

# Associazione dei Geologi della Provincia di Ferrara

*patrocinio*  
*Provincia di Ferrara*  
*Comune di Ferrara*  
*Ordine Regionale dei Geologi reg. Emilia Romagna*

## CONVEGNO

### FERRARA ED I TERREMOTI

(storia, attualità, pianificazione)

Programma dei lavori  
Riassunti

\*\*\* \*\*

12 Febbraio 1993

Sala dell'Imbarcadero  
Castello Estense - Ferrara

## PRESENTAZIONE DEL CONVEGNO

L'Associazione Geologi Ferraresi ha promosso quest'ultimo convegno per proseguire nel programma di manifestazioni finalizzate a divulgare la Scienza della Geologia nei suoi molteplici aspetti ed a tutelare la professione del geologo. L'associazione ricorda pertanto alcune delle iniziative svolte in passato.

- Il Seminario "Da una anomalia geologica una risposta per la collettività" che trattava l'argomento geotermia dal punto di vista geologico.
- La presentazione del libro "Fotogeologia, il telerilevamento nelle Scienze della Terra" scritto dal prof. Mantovani F. e dal dott. Marcolongo B., il primo testo redatto da autori italiani in materia di telerilevamento.

I fattori che hanno portato la nostra Associazione ad organizzare il convegno "Ferrara ed i terremoti - storia attualità e pianificazione" sono molteplici, tra questi preponderante però è la consapevolezza della confusione esistente in tutte le componenti della cittadinanza sulla sismicità del nostro territorio e sulla sua genesi.

Più volte nel passato in seguito ad eventi sismici avvenuti al di fuori della nostra provincia e tuttavia avvertiti sul nostro territorio con danni ai fabbricati, esempio il terremoto del Friuli, oppure come conseguenza di sismi recenti di debole magnitudo con epicentro nel ferrarese o in comuni confinanti la reazione della cittadinanza è stata fra le più svariate.

Alcuni cittadini o enti invitavano la popolazione alla calma poichè il nostro territorio non è classificato zona sismica, come se bastasse un limite cartografico per la salvaguardia; alcune voci evidenziavano esclusivamente la debole intensità dei sismi sopracitati trascurando la possibilità di eventi di maggiore entità che al contrario emergevano dalle fonti storiche (Ferrara 1561 e 1570, Argenta 1624); altre persone infine chiedevano giustamente come comportarsi durante e dopo un eventuale terremoto.

In realtà crediamo ci si debba porre la domanda: "Come si può convivere in modo ottimale con il proprio territorio e perseguire l'obiettivo di una corretta pianificazione?".

Ciò si può fare solo attraverso la conoscenza di tutte le sue problematiche ed a questo proposito l'Associazione crede che l'aspetto geologico sia tra quelli predominanti.

Basta osservare ad esempio il complesso chimico industriale sorto a ridosso della città per comprendere come in passato e molte volte anche nel presente si sia operato al di fuori di una corretta pianificazione.

Con l'organizzazione di questo convegno l'Associazione Geologi Ferraresi intende offrire un contributo e la propria disponibilità di collaborazione al fine di rendere chiarezza sul delicato tema in oggetto dal quale si ritiene non si possa prescindere in fase di corrette scelte programmatiche e gestionali del territorio.

Il Presidente  
Dott. Geol. Antonio Mucchi

## ALCUNI DATI STORICI RIGUARDANTI IMPORTANTI EVENTI

### SISMICI AVVENUTI NELLA ZONA DI FERRARA.

Dr. Geol. Gianluca Ferioli - Laboratorio Tecnologia e Progettazione ELLETIPI - FERRARA.

#### 1- INTRODUZIONE.

E' noto storicamente che importanti terremoti sono avvenuti nella zona di Ferrara; recentemente, con lo sviluppo delle tecniche di indagine geofisica si é potuta appurare l' esistenza di strutture geologiche sepolte che sembrano giustificare la sismicitá della zona ferrarese; il presente intervento vuole essere una breve introduzione storica di descrizione di alcuni importanti eventi sismici storici accaduti nella zona di Ferrara, le cui fonti principali sono state studiate da FERRARI, GUIDOBONI e POSTPISCHL.

#### 2- GLI EVENTI SISMICI DELLA FINE DEL '500.

Alle 7.00 p.m. del 17 Novembre 1570 si verificò il culmine di un periodo sismico preceduto da altre grosse scosse e che terminò solo alla fine del 1574, il cui principale epicentro fu la città di Ferrara. La scossa del Novembre 1570 fu la più intensa e raggiunse il nono grado della scala Mercalli. La storia di tale periodo ed in particolare della scossa principale fu ben documentata negli archivi estensied ebbe grande risonanza nelle altre corti europee ed italiane per il ruolo di primo piano politico e culturale dell' allora Ducato Estense. Nonostante ciò la Segreteria Ducale minimizzò l' evento per il timore di una perdita di prestigio politico (vedi comportamento dei paesi dell' est), mentre certi rivali ne esagerarono l' entità. La popolazione inoltre interpretò il terremoto come un fenomeno di origine sovrannaturale il che portò all' esodo di oltre 1000 persone dalla città per oltre un anno. In tale contesto si inserirono testimonianze di cittadini privati e personaggi di corte, come Pirro Ligorio, architetto e antiquario di corte, Ippolito de Robertis, procuratore, Buonaiuto dei Rossi, fisico e umanista ed altri ancora. Vennero compilati tre diari con dati precisi sulle scosse, due dei quali coprirono un periodo di quattro anni. Vi furono inoltre sull' argomento frequenti corrispondenze tra l' ambasciatore Bernardo Canigiani per il Granduca di Toscana e Livio Passeri per il Duca di Urbino, nonché tra la corte di Ferrara ed i suoi ambasciatori a Venezia, Torino e Roma. Gli Autori di tale ricerca (FERRARI, GUIDOBONI, POSTPISCHL) hanno così potuto effettuare considerazioni critiche sull' entità dei danni dovuti alle varie scosse, soprattutto nella città di Ferrara, poichè nelle aree limitrofe i dati sono inferiori; l' aspetto del territorio era molto diverso da ora: due terzi del ducato erano coperti da paludi, i villaggi erano ubicati sugli allora argini naturali del Po e la maggior parte delle abitazioni di agricoltori e pescatori era fatta di legno e fango. Tre anni dopo inviati pontifici sopraggiunsero a Ferrara e zone limitrofe per valutare i danni alle opere ecclesiastiche. Dai dati disponibili gli Autori hanno potuto effettuare le seguenti considerazioni. All' inizio del novembre 1570 furono uditi rumori intensi come di acque scroscianti e "rombanti" verso Ravenna, nell' antico corso del Po di Primaro. Alla mattina del 16 novembre

piccole scosse furono avvertite tra le 3,15 p.m. e le 5,15 p.m. Il terremoto causò collassi dei camini, aprì fessure nelle case e provocò grande panico nella popolazione. Il 17 novembre alle 1,45 a.m. un' ulteriore scossa causò il crollo di 5-600 piccole terrazze, causando ulteriori danni alle strutture e seguirono numerose altre piccole scosse. Alle 11,45 a.m. una successiva scossa causò altri danni. Altre piccole scosse avvennero fino alle 4,15 p.m., quando una forte scossa seguita un' ora dopo da un' altra causò il crollo di ulteriori manufatti. Alle 6,15 p.m. venne avvertito un ulteriore movimento, che tuttavia risultò essere meno intenso dei precedenti. Alle 7,00 p.m. il "Big One", di più lunga durata ed effetti devastanti. Fu prima avvertito come un' oscillazione in direzione est-ovest, poi nord-sud. Fu seguito da scosse circa ogni quarto d' ora, per tutta la notte. Venne redatta una carta dei danni alle chiese ed ai palazzi: quelli più danneggiati e rasi al suolo erano ubicati alla fine delle strade o isolati. La parte medievale della città, la più abitata, era seriamente danneggiata. Furono rinforzati quindi colonnati ed edifici in genere con la costruzione di muri di contenimento, proseguita fino alla fine del secolo. Durante la scossa principale l' acqua del castello tracimò e il Po vicino a Stellata subì una brusca variazione di livello: furono notati fenomeni di luminescenza dell' aria ("aria rubiconda") e liquefazione dei terreni. Si aprirono fessurazioni nelle mura della città anche di un Kilometro di lunghezza in direzione N-W. Si notò anche l' affiorare improvviso di terreni neri maleodoranti. Le carte redatte dagli Autori sopracitati riguardanti l' intensità MCS del fenomeno mostrano un preciso allineamento degli eventi con la Dorsale Ferrarese. Con la formula di Blake, l' ipocentro del terremoto risulta a 7 Km di profondità. Venne avvertito anche a Venezia, Mantova, Bologna, Modena e Pesaro.

Applicazioni della formula di Galanopoulos danno una magnitudo di 5,6.

Citiamo in fine che l' evento catastrofico del 1570 non è comunque stato l' unico nelle vicinanze di Ferrara: ad esso è infatti seguito il terremoto di Argenta nel 1624, ed è stato preceduto da un altro evento sismico sempre a Ferrara nel 1561: il primo, secondo le ricostruzioni (POSTPISCHL, 1983) fu del settimo grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, mentre il secondo arrivò addirittura al nono.

Risulta quindi fuori di dubbio che storicamente Ferrara è stata teatro di importanti eventi sismici, anche se risalgono a secoli fa; è quantomeno improbabile che le "forze" che hanno causato tali eventi si siano esaurite, ed infatti sono noti ai sismologi terremoti con lunghissimi "tempi di ritorno", considerati molto pericolosi perchè l'energia accumulata in un lungo periodo di tempo e mai rilasciata può liberarsi in uno o pochi eventi sismici di grande magnitudo, quindi altamente pericolosi. E emblematico che gli abitanti di San Francisco, abituati a convivere con i terremoti causati dalla Faglia di San Andreas, si preoccupino se non avvertono le solite deboli scossette settimanali, segno di una graduale liberazione dell'energia elastica in continuo accumulo. Non si possono comunque fare paragoni con Ferrara poiche è possibile che qui i tempi di

accumulo di energia siano estremamente lenti, a differenza delle sopracitate zone molto attive.

Bisogna quindi senza creare falsi e sciocchi allarmismi accettare l'idea che Ferrara è tutt'altro che una zona priva di rischio, come si può desumere sia dai suoi trascorsi storici sia dagli studi attualmente in corso

LA STRUTTURA PROFONDA DEL SOTTOSUOLO DI FERRARA:  
MODELLI E INTERPRETAZIONI

Dr. Geol. Enrico Farinatti - libero professionista - Ferrara

Il presente intervento si prefigge lo scopo di rendere nota la struttura sepolta delle "pieghe ferraresi", e quindi di spiegare il perchè dei forti terremoti avvenuti in epoca storica in questa zona.

**GEOLOGIA REGIONALE.**

Questo paragrafo è una introduzione alla geologia della zona nord appenninica e quindi anche alla struttura sepolta sotto la coltre quaternaria del bacino padano.

L'attuale configurazione della struttura nord appenninica (che comprende anche la parte sepolta dalla coltre alluvionale della Pianura Padana) è stata raggiunta a seguito di diversi eventi tettonici.

Volendo brevemente tracciare la storia geologica di questo settore si può partire dalla fine del Giurassico - inizio Cretaceo (intorno ai 140-150 milioni di anni fa).

Il margine europeo e quello insubre appenninico (così chiamati da Boccaletti et al., 1984), erano margini passivi separati da fondo oceanico (il paleo-oceano ligure-piemontese). Il formarsi delle prime catene montuose si avrà nel Cretaceo-Eocene con la collisione continentale; il risultato di tale evento consiste nella formazione di coltri dovute, dapprima alla subduzione di crosta continentale, poi al riaffioramento in superficie di quest'ultima, a causa della minore densità rispetto alla crosta oceanica e al mantello stesso.

Nell'oligo-miocene si ha la completa consunzione della crosta oceanica e quindi la deformazione si sposta alla crosta continentale; le fasi compressive traslano verso l'adriatico.

Si ha quindi, durante questa fase, un trasporto tettonico che va dal margine tirrenico (interno) verso l'adriatico (esterno).

In definitiva il nord appennino è divisibile in bande omogenee longitudinali (Boccaletti et al., 1984): una parte interna (tirrenica), una esterna (adriatica), una sepolta sotto la coltre alluvionale padana e l'"omoclinale pedemontana".

La catena sepolta presenta una tipica struttura da ambiente compressivo tipo ventaglio embriciato. Vi sono vari gruppi di sovrascorrimenti: le pieghe emiliane a NE, le pieghe ferraresi, adriatiche e romagnole a SE.

**LA DORSALE FERRARESE.**

Dopo questo inquadramento geologico generale, necessario per comprendere la storia del margine appenninico padano, si può ora focalizzare l'attenzione sulla struttura della dorsale ferrarese.

Lo scollamento principale si trova alla base delle successioni mesozoiche e, nel complesso, si può parlare di

prisma tettonico comparabile a quelli dei margini attivi associati alle fosse tettoniche. Nel caso specifico si parla di subduzione crostale di tipo A.

L'età delle fasi compressive è deducibile dal fatto che i cunei sinsedimentari sigillano le strutture tettoniche, costituendo così un ottimo sistema di datazione. Da questo tipo di evidenze risulta che le fasi tettoniche più accentuate si sono verificate tra il messiniano e il pliocene inferiore (attorno a 5 milioni di anni fa) e alla fine di quest'ultimo (attorno a 2 milioni di anni fa).

L'assetto tettonico del pre-pliocene risulta molto disturbato. Questo fatto si è potuto riscontrarlo grazie a perforazioni profonde effettuate dall'Agip; il suddetto livello si trova a circa 900 m di profondità nel pozzo nei pressi di Monestirolo e a 1390 m nel pozzo Consandolo 1. Esso raggiunge i 2700 m di profondità nel sinclinorio di Ferrara sud per poi risalire fino a 202 m nel pozzo Casaglia 1. Procedendo verso N il livello pre pliocenico torna ad approfondirsi (1400 da piano campagna), per risalire nuovamente nella zona di Rovigo e Bagnolo di Po (Bondesan e Castellani, Agip). Tutto questo spiega la mancanza in alcuni pozzi della formazione gessoso solfifera messiniana; questa formazione si depositò infatti nei bacini rimasti chiusi per i movimenti tettonici e si è formata per precipitazione causata dall'evaporazione delle acque.

Da puntualizzare quindi i notevoli movimenti messiniani.

Generalmente, ove presenti, i sedimenti pliocenici sono formati da argille e sabbie di ambiente marino.

Nel pleistocene medio e inferiore si ha subsidenza e ritorna quindi il dominio marino, infatti si sedimentano lentamente argille marine (tranne che nelle zone più elevate che corrispondono agli alti strutturali di Consandolo, Montalbano e Casaglia).

Nel pleistocene medio e superiore le facies lagunari e continentali testimoniano, dapprima subsidenza con sedimentazione attiva, e poi il ritiro del mare a più riprese (Bondesan e Castellani, Masè 1983). In seguito si ha la regressione Wurmiana (ultima era glaciale) con conseguente sedimentazione continentale (argille, sabbie e livelli torbosi) e quindi la trasgressione olocenica interesserà la parte orientale della struttura, che sarà in subsidenza relativamente all'alto strutturale della dorsale.

#### INTERPRETAZIONE DELLE LINEE SISMICHE.

Dal punto di vista tettonico il quaternario mostra ondulazioni accentuate soltanto fino al pleistocene medio superiore. Ad ogni modo nella linea sismica Varignana-Ferrara, pare che nella zona tra Monestirolo e Ferrara vi siano strutture quaternarie cuneiformi che potrebbero far supporre ad attività quaternaria (Castellarin et al. 1985).

Inoltre nella stessa linea sismica, poco a N di Ferrara, vi è una possibile struttura a triangolo di carattere compressivo (Farinatti 1990, Vignocchi 1991).

Una maggiore testimonianza dell'attività quaternaria (olocenica ?), è data senza dubbio dallo spostamento dell'alveo principale del Po verificatosi nel XII sec. d.C.

con la rotta di Ficarolo. Prima di tale spostamento, l'alveo attraversava la zona della dorsale tra Ficarolo e Ospitale di Bondeno; in seguito sono stati invano compiuti dei tentativi per riportare il fiume nell'antico alveo, ma il Po si è sempre mantenuto nelle zone più ribassate.

D'altra parte, con le livellazioni effettuate dalla prima rete altimetrica nazionale dell'IGM (1978-1900), e poi con quelle effettuate dalla seconda rete altimetrica nazionale (1942-1956) e infine con le livellazioni fatte per conto del Comitato per la Difesa di Venezia nel 1970, si è riscontrato un movimento di subsidenza generale e differenziale, secondo cui l'alto di Casaglia si sarebbe ulteriormente sollevato rispetto al resto della zona in esame. Ecco quindi che da recenti studi sulla neotettonica (Bondesan e Castellani) e dai dati sismici (Agip, carta dei riflettori) si deduce la presenza di una faglia trascorrente, a direzione NE-SW, probabilmente ancora attiva.

Non è comunque trascurabile il fatto che tali movimenti reciproci siano almeno in parte dovuti al costipamento differenziale, causato dalla diversa potenza della coltre alluvionale.

Dall'esame della linea sismica passante per l'alto strutturale di Casaglia, sembra verosimile una struttura tipo pop-up e quindi delimitata da 2 faglie inverse; questa interpretazione sarebbe in accordo con l'ambiente tettonico in cui si è formata, che è di tipo compressivo.

In genere la deformazione quaternaria, a letto della deposizione, è abbastanza blanda e a tetto la superficie è tabulare.

Gli accavallamenti più vecchi sono a sud, mentre i più recenti sono a nord del cuneo di accrezione, quindi una eventuale attività quaternaria sarebbe logico aspettarsela proprio nella zona della dorsale. Inoltre risulta abbastanza chiaro dalle evidenze delle linee sismiche, che i piani di scollamento sono sempre più ripidi via via che si procede verso sud. Tutto ciò confermerebbe il fatto che a nord si trovano gli accavallamenti più giovani.

Per quanto riguarda i rigetti, il piano principale di sovrascorrimento fa registrare un rigetto di almeno 2800 m, in quanto si ritrova il Cretaceo sotto la Dolomia Principale (Trias); per quanto riguarda il quaternario si ritrovano rigetti sensibilmente minori, ma comunque molto marcati: basti pensare che nel pozzo Casaglia 1 si hanno 200 m di potenza della coltre alluvionale, mentre nel Ferrara 1 si ha una potenza di 900 m.

#### CONCLUSIONI.

In conclusione è facilmente spiegabile la causa dei terremoti distruttivi che hanno colpito Ferrara e provincia tra il '500 e il '600; da notare inoltre che dal punto di vista geologico il periodo di 3-400 anni che ci separa da questi eventi è nullo. La struttura della dorsale è da considerarsi attiva a tutti gli effetti.

D'altra parte si è visto anche da una analisi di tutti i dati e le evidenze esistenti che la possibilità che si verifichi un evento sismico di grossa portata non è del tutto remota.

**EVENTI SISMICI REGISTRATI NELLA ZONA DI FERRARA NEGLI ULTIMI DUE ANNI.**

Dr. Geol. Lorella Dall'Olio, Libero Professionista, Ferrara.

Vengono presentati alcuni dati relativi ad eventi registrati dalla rete di monitoraggio microsismico che sta operando da circa due anni sul territorio Ferrarese circostante l'area geotermica di Casaglia.

L'impianto di monitoraggio, inserito nel "Progetto Geotermia Ferrara" è stato realizzato dal Comune di Ferrara, con il contributo del Progetto Finalizzato Energetica 2 del CNR/ENEA e la collaborazione scientifica dell'Università di Trieste. L'iniziativa si fonda sulla ricerca geofisica applicata e finalizzata al settore minerario e nasce dalla consapevolezza di dover affrontare con cautela il problema della reiniezione dei fluidi geotermici nel sottosuolo, non trascurando l'aspetto della interazione con la struttura geologica che ospita il giacimento (variazioni dei parametri termo-fluido-dinamici del sistema: pressione, temperatura, densità del fluido; alterazione dell'equilibrio tensionale) e della conseguente, possibile, generazione di microsismicità indotta. La rete sismometrica, di tipo locale, mantiene sotto controllo la parte centrale e sommitale della Dorsale Ferrarese, dove si localizza il bacino geotermico. Tale struttura che interessa il sottosuolo di tutto il territorio ferrarese è caratterizzata da alcuni elementi strutturali che evidenziano attività geologica recente (neotettonica Pliocenico-Quaternaria) ed ha manifestato, in tempi storici, sismicità di grado non trascurabile. Si impone pertanto l'esigenza del controllo sismico, sistematico, del territorio, di per sé vulnerabile, in quanto densamente urbanizzato e destinato allo sviluppo industriale.

La rete si compone di 6 stazioni di rilevamento distribuite su un'area di 100 Km<sup>2</sup> attorno ai pozzi geotermici. Ciascuna stazione è dotata di geofoni (sensori che rilevano la velocità di spostamento del suolo) calati in pozzi profondi dai 15 ai 60 m (per migliorare il rapporto S/N), di condizionatori del segnale, e di un sistema di digitalizzazione e trasmissione radio per l'invio dei segnali, acquisiti dalle stazioni remote, al centro di raccolta ed elaborazione dati che ha sede alla Centrale del teleriscaldamento di Cassana. Qui sono in funzione apparati per la registrazione dei segnali su diversi supporti (analogici e digitali), tra cui un sistema integrato HW-SW per il rilevamento e l'elaborazione automatica degli eventi sismici.

Nel complesso la rete, interamente digitale, è caratterizzata da frequenza di campionamento di 80 c/s e da risposta lineare nel campo di frequenza 2 - 26 Hz; la dinamica è di 96 dB e la risoluzione è di 0.010 mV ( $6 \cdot 10^{-5}$  mm/s), che corrisponde a magnitudo locali dell'ordine di -1 (sensibilità teorica del sistema). La magnitudo realmente risolvibile, data la distribuzione delle stazioni, risulta influenzata dal livello di rumore microsismico dei siti,

provocato dalla forte antropizzazione dell'area e dalle particolari condizioni geologiche dei terreni superficiali. Con la configurazione adottata il sistema di monitoraggio risulta in grado di rilevare sismi, all'interno della rete, di magnitudo minima intorno a 1 con rapporto S/N ottimale su almeno 4 stazioni. Questo requisito della registrazione è indispensabile per poter ottenere il calcolo dell'ipocentro con il programma HYPO (Lahr, 1980) di cui è dotato il sistema. Per la dinamica del sistema si è valutato che esso verrebbe saturato per eventi locali di magnitudo superiore a 3.5.

La verifica delle possibilità del sistema conferma la reale validità della scelta operata per garantire una efficace sorveglianza della microsismicità sul campo geotermico. La rete si è inoltre rivelata un'importante strumento informativo per lo studio del comportamento sismico generale della zona ed altresì per il controllo strumentale della sismicità naturale che interessa il territorio ferrarese, permettendo di evidenziare la ricorrenza di terremoti anche di bassissima energia e di verificarne le caratteristiche, attraverso l'analisi e l'elaborazione dei sismogrammi registrati.

La rete sismica è operativa a tutti gli effetti dal giorno del collaudo avvenuto il 19/12/90. La gestione è affidata al Servizio Difesa Del Suolo e Protezione Civile del Comune di Ferrara.

Nei primi due anni di attività la rete ha permesso, in primo luogo, di verificare le caratteristiche del rumore microsismico ambientale generale dell'area, e del modo di vibrare dei terreni locali sottoposti a varie sollecitazioni, naturali e antropiche; ciò è servito ad elaborare criteri per riconoscere ed eliminare gli "eventi spuri" individuandone le sorgenti.

In condizioni di relativa quiete, di notte o quando il segnale è omogeneo su lunghe finestre temporali, nell'area di Casaglia, il suolo vibra tipicamente nel range di frequenze 2-4 Hz, con andamento a campana centrato sui 2.6 - 3 Hz; le ampiezze invece sono più distribuite, variando in funzione del sito e della fascia oraria giornaliera. Le sorgenti di "eventi spuri" che più frequentemente si sono manifestate nell'area sono: movimento di mezzi pesanti, onda d'urto provocata da aerei supersonici (o da.....meteoriti! registrazione del 20/01/92 ore 01:36), brillamento di cariche per prospezione sismica del sottosuolo.

La rete ha quindi rilevato una serie di eventi sismici sia locali che regionali. In particolare a livello locale le registrazioni più significative effettuate dalla rete riguardano i seguenti eventi:

REGISTRAZIONE	LATITUDINE	LONGITUDINE	PROFONDITA'	MAGNITUDO
19/12/90 16:21	44N53.85	11E23.74	3.2 km	2.1
02/10/91 20:11	44N55.30	11E29.34	5.0 km	2.5
02/10/91 20:54	44N55.09	11E29.21	4.5 km	1.0
10/03/92 07:13	44N57.18	11E26.61	3.1 km	1.5

Il primo evento risulta localizzato poco a NW di Bondeno, sulla Dorsale Ferrarese a circa 12 Km dal centro rete. Esso è stato registrato con buon rapporto S/N sulle tracce di tutte le stazioni; è stato quindi possibile rilevare con accuratezza i tempi di arrivo della fase P su tutte e della fase S sulla stazione 3D. La scossa è stata avvertita in diverse località in un raggio di 4-5 km. L'ipocentro calcolato ricade grossomodo al centro dell'area.

Il 2/10/91 un'altra scossa viene avvertita in molte località nel ferrarese. Viene rilevata dal sistema che localizza la sorgente circa 7 Km dal centro rete verso Nord-ovest, nei pressi di Gaiba. Dopo circa 50 minuti vi è una replica con energia molto minore (magnitudo 1); non è avvertita dalle persone, non è rilevabile nemmeno dai sensori della rete nazionale. La qualità della registrazione effettuata dalla rete microsismica è buona su tutte le stazioni. La forma del sismogramma, pur con valori di ampiezza assai minori, è molto simile a quella dell'evento precedente. I due epicentri risultano praticamente coincidenti.

Nel 1992 la rete rileva ancora un evento locale, questa volta con epicentro nei pressi di Ficarolo. La registrazione evidenzia che alla stazione più lontana (S.Martino) l'onda risulta quasi completamente attenuata. La magnitudo è 1.5.

Gli eventi locali registrati dalla rete si localizzano ad una certa distanza dai pozzi geotermici e si sono verificati sia in presenza che in assenza della attività estrattiva. Non si localizzano eventi in prossimità dei pozzi. Ciò permette di escludere, fino ad ora, l'esistenza di una correlazione causa-effetto tra evenienza sismica e attività geotermica.

Sebbene i dati siano in numero decisamente insufficiente per tentare qualsiasi interpretazione sulla struttura sismogenetica, (occorrono tempi di osservazione molto più lunghi), essi indicano, comunque, la presenza di un'area sismicamente attiva, immediatamente a W-NW del campo geotermico (zona di Ficarolo-Bondeno-Finale Emilia); si tratta di una sismicità di bassa energia, con eventi in numero limitato ed isolati nel tempo che comunque conferma la necessità del controllo sismico del campo geotermico, poichè esso risulta inserito in uno "scenario" geodinamico complesso, ancora in evoluzione. Nel contempo sarebbe utile per una migliore localizzazione degli eventi potenziare la rete con l'installazione di almeno due ulteriori stazioni a NW, a comprendere la zona dove si è manifestata la sismicità descritta.

Degli eventi verificatisi, soltanto quelli di magnitudo intorno a 1 risultano non essere percepiti dalle persone; relativamente al comportamento sismico generale dell'area è possibile, quindi, ipotizzare una buona propagazione delle onde sismiche nei terreni attraversati senza escludere effetti legati ad amplificazione locale.

La rete sismica ha rilevato anche una serie di eventi di tipo regionale. Le onde generate da terremoti di magnitudo medio-bassa, (2.5-4.5) con ipocentri distanti anche 200 km, verificatisi in Trentino, in Friuli, e nell'Appennino

settentrionale, raggiungono il territorio ferrarese, mantenendo un livello energetico distintamente rilevabile dai sensori. Si può intuire quindi come terremoti di grado elevato, che dovessero verificarsi nelle suddette aree notoriamente sismiche, potrebbero causare sollecitazioni dinamiche di un certo rilievo anche nelle nostre zone (es. Friuli, 1976).

A parità di accelerazione prodotta da un terremoto ad una certa distanza dall'epicentro, si hanno effetti diversi sulle strutture in funzione della natura del sottosuolo e dei terreni superficiali.

I sedimenti alluvionali recenti del ferrarese, costituiti da alternanze di terreni sabbiosi, limosi e argillosi, poco consolidati e saturi, possono dar luogo a fenomeni di instabilità poichè, già dotati di scadenti caratteristiche meccaniche, in condizioni dinamiche sono suscettibili di liquefazione, cioè di perdita improvvisa e totale di resistenza. La situazione stratigrafica della coltre alluvionale, caratterizzata da lenticolarità degli orizzonti e da morfologie sepolte con contatti fra terreni a diverso comportamento sismico, può inoltre produrre localmente effetti amplificativi delle onde sismiche (risposta del sito).

La vibrazione impartita ad un punto del suolo da un certo evento sismico dipende, quindi, dalle caratteristiche della sorgente, dal cammino percorso tra sorgente e punto di registrazione e dal modo di vibrare del singolo sito. Ai fini edificatori in mancanza di dati diretti si fa riferimento, in genere, ad accelerogrammi di terremoti campione spesso registrati in aree geologicamente molto diverse: con una rete stabile è possibile disporre, di registrazioni locali di un dato terremoto, e, quindi, all'occorrenza, dello spettro di risposta reale dei siti.

La buona qualità delle registrazioni di eventi regionali determina, infine, l'interesse scientifico di inserire la rete di Ferrara in un sistema di controllo territoriale di più ampio respiro.

La rete sismica nazionale, attivata da circa un decennio dall'Istituto Nazionale di Geofisica e composta da circa 70 sensori distribuiti sul territorio nazionale, nella zona della Pianura Padana ha una copertura limitata di stazioni. Le informazioni fornite dalla rete locale ferrarese acquisiscono pertanto un ruolo fondamentale in relazione allo stato delle conoscenze in merito alla sismicità del nostro territorio, come di quella regionale. Lo stesso Istituto Nazionale di Geofisica, riconosciuto dalla recente legge sulla "Protezione Civile" (L.225/92, art.11) come organismo di supporto tecnico-scientifico, ha manifestato vivo apprezzamento per il livello tecnologicamente avanzato e per l'efficienza dell'impianto, nonchè il particolare interesse a collaborare con il Servizio Comunale, proponendo addirittura la installazione di una stazione della propria rete nel Comune di Ferrara, collegata direttamente alla centrale di Casaglia.

## GENESI E RISPOSTA GEOTECNICA DEI TERRENI RECENTI DEL FERRARESE

Dr. Geol. Mariantonietta Sileo - libera professionista  
SILGEO - Ferrara

Il territorio in esame rientra nel settore centro-orientale della Pianura Padana, che rappresenta una delle principali unita' morfologiche della penisola. Dal punto di vista geologico, la Pianura Padana corrisponde ad un grande bacino di sedimentazione quaternario, ma gia' del Terziario essa costituiva la fascia mediana di un bacino di sedimentazione ancora piu' vasto, comprendente anche gran parte dell'Appennino e parte delle prealpi (Eni, 1969).

I sedimenti terziari sono interessati, nella zona ferrarese, da quella particolare struttura tettonica denominata Dorsale Ferrarese, disposta in senso WNW-ESE, con orientamento appenninico. La dorsale, con una serie di pieghe associate a faglie, forma nel complesso una struttura fortemente sollevata che ha condizionato l'andamento dei depositi successivi.

A sud della dorsale si individua il bacino emiliano-romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente, cosi' come a nord, verso la fossa padano-adriatica. Ad est, in corrispondenza della dorsale, il Pliocene sembra essere assente o per mancata deposizione o per erosione (Bondesan et al., 1980).

L'ambiente di deposizione in eta' pliocenica e' di tipo marino, con terreni costituiti da alternanze di sabbie e argille; nelle zone strutturalmente ribassate e nella parte bassa della serie, prevalgono i sedimenti sabbiosi, mentre nella parte alta e nelle aree in rilievo prevalgono i sedimenti argillosi.

Passando al Quaternario, il Pleistocene inferiore e' caratterizzato da argille sabbiose di ambiente ancora marino, mentre nel Pleistocene superiore a facies argilloso sabbiose marine si iniziano ad alternare terreni di ambiente lagunare e poi continentale.

Il Pleistocene medio-superiore ha subito un generalizzato movimento di subsidenza con sedimentazione molto attiva e ritiro del mare a piu' riprese.

I fenomeni della subsidenza della nostra pianura, problema tanto discusso ed oggetto di continuo approfondimento, possono essere suddivisi in due grandi categorie: quelli naturali, dovuti cioe' a movimenti tettonici e/o costipamento dei sedimenti di piu' recente formazione provocato dal loro stesso peso, (con velocita' dell'ordine dei 3 mm/anno) e quelli antropici, dovuti in particolare ad estrazione di fluidi dal sottosuolo (con velocita' di circa 4 cm/anno, per esempio, presso Cento negli anni tra il 1952 ed il 1970) (Bondesan et al., 1986).

Tornando alla descrizione in ordine di tempo degli eventi genetici connessi alla Pianura Padana, nell'Olocene i sedimenti sono di origine continentale e sono rappresentati da alternanze di argille piu' o meno sabbiose, sabbie e livelli di torba. Il paesaggio, a partire dal Pliocene, e' dunque andato via via modificandosi, sino a raggiungere la situazione morfologica attuale.

A questo inquadramento generale sulla genesi e sulle tipologie dei terreni plio-quadernari che caratterizzano il territorio ferrarese, va aggiunto che l'assetto morfologico attuale e' anche il risultato delle divagazioni dei fiumi e degli espandimenti dei relativi materiali alluvionali sul territorio.

La dinamica di un corso d'acqua, antico e recente, e' caratterizzata da fasi di erosione, trasporto e sedimentazione distribuiti diversamente nel tempo e nello spazio.

I fiumi che percorrono una zona di pianura hanno generalmente una bassa velocita' di deflusso e quindi una scarsa capacita' di trasporto; innescandosi un processo di progressivo deposito di sedimenti in carico, il corso d'acqua tende a sopraelevarsi rispetto alla pianura circostante. In occasioni particolari di piena, si possono verificare fenomeni di rotta con conseguente fuoriuscita ed espansione delle acque fuori alveo.

Le acque, in questa fase, perdono sempre piu' velocita', sedimentando i materiali piu' fini (limi ed argille) nelle zone interfluviali. Qui i sedimenti sono maggiormente costipabili rispetto ai materiali in alveo e tale fatto determina una ulteriore accentuazione del dislivello tra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

Inoltre va tenuto presente che i fiumi tendono a divagare nella pianura che si accresce cosi' sia verticalmente (successivi cicli di colmata) che orizzontalmente (spostamento degli alvei).

In questo quadro evolutivo si spiegano quindi oltre che le variazioni altimetriche in zone di pianura, visualizzabili con un'analisi del microrilievo, anche le continue e repentine variazioni di facies sia in senso verticale che orizzontale.

Risulta dunque impensabile, per una corretta pianificazione del territorio, prescindere dalla conoscenza di una serie di tematismi quali l'idrogeologia, la geomorfologia, la natura dei terreni superficiali e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni stessi.

Una prima analisi a grande scala permette infatti di creare una serie di carte tematiche di base che possono servire da supporto per delle scelte convenienti e mirate alla difesa e tutela del suolo.

In questa sede ci si vuole soffermare in particolare sui problemi relativi alle risposte fisiche-meccaniche dei terreni. Il primo tra tutti riguarda proprio l'oggettiva discontinuita' laterale e verticale dei tipi litologici: questa situazione di fatto rende indispensabile, per ogni caso che si proponga al Tecnico, una perfetta conoscenza dei terreni da investigare e presuppone dunque anche una serie di indagini specifiche. E' esperienza comune oramai che quanto puo' essere vero in un certo punto, puo' variare completamente anche a distanza di metri.

E' evidente anche che a diversi tipi di terreno corrisponderanno diverse risposte fisiche e meccaniche. Si avranno anisotropie per quel che riguarda il coefficiente di permeabilita', ma anche differenze sulle consistenze dei terreni, sul grado di compressibilita' e sui tipi di cedimenti. E' sempre esperienza comune, per esempio, che a parita' di carico ammissibile per una certa area e per una certa tipologia di costruzione, si possano valutare cedimenti differenziali anche notevoli.

Di seguito viene riportato un esempio di studio geotecnico a grande scala eseguito sul territorio del Comune di Ferrara e facente parte di uno studio geologico coordinato per la pianificazione territoriale del comune di Ferrara (a cura di G. Mase' in G. Bartolomei et al., 1975).

In questo lavoro si e' proceduto ad una campionatura dei terreni sino a 10 metri di profondita' eseguendo 112 trivellazioni distribuite sul territorio secondo una maglia di 4 kmq.; inoltre in 85 di questi punti di prova e' stata misurata la resistenza alla punta dei terreni con penetrometro.

I campioni raccolti sono stati classificati da un punto di vista geotecnico con determinazione delle principali proprieta' indici. Sono state individuate 5 classi, in relazione all'indice di compressione edometrico  $C_c$  (valutato attraverso  $C_c = a (W_l - b)$  con  $a = 0.007$  e  $b = 5.3\%$ ) e della consistenza relativa delle terre  $C_r$  (valutata attraverso  $(W_l - W)/I_p$ , dove  $W_l =$  Limite Liquido,  $W =$  contenuto d'acqua,  $I_p =$  Indice di plasticita' =  $W_l - W_p$ , con  $W_p =$  Limite Plastico).

Le classi sono riassunte nella seguente tabella:

CLASSE	$C_c$	GRADO DI COMPRESSIBILITA'	$C_r$	GRADO DI CONSISTENZA
I	0.1-0.3	basso	>1.1	compatto
II	0.3-0.5	medio basso	1.1-0.8	medio
III	0.5-0.7	medio	0.8-0.5	molle
IV	0.7-0.9	alto	0.5-0.2	molto molle
V	>0.9	altissimo	<0.2	inconsistente

I terreni rappresentati nel territorio comunale sono da classificarsi in generale, secondo l'Autore del lavoro citato, come "terreni coesivi teneri", con comportamento meccanico caratterizzato da:

- basse resistenze al taglio;
- influenza delle velocità di applicazione dei carichi sulla resistenza al taglio iniziale;
- incremento della resistenza al taglio con il procedere della consolidazione;
- variazioni del coefficiente di permeabilità e dei processi di consolidazione;
- possibili cedimenti differenziali notevoli;
- consolidazione molto prolungata nel tempo;
- livello statico della falda freatica prossima al piano campagna.

Da questa situazione generale si evince che soprattutto la III, IV e V classe di zonizzazione richiederanno tecniche costruttive più impegnative e conseguentemente più onerose.

Dalla carta di sintesi del lavoro citato si osserva che già a grande scala vi è una notevole variabilità dei terreni dal punto di vista della compressibilità e consistenza e questo quadro d'insieme rispecchia situazioni di discontinuità che si possono manifestare anche a piccola scala e maggior dettaglio. Inoltre visto che esistono dati storici su terremoti già avvenuti, che la dorsale ferrarese ha dimostrato di essere ancora in evoluzione in quanto esiste una documentata sismicità strumentale e che siamo circondati da zone sismiche con potenziali energetici elevati che interessano anche il nostro territorio, non va sottovalutata l'interazione tra sollecitazioni dinamiche e caratteristiche fisico-meccaniche dei nostri terreni che per la loro natura sono già fortemente penalizzati da un punto di vista geotecnico.

In conclusione, alla luce di questi elementi, si ritiene dunque consigliabile sempre, nell'approccio ad un progetto di costruzione, di piccola entità e a maggior ragione per grandi opere, una analisi accurata del terreno di fondazione, come del resto previsto dalla legislazione nazionale (D.M. LL.PP. 11/03/88). È dunque importante avere a disposizione studi a grande scala finalizzati all'inquadramento del territorio, e buona norma avvalersi di fonti bibliografiche, ma è indispensabile avere dati originali e precisamente riferiti all'area in esame.

**PROBLEMATICHE FONDAZIONALI  
ED INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURE**

Ing. Giuliano Mezzadri- Libero Professionista  
s.r.l. Mezzadri-Società di Servizi Professionali  
s.r.l. Elletipi- Laboratorio prove materiali,  
controllo e monitoraggi.

L'insediamento dell'uomo nel territorio ferrarese è stato sempre ampiamente condizionato dalle caratteristiche geologiche della zona; il fiume ha determinato condizioni favorevoli alla crescita di un agglomerato urbano; le varie opere dell'uomo per rendere l'ambiente idoneo alla sua vita nelle sue forme via via più evolute, hanno trovato però condizioni limitative delle caratteristiche geotecniche dei luoghi; la presenza di terreni di recente sedimentazione, tuttora in attiva evoluzione geologica, con vistose variazioni ed alternanze prodotte dai "capricci" del fiume, ha costituito una limitazione, allo sviluppo della città.

Si intende con queste note analizzare una sintesi sui rapporti fra l'aggregato urbano ed il suo sedime geologico, sulle relative influenze ed evoluzioni, con gli elementi acquisiti in questo ultimo periodo in cui sono cresciuti l'interesse e le cosenze sul recupero del patrimonio architettonico e ciò per eventuali spunti sui modi di affinare i nostri metodi per la migliore conservazione di questo patrimonio.

Non appare necessario entrare in particolari esami dal punto di vista geotecnico dei terreni interessati dal nucleo urbano, ma si ritiene sottolineare i seguenti punti:

a) per la profondità utile per le opere di fondazione si hanno terreni di recente sedimentazione con stratificazioni assai alternate dai coesivi, ai limosi fino agli incoerenti con granulometrie fino alla sabbia, e con frequenti intercalazioni di strati organici.

b) Le stratificazioni hanno vistose variazioni laterali con estremi che vanno da presenza di sabbie fini o debolmente limose, continue, discretamente addensate fino a mt. 20+25 (zona dell'antico "Polesine"), sino a presenza di forti stratificazioni di argille organiche intervallate da terreni coesivi modestamente consolidati (zone a sud del fiume); e con conseguenti vistose variazioni di falda.

c) I terreni vanno considerati ancora in evoluzione geologica specie se rapportati alle variazioni delle falde per i vari periodi stagionali e per le variazioni delle entità delle precipitazioni annuali.

E' naturale che un tale quadro abbia prodotto effetti sulle strutture elevate sia nel breve che nel lungo periodo, effetti che si sono sovrapposti ed ampliati per la sovrapposizione nel tempo di opere diverse, e per le modificazioni geomorfologiche.

Le distorsioni strutturali conseguenti possono essere raggruppate per categorie ed analizzate schematicamente:

a) Distorsioni su ampia scala

Le strutture edilizie nel corso dei secoli sono venute via ad allargarsi in un continuo definito unicamente dai tracciati del sistema viario. Questa continuità strutturale ovviamente non è compatibile con le forti variazioni laterali stratigrafiche geotecniche, associate a cedimenti per consolidazione non modesti. Ne conseguono "cerniere" nel tessuto edilizio ed alcune volte fratture strutturali in evoluzione. Esempi si possono ritrovare nelle connessioni strutturali su via Capo Delle Volte ...

b) Distorsioni strutturali nei complessi monumentali

Le grandi strutture di complessi storici quali chiese, palazzi e residenze ducali, incidono sui terreni di fondazione con sollecitazioni locali interessanti i primi strati di gran lunga superiori (5+10 volte) rispetto a quelle che oggi consideriamo ammissibili; anche gli strati più profondi fino a 10+15 mt. sono cimentati da sollecitazioni tali da indurre cedimenti differenziali che inducono distorsioni sulle strutture tutt'ora in evoluzione; le strutture murarie verticali assorbono in buona misura gli effetti; più critica è apparsa la situazione per le strutture orizzontali spingenti: frequenti i casi di crolli di strutture a volte da collegarsi alle cause citate. Alcuni esempi si possono ritrovare nella chiesa di S. Cristoforo alla Certosa, nella chiesa di S. Maria della Consolazione in via Mortara, nel Castello Estense.

c) Distorsioni su torri e campanili

In questo caso i fenomeni distorsivi assumono importanza particolare per la stabilità e le condizioni di sicurezza, proprio in relazione alla lenta, prolungata e non conclusa evoluzione dei cedimenti per consolidazione dei terreni.

bb Più importante in questo caso il problema della analisi del fenomeno e delle previsioni.

Per esempio possiamo riferire dei casi del campanile di Dogato, di S. Benedetto, di S. Francesco.

d) Distorsioni per fattori antropici

Non solo la natura ma anche l'uomo ha determinato le condizioni per accrescere i fenomeni di cedimenti differenziali. Sono problemi di dettaglio, e molte volte non rilevanti ma certamente assai diffusi; ci si riferisce al sistema delle fosse e pozzi neri, ai pozzi di emungimento e, più recentemente, al sistema di distribuzione idrica e di smaltimento dei rifiuti liquidi, che spesso utilizzano gli antichi percorsi di canali di superficie, non sempre coincidenti con l'impianto viario.

(Alcune immagini su distorsioni e su piante antiche di fognatura sono significatv.e).

#### e) Distorsioni per sovrapposizione strutturale

Assai interessante e curioso è il caso particolare della parte di città a sud-ovest ove gli eventi storici hanno stratificato strutture nuove su un sedime delle strutture difensive della "Fortezza" composte di mura di cinta, rilevati, fossati, spianati e tombati a metà del secolo scorso e dall'inizio del secolo nuovamente edificati, senza ricorso a fondazioni profonde; od indagini particolari, con perdita della memoria storica delle preesistenze; la sovrapposizione delle piante è assai interessante: vistosi gli effetti anche su strutture in c.a. di questo secolo, con fenomeni in evoluzione vivace, in alcuni casi con riflessi sulle condizioni di sicurezza.

#### f) Nuove realizzazioni

Proprio dall'analisi del comportamento dei fabbricati antichi su questo tipo di terreno deve scaturire l'impegno per un attento ed adeguato studio geotecnico per le nuove realizzazioni.

E' utile ricordare che gli "incidenti" di errori di scelta nella realizzazione di questi ultimi anni sono stati frequenti ed in qualche caso dannosi. E' altresì interessante sottolineare come la tipologia dei terreni può consentire anche scelte idonee e non sempre onerose: ad esempio strutture multipiano ad opportuna rigidezza rispondono in modo adeguato e migliore rispetto alle unità monofamiliari tipo case a schiera.

Una corretta e completa indagine geotecnica potrà contribuire in modo determinato per scelte strutturali adeguate, in un rapporto proficuo interdisciplinare fra progettisti.

Non va escluso un affinamento delle tecniche di indagine e di interpretazione delle prove: in molti casi le previsioni geotecniche per carichi ammissibili e per cedimenti sui modelli consueti portano a valori assai più pessimistici rispetto a quanto poi viene rilevato: questo determina una sfiducia nel contributo geotecnico e non migliora quella "cultura" geotecnica che è stata sempre assai lontana .... dal territorio ferrarese.

Certamente il tema non va affrontato unicamente come "carico ammissibile" ma più compiutamente come cedimenti assoluti, differenziali, evolutivi con le falde e previsione dei tempi di esaurimento.

Ed è proprio su questi temi che vi sono ancora ampi spazi di approfondimento; basti pensare che frequentemente nel patrimonio storico si trovano casi in cui il carico sul terreno supera di 2+3 volte il valore che oggi viene valutato; ed ancora per casi particolari si raggiungono seppur per superfici non molto estese valori fino a 10 volte; ci si riferisce in particolare alle torri e campanili; ed ancora si può considerare che l'edificazione di maggiore massa sull'asse Viale Cavour è stata affrontata con fondazioni a platea superficiale od a platee con pali nelle stesse condizioni geotecniche e condizioni strutturali in elevazione, con risultati ugualmente positivi ad oggi. Questi dati devono aprire una fase di approfondimento nella

materia  
con verifica anche su basi statistiche di tutti i "modelli"  
realizzati.

Le considerazioni finali da questa analisi panoramica  
possono essere le seguenti:

1) Il sedime geologico del territorio ferrarese è  
particolare, con forti variazioni, ed una corretta analisi  
geotecnica è fondamentale per le scelte dei siti sul piano  
urbanistico e per la scelta delle strutture.

Ai geologi il compito di affinare i mezzi di analisi  
geotecnica con le previsioni più attendibili sui cedimenti e  
sui tempi di consolidazione.

Agli strutturisti il compito di valutare il comportamento  
complessivo del sistema terreno-fondazione-elevazione, con  
le scelte più opportune sul piano tecnico ed economico.

2) L'approccio sopradetto va orientato in modo specifico per  
il patrimonio storico; la totale sostituzione del sistema  
fondazionale con trasferimento in profondità dei carichi  
comporta oneri tali da poter essere affrontato per pochi  
casi; la soluzione molte volte non è proponibile per  
preesistenze e per recuperi dei piani pavimentali; ed ancora  
in molti casi viene attuato anche se non strettamente  
necessario.

Ecco che l'impegno tecnico dei geologi e degli strutturisti  
diventa maggiore per un migliore affinamento delle  
conoscenze e delle proiezioni sulle evoluzioni per calibrare  
in modo opportuno gli interventi.

L'ausilio che può derivare dai sistemi di controllo  
strumentale e monitoraggi può essere importante unitamente  
alle analisi geotecniche e strutturali per le opportune  
decisioni.

3) Il controllo nel tempo delle evoluzioni dovrà diventare  
una procedura di norma, proprio perchè l'esperienza  
acquisita su dati storici ha rilevato che i fenomeni hanno  
evoluzione che può essere apprezzata soltanto nel medio  
periodo, mentre per accertamenti istantanei o rilievi nel  
preve periodo si possono avere dati insufficienti e perciò  
pericolosi.

Contributi interdisciplinari per un corretto esame di tutti  
gli aspetti tecnici.

4) Ed infine diventa importante la raccolta "a memoria" dei  
dati e dei sistemi di rilevamento per una corretta  
prosecuzione nel tempo dei controlli: in sostanza appare  
opportuna "una cartella clinica" per ogni struttura storica  
che superi il limitato tempo delle generazioni umane.

PROBLEMATICHE GEOLOGICHE CONNESSE ALL'ATTIVITA' SISMICA  
ANCHE DI DEBOLE INTENSITA'

Prof. Vittorio Illiceto

- Docente di fisica terrestre all'Università di Padova
- Delegato Federazione Europea Geologi

Nella proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano, promossa nel 1980 dal CNR - Progetto Finalizzato "Geodinamica" - il territorio ferrarese venne incluso fra le "zone per le quali sono necessarie ulteriori indagini".

E' ben noto d'altronde che sotto l'incalzare degli avvenimenti sismici di quegli anni (Friuli 1976, Irpinia 1980) la riclassificazione sismica è stata basata sullo stato dell'arte di allora e cioè sull'approfondimento in progress delle conoscenze sismiche nell'area italiana.

Il momento non era certo propizio per "ulteriori indagini" e pertanto vennero dichiarate sismiche quelle aree in cui gli studi erano già stati completati o quanto meno si era raccolto sufficiente materiale utile al riconoscimento della pericolosità sismica di quelle aree.

Sempre negli anni '80 alcune Regioni promossero delle Commissioni in vista di una ripresa degli studi ad es. si iniziò la realizzazione di una rete sismica locale da portare in connessione con quelle già esistenti del Friuli e del Trentino.

Il caso Ferrara è singolare poichè la realizzazione della Rete sismica ha avuto come spinta promotrice lo sfruttamento del Campo Geotermico di Casaglia inserita in un contesto tettonico attivo, quale è l'alto strutturale in un contesto tettonico attivo, quale è l'alto ferrarese, e nella potenziale sismicità dell'area.

Senza entrare nel dettaglio di quest'ultimo punto, peraltro già trattato nel corso di questo Convegno, converrà qui ricordare che, in tempi storici, il territorio ferrarese è stato soggetto sia a sismicità propria che indotta da aree sismogenetiche limitrofe quali gli Appennini e le Alpi Orientali.

I terremoti di quest'ultima area sembrano avere una spiccata predilezione per quest'area - basti pensare al forte risentimento registrato durante il terremoto del Friuli 1976.

Ciò sembra essere ripetitivo nel tempo come è dimostrato dalla direzionalità, verso Sud del campo macrosismico dei terremoti Veneti e Friulani.

Le intensità macrosismiche risultano di tutto rispetto poichè sovente raggiungono il VII° Grado della Scala Mercalli.

Se si ricorda che la massima intensità macrosismica attribuita al terremoto di Ferrara del 500 è di VIII° con tendenza al IX°, si può constatare come il territorio ferrarese sia stato attraversato da onde elastiche di intensità più sul medio - alta che modesta.

A ciò va aggiunto che la molteplicità delle sorgenti sismiche produce risentimenti più frequenti che in altre aree quali ad. es. quelle venete in cui la propogazione dei terremoti appenninici risulta molto attenuata.

Entrando nel merito delle problematiche più spiccatamente geologiche converrà ricordare che nel territorio ferrarese il Bedrock è situato a poche centinaia di metri di profondità e ciò, associato alla esistenza di fenomeni di amplificazione locale e dall'altro dalla persistenza di onde elastiche anche di elevata frequenza che attraversano la soprastante colonna di sedimenti recenti non consolidati.

E' ben noto d'altronde che ogni sottosuolo si comporta come un particolare filtro il cui effetto è di congegnare spettri di risposta specifici dei terreni attraversati.

Al di là del loro discusso comportamento lineare verso le maggiori intensità macrosismiche e nella non auspicabile, e comunque non riconosciuta storicamente situazione di Near Field del territorio ferrarese, l'opportunità della rete sismica locale va vista anche come una rara possibilità di avvalersi di spettri di risposta con significato locale piuttosto che far ricorso agli stereotipati spettri attribuiti a condizioni di roccia o sedimento.

L'estrema variabilità orizzontale e verticale del sottosuolo ripropone il tema degli spettri di risposta le cui ampiezze e picchi di frequenza dipendono appunto dalla stratigrafia locale.

Interessante a questo proposito la sequenza di sezioni geologiche del sottosuolo delle città di Palermo e Napoli ed i relativi spettri di risposta dell'accelerogramma calcolato in superficie.

Rimandando in tema spettrale si accenna qui brevemente che spesso situazioni geotecniche impegnative necessitano della adozione di fondazioni su platea e pali i cui comportamenti risultano diversi, in frequenza ed in ampiezza, a seconda del picco di accelerazione del substrato.

Si può osservare che con deboli accelerazioni, come è il caso di Ferrara, aumenti il rapporto fra le densità di potenza dell'accelerazione in superficie ed il picco di accelerazione alla sommità del substrato.

Le frequenze di risonanza si discostano meno rispetto al caso delle maggiori accelerazioni.

Per la comprensione ora del comportamento meccanico del terreno, interessato dalla propagazione delle onde sismiche, converrà inquadrarlo nell'ambito della massima intensità macrosismica prevedibile per il territorio ferrarese.

Ciò comporta una scarsa probabilità che si verificano rilevanti rotture del terreno come pure significativi fenomeni di liquefazione.

Dal punto di vista geotecnico però gli effetti del passaggio di onde sismiche sono assimilabili a fenomeni di degradazione ciclica.

Il terreno, sia coesivo che non, viene sottoposto a carichi ciclici che ne alterano le caratteristiche iniziali quali ad es. nel caso delle argille, si assiste ad una riduzione di resistenza che si evidenzia quando è portato a rottura dopo aver subito una serie di carichi ciclici in condizioni non drenate come pure all'accumulo di deformazioni conseguenti a questi cicli di carico.

Fenomeni analoghi a questi si verificano in off-shore o lungo la linea di costa in cui la stabilità della fondazione viene compromessa dall'azione delle mareggiate.

Per concludere quindi gli effetti della propagazione delle onde sismiche si diversificano in funzione delle impedenze acustiche e dei rilasci differenziali di energia elastica dei vari litotipi incontrati.

Anche rilevati importanti, quali ad es. le maggiori arginature, possono subire processi di decadimento ciclico in funzione della loro composizione granulometrica e dell'incremento dell'accelerazione in virtù delle loro dimensioni.

Pertanto una particolare attenzione al comportamento sismico del sottosuolo e all'evoluzione delle sue caratteristiche geotecniche è doveroso laddove, come è il caso di Ferrara, l'edificato è in buona parte ricco di significato storico ornamentale ma poggiante purtroppo su strutture non idonee ed affaticate dal tempo.

## FERRARA ED I TERREMOTI (storia, attualità, pianificazione)

9,30 Inizio lavori

PRESENZIANO

**Dr. Francesco Ruvineti**  
Presidente Provincia di Ferrara

**Ass. Antonio Fortini**  
Assessorato Edilizia privata  
Comune di Ferrara

**Dr. Geol. Gianfranco Bruzzi**  
Presidente Ordine dei Geologi  
Regione Emilia Romagna

**Dr. Ing. Giuseppe Benedetti**  
Capo Servizio Provincia di Ferrara  
Difesa del Suolo - Reg. Emilia-Romagna

**Dr. Geol. Fabrizio Ardizzone**  
Capo Servizio Difesa del Suolo, Energia  
e Protezione Civile del Comune di Ferrara

**Dr. Arch. Anna Maria Iannucci**  
Soprintendente per i Beni Ambientali e  
Archeologici per le prov. di RA - FE - FO.

coordinatore  
Dott. Geol. Antonio Mucchi  
Presidente dell'Ass. Geol. di Ferrara

ore 10,15

relazioni

INTERVENTI

Alcuni dati storici riguardanti importanti  
eventi sismici avvenuti nella zona  
di Ferrara

Dr. Geol. Gianluca Ferioli

- La struttura profonda del sottosuolo  
di Ferrara: modelli ed interpretazioni  
geologiche

Dr. Geol. Enrico Farinatti

- Eventi sismici registrati nella zona di Ferrara  
negli ultimi due anni

Dr. Geol. Lorella Dall'Olio

- Genesi e risposta geotecnica dei terreni  
recenti del ferrarese

Dr. Geol. M. Antonietta Sileo

- Problematiche fondazionali ed interazione  
terreno-struttura

Dr. Ing. Giuliano Mezzadri

- Problematiche geologiche connesse  
all'attività sismica anche di debole intensità

Prof. Vittorio Illiceto - Docente di fisica terrestre  
all'Università di Padova - Delegato Federazione  
Europea Geologi

ore 12,00

DISCUSSIONE

ASSOCIAZIONE GEOLOGI  
DELLA PROVINCIA DI FERRARA

patrocinio

Provincia di Ferrara  
Comune di Ferrara

Ordine Regionale dei Geologi Reg. Emilia Romagna

CONVEGNO

FERRARA ED I TERREMOTI  
(storia, attualità, pianificazione)

12 Febbraio 1993 • ore 9,30

Sala dell'Imbarcadere  
Castello Estense - Ferrara