fini secondo il grafico di figura 4.

BIBLIOGRAFIA

- SEED, H.B. e IDRIS, I (1971): "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential".
J. Soil. Mech. Found. Div., ASCE, vol. 97
- SEED, H.B. et al. (1983): "Evaluation of liquefaction potential using field performance data".
J. Geotech. Eng., ASCE, vol. 109.
- TOKIMATSU, K. et al. (1983): "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content".
Soils and Foundations, 23(n. 4)
- ROBERTSON, P. et al. (1983): "SPT-CPT correlations".
J. Geotech. Eng., ASCE, vol. 109(11)

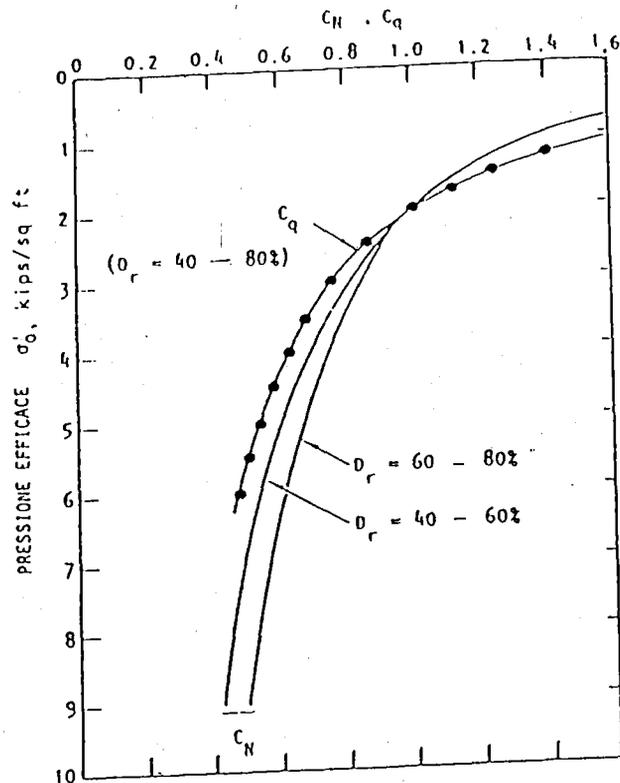


Figura 1: Coefficienti della resistenza penetrometrica in funzione della pressione di confinamento

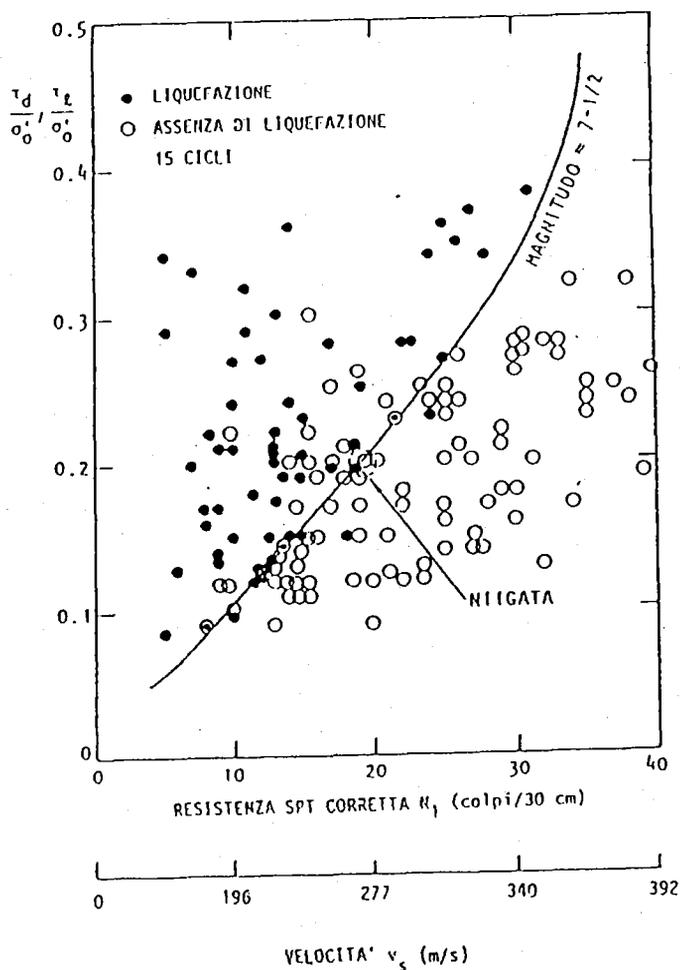


Figura 2: Andamento dello sforzo di taglio in funzione della resistenza del terreno

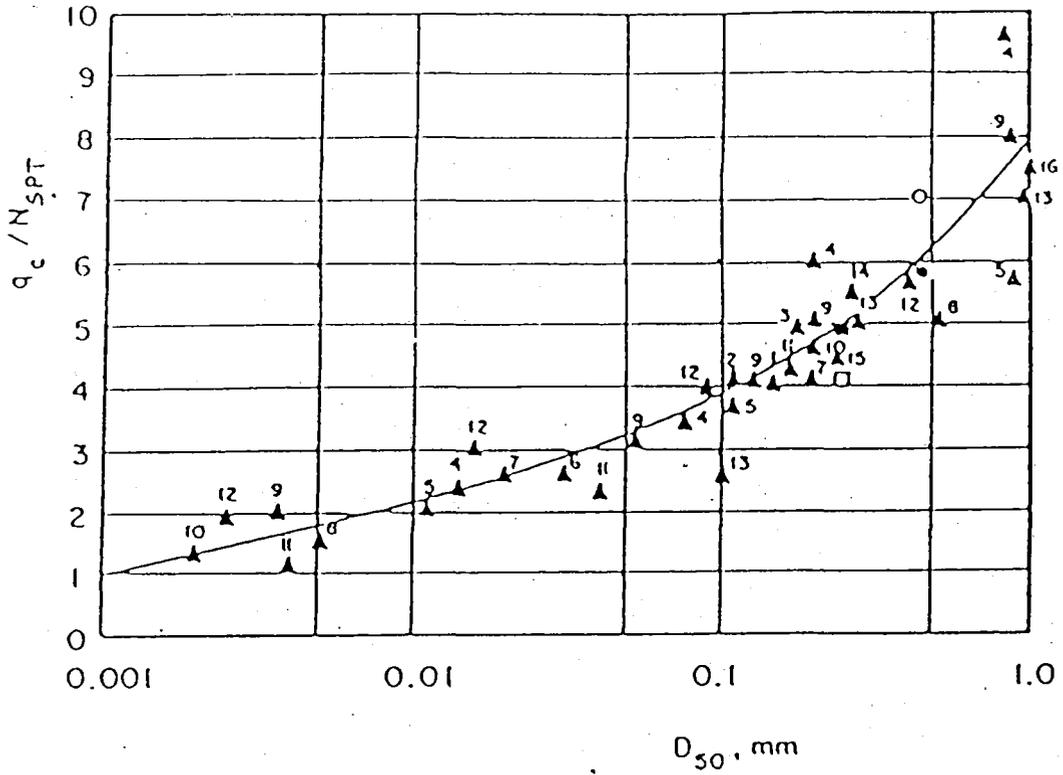


Figura 3: Variazione del rapporto tra resistenza penetrometrica statica e dinamica in funzione della dimensione media dei granuli

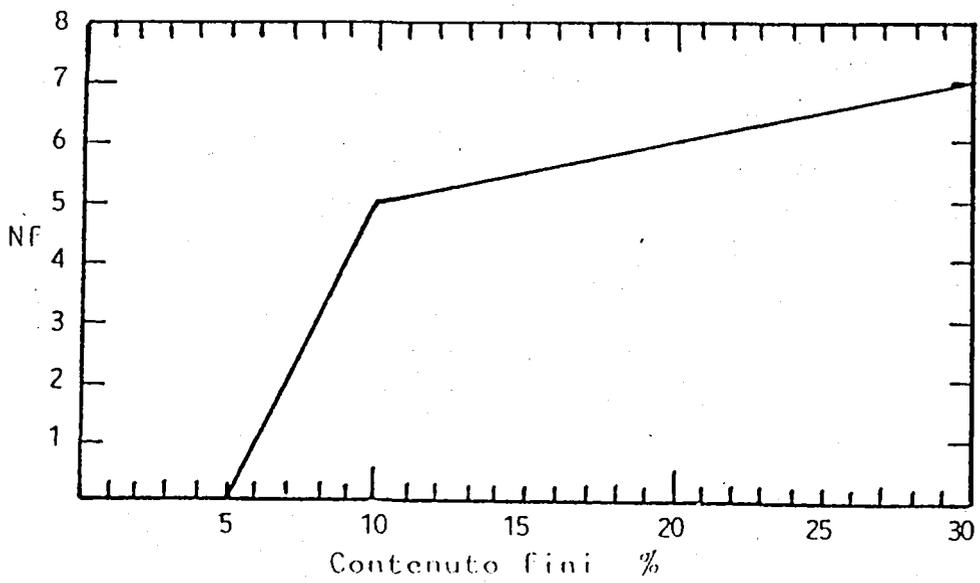


Figura 4: Andamento di NF con il contenuto dei fini

ALLEGATO 5

RETE ACCELEROMETRICA DI GIOIA TAURO: STRUMENTAZIONE
DOWN-HOLE E SISTEMA DI TRASMISSIONE DATI

P. Capocecera, F. Vitiello

L'acquisizione di dati accelerometrici da reti dense a sviluppo verticale pone numerosi problemi tecnici soprattutto per quanto riguarda l'installazione degli strumenti in foro (down-hole) e il loro funzionamento per lunghi periodi di tempo.

I criteri di carattere generale che devono essere considerati nella realizzazione di array a 3-D sono:

- 1) possibilità di testare la strumentazione con sufficiente periodicità al fine di garantire l'efficienza della rete;
- 2) impostazione di un criterio di costi/benefici in relazione agli obiettivi da raggiungere;
- 3) disponibilità di personale locale per la manutenzione della strumentazione.
- 4) gestione dei dati acquisiti e la loro presentazione in un formato standard per l'invio degli stessi agli utenti.

I primi due punti sono intimamente connessi al progetto della rete mentre il 3° e 4° punto riguardano principalmente aspetti organizzativi ma altrettanto importanti per l'efficienza della rete stessa.

In questa nota saranno brevemente esposti alcuni aspetti che riguardano l'installazione, l'orientamento dei sensori down-hole, l'acquisizione e la trasmissione dei dati accelerometrici.

1. Strumentazione down-hole

1.1. Rivestimento dei fori

Una rete accelerometrica a sviluppo verticale prevede l'installazione di diverse terne di sensori entro opportuni fori a determinate profondità.

Ogni foro contiene un solo strumento posto sul fondo. Il numero dei fori sarà quindi uguale al numero dei sensori.

Considerazioni di carattere pratico ed economico suggeriscono di provvedere al rivestimento dei fori attraverso tubi di metallo (ferro o alluminio) o in PVC.

- Rivestimento in ferro

Vantaggi: preserva il foro da grossi tassi di umidità permettendo migliori condizioni ambientali alla strumentazione.

Svantaggi: elevato costo e possibili problemi riguardanti la risposta in frequenza del metallo.

- Rivestimento in PVC

Vantaggi: bassi costi e un ampio spettro di risposta per le frequenze di uso impiantistico.

Svantaggi: limitatezza della profondità e soprattutto la formazione di elevatissimi tassi di umidità.

La formazione di fluidi di condensazione rappresenta, uno dei più gravosi problemi per il mantenimento degli strumenti a causa del loro elevato potere di ossidazione e di corrosione elettrochimica.

1.2. Ancoraggio del sensore accelerometrico

Un altro importante problema riguarda l'ancoraggio dell'accelerometro down-hole alla roccia incassante e la sua influenza ai fini della risposta (spettri, FFT).

Lo strumento può essere reso solidale al rivestimento, e quindi alla roccia circostante, attraverso sabbia di opportuna granulometria.

Tale metodo consentirebbe anche l'eventuale recupero dello strumento attraverso l'insufflazione di aria a pressione e il sollevamento del Kit attraverso un cavo d'acciaio. Ciò appare possibile a profondità non molto elevata (qualche decina di metri) ma assai improbabile a profondità dell'ordine dei 100 m.

A tale proposito si rende necessaria un'attenta valutazione del rapporto costo/benefici.

Il recupero dello strumento richiede l'intervento di una squadra di sondatori e l'attrezzatura idonea all'insufflazione di aria a forte pressione (compressori, generatori, aste, etc.).

E' verosimile pensare che oltre un certo limite di profondità non esista la convenienza economica al recupero dello strumento in caso di guasto.

Inoltre non essendo possibile la rimozione completa della sabbia, questa ostacolerebbe l'orientamento del sensore come sarà descritto più avanti.

Una soluzione alternativa per l'ancoraggio dello strumento e la completa cementazione del fondo foro; è evidente che tale metodo rende irrecuperabile il sensore.

1.3. Orientamento dei sensori accelerometrici

La conoscenza dell'orientamento degli assi della terna accelerometrica è di fondamentale importanza per il confronto delle registrazioni provenienti da altri strumenti.

Sono possibili due metodi: diretto e

indiretto.

Il metodo diretto si basa sulla lettura dell'orientamento attraverso aste rigide fornite di una linea di fede orientata, ad esempio, con uno degli assi orizzontali (fig. re 1 e 2).

Tale metodo non garantisce una lettura precisa (entro $\pm 3^\circ$) a profondità superiori a 50 m a causa del disassamento dovuto all'effetto torzionale, tanto maggiore quanto più alto è il numero delle aste.

Il metodo di orientamento indiretto richiede un'opportuna strumentazione che sia in grado di misurare:

- a) la deviazione azimuttale di un sensore orizzontale rispetto ad una predeterminata direzione (es. Nord);
- b) la deviazione angolare del sensore verticale rispetto alla perpendicolare.

La fig. 3 mostra un'interessante soluzione per l'orientamento del sensore.

In fondo al tubo in PVC una scanalatura (key-slot), ricavata su un cilindro interno, consente l'alloggiamento della "key" del sensore. Il taglio obliquo del cilindro interno impone una rotazione al sensore e l'inserimento della "key" sulla "key-slot".

In questo caso deve essere predeterminato l'orientamento della key-slot attraverso l'ausilio di

un magnetometro a flusso.

Nota la deviazione angolare della key-slot, viene determinato anche l'orientamento sul piano azimutale degli assi del sensore quando la sua key si innesta nella key-slot.

Possono essere messi a punto semplici sistemi che assicurino che tale inserimento è avvenuto (es. contatti elettrici).

2. Esperienze down-hole in USA

In allegato alla presente nota, è riportato un riassunto delle reti down-hole installate negli Stati Uniti.

Dall'esame della tabella emerge che il problema maggiore nell'acquisizione di dati in un array verticale riguarda l'affidabilità a lungo termine dei sensori e dei sistemi di registrazione.

Mediamente le installazioni effettuate da qualificate istituzioni americane sono divenute inoperative dopo circa 3 o 4 anni dalla data di installazione.

La causa dei guasti sembra essere principalmente dovuta a fenomeni di condensa nei contenitori, corrosione chimica degli o-rings, cavi e parti in gomma.

3. Sistema di acquisizione e trasmissione dati

La rete accelerometrica di Gioia Tauro, ai fini della trasmissione dei dati rilevati, può essere strutturata con un sistema stellare costituito cioè da una capomaglia con il centro di acquisizione e da n stazioni collegate direttamente ad essa via radio con minilink digitale a 13 GHz equipaggiato con due canali a 65 kbit/sec (Fig. 4).

La stazione centrale è gestita da un computer e coordina il funzionamento di tutte le stazioni, ne controlla l'efficienza, riceve e registra su supporto adeguato i dati rilevati da tutta la rete. Essa è inoltre dotata di un ricevitore di emissione DCF (o altro campione atomico) per la temporizzazione assoluta degli eventi ed invia le informazioni di tempo a tutte le stazioni con i segnali di sincronismo.

Le stazioni remote sono costituite da:

- a) sensori accelerometrici tipo down-hole o free-field;
- b) un sistema di acquisizione locale dei dati tipo CODTSMA della Contraves in grado di registrare su memorie statiche da 4 Mbytes da uno a cinque sensori triassiali. Con passo di campionamento (settabile) pari a 200 Hz si ottengono rispettivamente 1,5 ore o 0,5 ore di registrazione.

c) un terminale radio per la trasmissione dati.

Il collegamento con la stazione centrale avviene con due canali; la trasmissione dei sincronismi e delle segnalazioni avviene sul canale 1, la trasmissione dei dati avviene in differita sul canale 2.

La stazione centrale invia continuamente il suo sincronismo alle stazioni periferiche che, nell'intervallo loro assegnato, inviano il proprio stato di funzionamento (stato delle batterie e dei sensori, livello del segnale accelerometrico).

Quando la stazione i-ma rileva un evento immagazzina i dati nella sua memoria e contemporaneamente trasmette un marcatore alla stazione centrale. Questa attiva un criterio di coincidenza pre-programmato (per es. 5 su 20) e in caso positivo invia a tutte le stazioni un comando di registrazione.

Una volta terminato l'evento la trasmissione dei dati ad un supporto di memoria centralizzato avviene sequenzialmente per ogni stazione in modo asincrono sul canale 2. Quindi il comando di registrazione dell'evento può essere fornito sia localmente dalla stessa stazione i-ma che dalla stazione centrale (in caso di riconoscimento d'evento).

Conclusioni

Da quanto esposto risulta essenziale acquisire ulteriori conoscenze sugli array verticali già operanti.

Le maggiori esperienze sono state effettuate non solo negli Stati Uniti, come già accennato, ma anche in Giappone (Institute of Construction Technology, Tokyo), Taiwan (Lotung Project), Jugoslavia.

Le problematiche connesse alla progettazione di un array verticale, l'impegno finanziario, la scarsa documentazione circolante, sono elementi che suggeriscono di maturare un'esperienza diretta attraverso prove in campo.

A tal fine è di imminente fornitura da parte della Kinometrics, un kit di strumenti e attrezzature down-hole costituite da:

- n. 2 strong motion FBA-13 DH completi di serie di cavi vulcanizzati (100 m e 50 m).
- Sistema di aste rigide orientabili (Loading pole) complete di sistemi di aggancio.

La disponibilità di tale strumentazione consentirà di effettuare delle prove in campo (test-site) nell'ambito del progetto "Piana del Fucino" o direttamente nel sito di Gioia Tauro.

TABLE 1
SUMMARY OF DOWNHOLE INSTALLATIONS

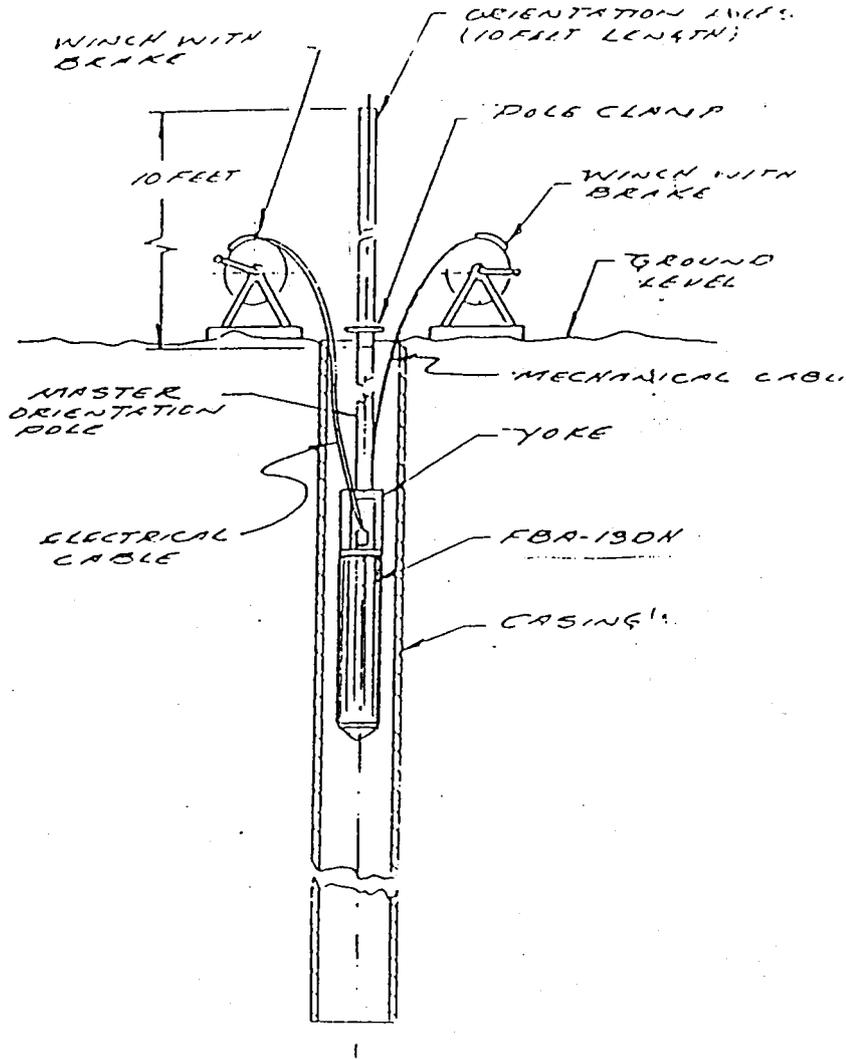
(Sandia National Laboratories/DOE)

| Location ID | Install. Date | Oper. Interval | Depth (M) | Material Type | Sensors | Encasement | Recorders | Remarks/Problems |
|---------------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|-------------------|------------|---|---------------------------------|
| Cumberland Plateau, Tenn. | Oct. 1978 | ↑ | ~100 | lime-stone | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| Western South Dakota | Aug. 1981 | ↓ | ~100 | lime-stone | ↓ | ↓ | ↓ | Negligible other than R.F. link |
| Northern New York | Sept. 1981 | ↓ To Date | ~100 | gneiss | KS36000 S750's | Steel Tube | Digitized On-Site RF Link to "Home" Station | ↑ |
| Yellow-Knife N.W.T. | March 1982 | ↑ | ~100 | granite | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| Red Lake, Ontario | Dec. 1982 | ↓ | ~100 | granite | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Lamar, Norway | Sept. 1984 | ↓ | ~50 | granite | KS36000 (S3) | 9" | ↓ | ↓ |
| Lajitas Texas | 1982 | Intermittent | ~100 | lime-stone | GS21 S750's | ↓ | ↓ | ↓ |

TABLE 1 (Continued)

| | | | | | | | | |
|---|-------|--------------|-----------|---------------------------------|--------------|-------|---------|---|
| Missouri New Madrid I-55 Route P Bridge | 10/8- | | 1.5 m | Alluv. or highway fill | 2-FBA-3(K) | Steel | CRA-1 | Continuing electronic failures (no water in transducer). Believed to be lightning damage to entire system. |
| New York Massena International Bridge | 10/76 | - | 1.5 m | | 1-FBA-3(K) | Steel | CRA-1 | Continuous electronic failures. (no water in transducer). Believed to be lightning damage to entire system. |
| Washington Bellevue I-90 136 PL. Bridge | 5/78 | 8/81 | 1.0 | Highway | 1-DSA-302(T) | Steel | DCA-300 | Numerous digital recorder failures. |
| | 8/81 | 2/85 | | | | | CRA-1 | 60 Hz signal on data channels - corrected. |
| Bellingham I-5 Bakerview Bridge | 5/78 | 4/81 | 1.0 | Highway fill | 2-DSA-302(T) | Steel | DCA-300 | Numerous digital recorder failures. 1 channel dead. |
| | 4/81 | 2/85 | | | 1-DSA-302(T) | | CRA-1 | 60 Hz signal on data channels - corrected. 1 channel dead. |
| Issaquah I-90 Sunset Bridge | 2/78 | 8/81 | 1.0 | Highway fill | DSA-302(T) | Steel | DCA-300 | Numerous digital recorder failures. |
| | 8/81 | 2/85 | | | | | CRA-1 | 60 Hz signal on data channels - corrected. 1 channel dead. |
| Mt. St. Helens Spiral Lake | 8/83 | 2/83 | 30 | Volcanic debris | 1-FBA-3(K) | Steel | CRA-1 | No cal. 2 channels Offset voltage 0V Temp = 83°C |
| | | 7/84 2/85 | | | | | | |
| | | | 7-20 | | 6-AB(D) | | | |
| Mt. St. Helens Castle Creek Lake | 8/83 | 2/85 | 30 | Volcanic debris | 1-FBA-3(K) | Steel | CRA-1 | |
| | | | 7-20 ? | | 4-AB(U) | | | |
| Utah Glynn Dam | 9/83 | 9/84 | 2.1 | Earthfill dam | 3-FBA-3(K) | Steel | CRA-1 | All transducers dead - show electronic failure (high voltage) No water in package. |
| | | | 9.1 | | | | | |
| | | | 9.1 | | | | | |

- K = Kinematics
- MP = Mark Products
- G = Geotech
- T = Terra Technology
- D = Data Instruments (Pore Pressure Transducer)



INSTALLATION OF DOWNHOLE ACCELEROMETER

Fig. 1

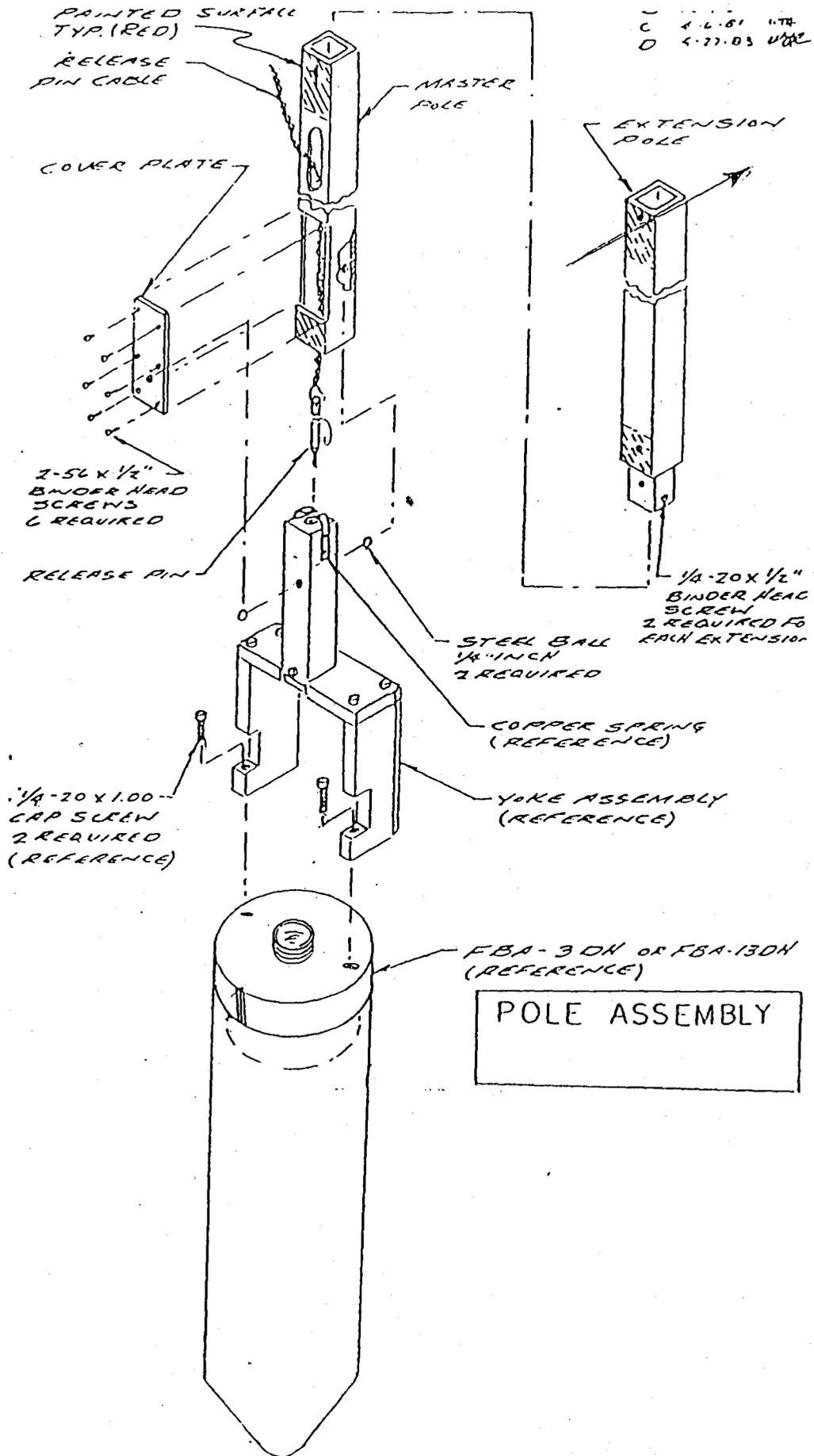


Fig. 2

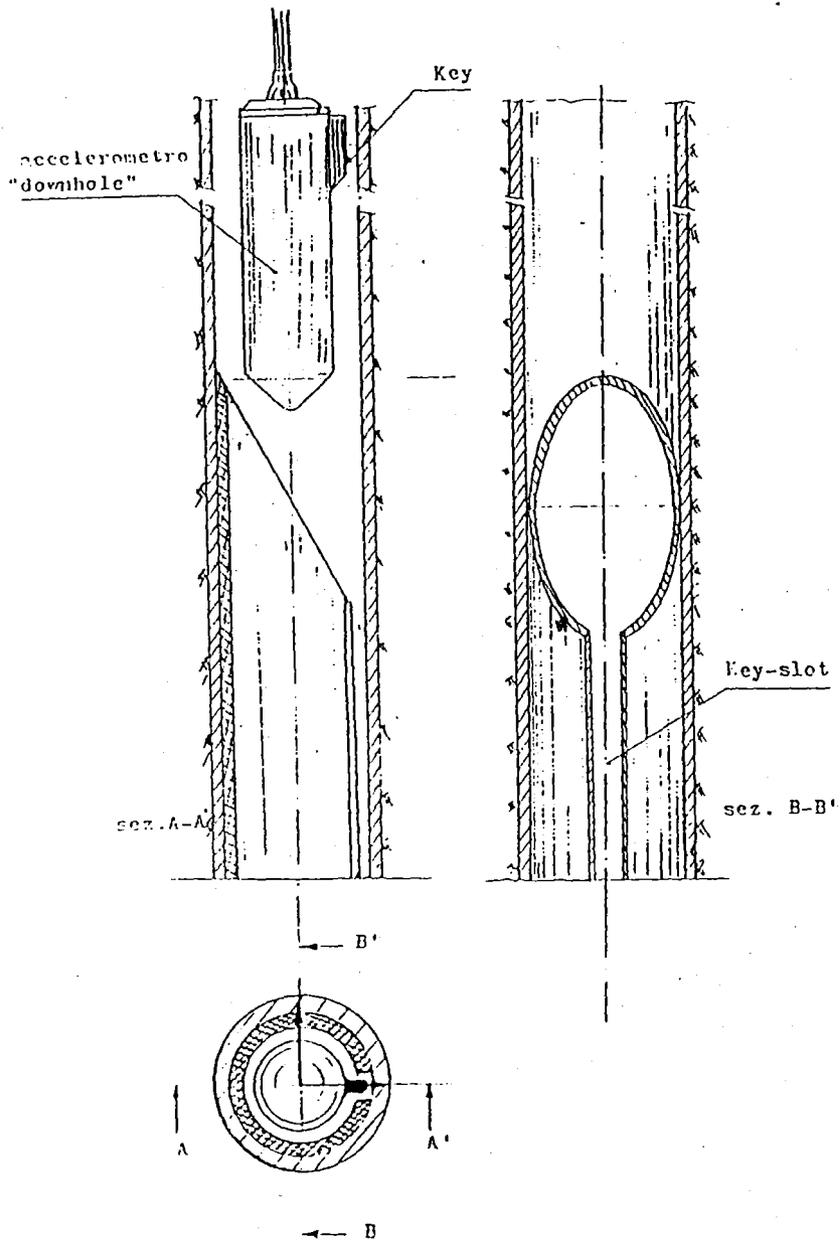
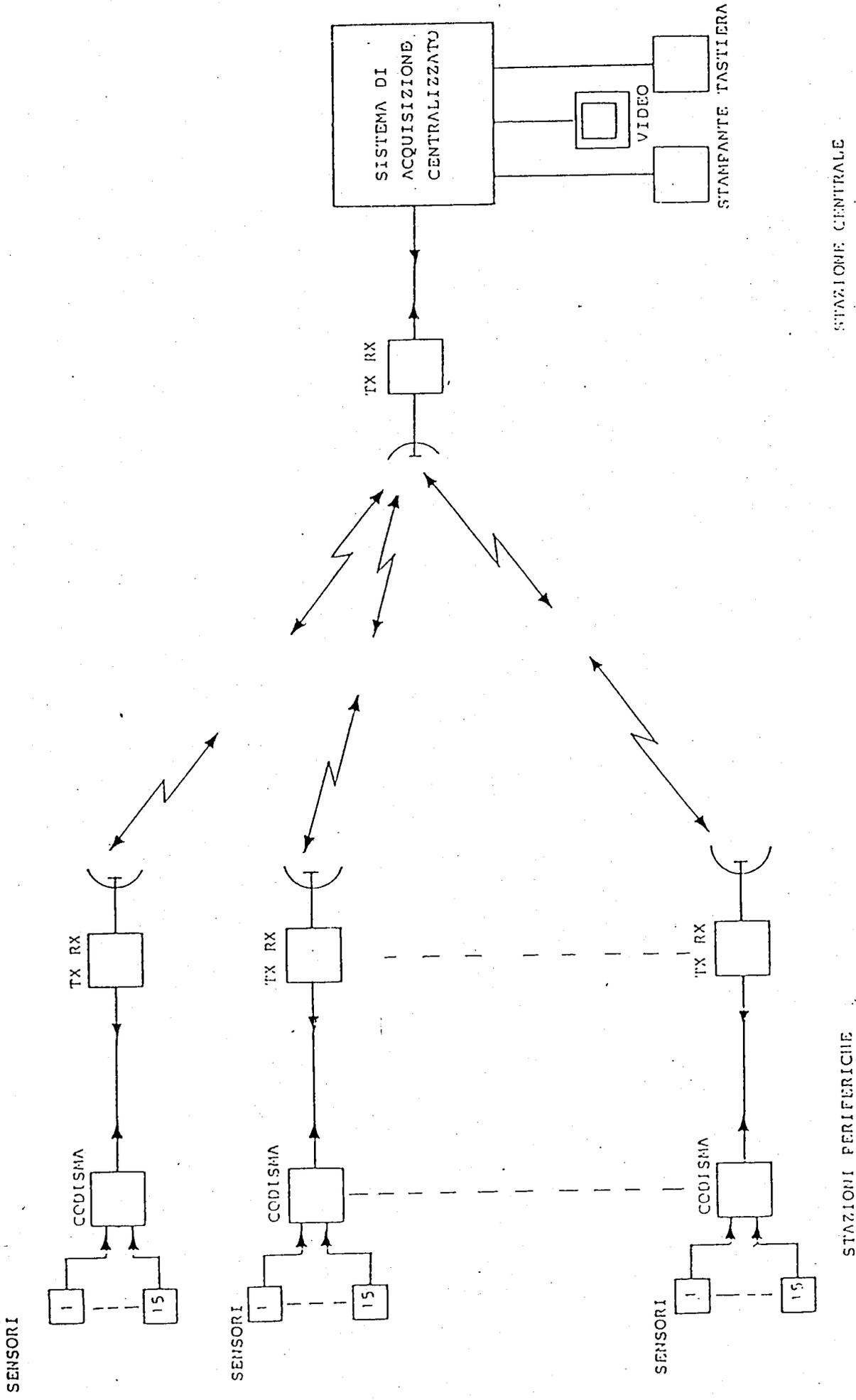


FIG. 3



RETE ACILERONOMETRICA DI GIOIA TAURO. SCHEMA DI PRINCIPIO DELLA RETE.

Edito dall'ENEA. Direzione Centrale Relazioni.
Viale Regina Margherita, 125 - Roma
Finito di stampare nel luglio 1990
Fotoripr. e Stampa La Casa della Stampa
Via Empolitana 120/C - Tivoli (Roma)

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata