

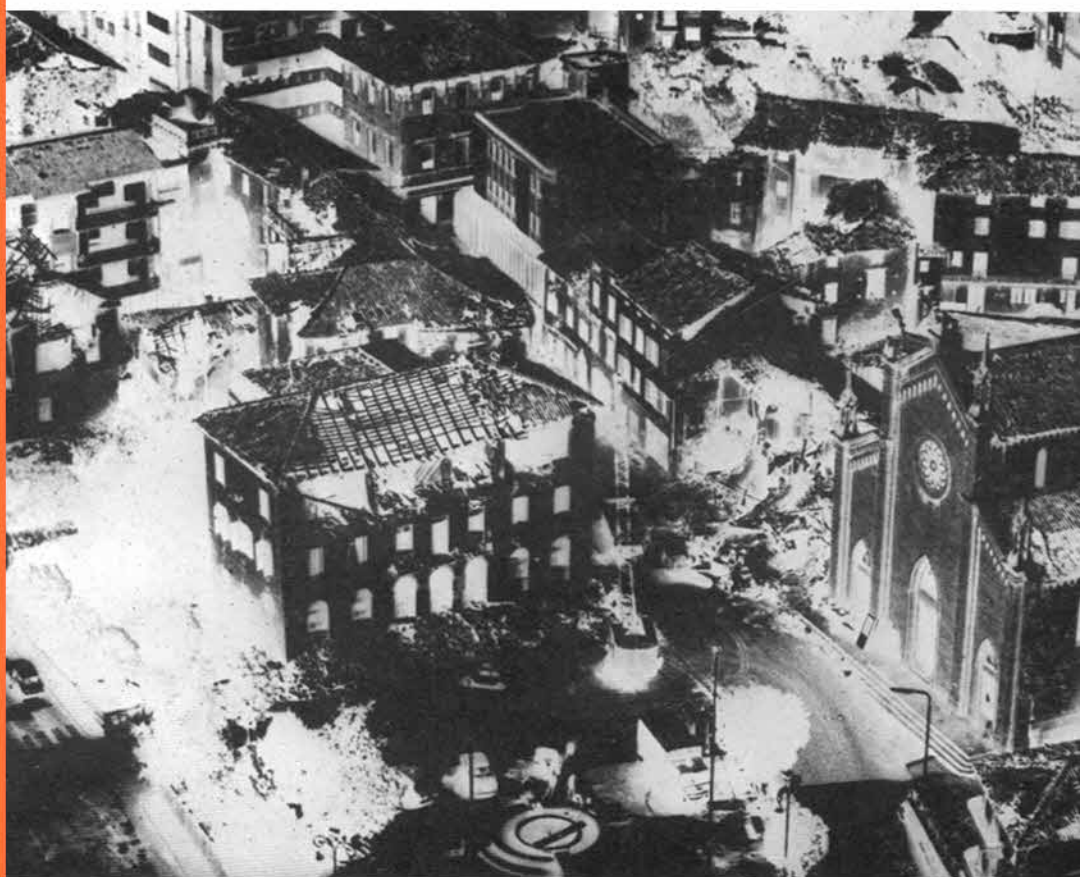


**MINISTERO  
DELL'INTERNO**

SCUOLE  
CENTRALI  
ANTINCENDI  
ROMA

# **SISMA NEL FRIULI**

## **6 maggio 1976**



**Vol. II**



*Elaborazione di Jionathan Big Bear - Orsi Mauro 2017*



# MINISTERO DELL'INTERNO

SCUOLE CENTRALI ANTINCENDI

R O M A

Studio sugli aspetti organizzativi, operativi e tecnici relativi  
all'opera di soccorso effettuata dal Corpo Nazionale VV.F.  
in occasione del terremoto nel Friuli del 6 Maggio 1976.



## PREFAZIONE

*Il massiccio intervento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco con il relativo inserimento nella problematica della Protezione Civile a seguito del terremoto del Friuli fece intravedere l'opportunità che anche i Funzionari Tecnici che in quel momento frequentavano i corsi di formazione presso le Scuole Centrali Antincendi in Roma prendessero visione delle vicende in atto e partecipassero in qualche modo al sistema degli interventi caratterizzanti la « fase operativa » immediatamente messa in opera dopo il verificarsi del sisma.*

*Richiesta ed ottenuta l'approvazione della Direzione Generale a tale iniziativa, alcuni funzionari furono immessi direttamente nei reparti operativi mentre altri — in particolare i 12 ingegneri in prova del R.T.A. — formarono un gruppo che insieme allo scrivente si recò nella zona colpita dal terremoto con lo scopo di acquisire, a contatto con i reparti intervenuti, quegli elementi fondamentali di carattere organizzativo, operativo e tecnico che potessero accrescere la loro formazione professionale attingendo anche dalla « vita vissuta » sul posto il clima e le sensazioni che generano il particolare stato d'animo che costituisce un fattore essenziale nella formazione morale del Vigile del Fuoco.*

*Ciò premesso, la loro permanenza nella zona operativa fu articolata e coordinata per raggiungere, attraverso la diretta esperienza, le finalità sopra indicate. Il compito fu agevolato dalla piena risposta di collaborazione che, ai vari livelli, fu accordata da tutti i reparti e dai funzionari impegnati nella pur gravosa opera di soccorso, sicché fu possibile realizzare, per alcuni giorni, un tipo particolare di formazione e di preparazione del personale diversa da quella ottenibile con i normali schemi scolastici.*

*Per non vanificare, anche parzialmente, un risultato di esperienza e di conoscenza estratto nei giorni di permanenza nel Friuli, ho ritenuto utile che il gruppo dei Funzionari tecnici proseguisse, dopo il rientro alle Scuole Centrali Antincendi il lavoro di rielaborazione degli elementi acquisiti con il duplice scopo di pervenire, attraverso uno studio di gruppo, alla riflessione e alla condensazione dei problemi di carattere organizzativo ed operativo da un lato e dall'altro all'assimilazione, con ulteriore approfondimento, degli aspetti tecnici sugli effetti del terremoto a carico delle costruzioni. In tal modo risulta soddisfatta anche l'esigenza di preparazione in talune materie che costituiscono il programma d'insegnamento previsto per i Funzionari tecnici del Corpo Nazionale VV.F.*

*Le due distinte relazioni di studio esprimono il risultato di questo lavoro di gruppo, un risultato che, pur ottenuto attraverso il necessario orientamento e coordinamento dato dallo scrivente e dal Vice Comandante, vuole essere una autonoma manifestazione di pensiero e di applicazione degli Ingegneri frequentanti il corso di formazione.*

*Posso dare atto dell'impegno profuso da tutti nel portare avanti il lavoro di gruppo, dell'interesse che si è suscitato in loro e della validità, nell'ambito dell'impostazione data inizialmente, del metodo del lavoro di gruppo.*

*La vasta documentazione di diapositive con le quali si è tentato di fissare le numerose situazioni di dissesti statici rilevate sul posto offre poi un apprezzabile bagaglio di immagini, singolarmente significative.*

IL COMANDANTE  
DELLE SCUOLE CENTRALI ANTINCENDI  
(Dott. Ing. Italiano TIEZZI)

## *INTRODUZIONE*

Gli avvenimenti calamitosi che a partire dal 6 maggio 1976 hanno colpito alcuni comuni del Friuli ci hanno consentito di osservare da vicino tutta l'organizzazione operativa del Corpo VV.F. nelle grandi emergenze di « Protezione Civile ». Si sono potuti verificare, in modo diretto, tutti i problemi che un tale tipo di intervento comporta.

Ci siamo potuti anche addentrare nei vari aspetti tecnici riguardanti gli eventi sismici in generale ed in particolare gli effetti che il terremoto ha provocato sui vari manufatti esistenti in zona.

Per comodità di esposizione il presente studio è stato suddiviso in due parti.

Nella prima si è inteso trattare in linea di massima quei problemi inerenti l'organizzazione ed il modo di operare del Corpo Nazionale.

Nella seconda si sono affrontate questioni tecniche concernenti sia la natura, l'origine e lo sviluppo dei terremoti, sia gli effetti degli stessi sui diversi tipi di strutture con descrizione particolareggiata di alcuni casi maggiormente rappresentativi. In allegato a questa parte, ma strettamente complementare alla seconda, si è riportata una documentazione fotografica che mette in evidenza alcune situazioni particolari, per una migliore comprensione di quanto avviene in una vasta zona interessata da un sisma.

Questa documentazione fotografica è stata scelta tra un più vasto assortimento di diapositive che i suddetti fatti del Friuli hanno permesso di realizzare e catalogare.

Il gruppo degli Ispettori in prova:

- Dr. Ing. Ungaro Roberto
- Dr. Ing. Denaro Leonardo
- Dr. Ing. Ciavatta Antonio
- Dr. Ing. Riccio Domenico
- Dr. Ing. Lupori Francesco
- Dr. Ing. Pizzuto Andrea
- Dr. Ing. Aramini Carlo
- Dr. Ing. Malaspina Andrea
- Dr. Ing. Sabatino Aldo
- Dr. Ing. D'Addato Maurizio
- Dr. Ing. Possemato Federico
- Dr. Ing. Smeriglio Iginio

## ***PARTE SECONDA***

**Considerazioni tecniche relative ai terremoti e ai loro  
effetti sulle strutture**



## 2.1 - GENERALITA' SUI TERREMOTI

Col nome di terremoto si intende un rapido e violento stato vibratorio di parti variamente estese della terra che ha origine da cause endogene. Se all'interno della terra si produce una perturbazione dell'equilibrio delle masse con conseguente trasformazione di energia potenziale in cinetica, partono dal punto ove si è generata la perturbazione due tipi di onde sismiche: le onde primarie, che si propagano longitudinalmente, dovute all'elasticità di volume delle rocce costituenti la crosta terrestre; invece nella direzione di propagazione si ha una vibrazione di particelle associata a compressioni e dilatazioni successive, da qui le onde secondarie che si propagano trasversalmente, dovute all'elasticità di forma.

La velocità media apparente di propagazione è funzione delle varie caratteristiche geomeccaniche dei materiali costituenti le rocce sedi di vibrazioni ed è valutabile mediamente sui 9,2 Km/sec per onde primarie e sui 5,6 Km/sec per quelle secondarie. La propagazione di questo stato vibratorio giunge fino alla superficie della terra ove avviene che esso si compone in onde di tipo superficiale, dette onde lunghe, che si propagano piuttosto lentamente (circa 3,5

Km/sec), e che vengono anche chiamate scosse di terremoto. Indipendentemente dalla loro intensità le scosse possono essere classificate in ondulatorie, sussultorie e rotatorie: le prime due si manifestano in senso verticale ed orizzontale e l'altra con moto rotatorio e talvolta vorticoso. La zona all'interno della terra ove si origina la perturbazione viene detta ipocentro, l'effetto del fenomeno dipende in generale dalla profondità di questo: normalmente l'ipocentro non è mai sotto i 300 Km, molto raramente per eventi sismici rovinosissimi, raggiunge la massima profondità sui 700 Km. Il punto sulla superficie terrestre sulla verticale dell'ipocentro viene detto epicentro. Le onde di perturbazione primarie e secondarie partono dall'ipocentro e raggiungono l'epicentro ove si originano le onde superficiali. Le cause endogene che danno luogo ai terremoti possono essere:

- 1) tettoniche (dette anche di dislocazione), dovute a fratture interne della crosta terrestre e si verificano quando viene superato il limite di elasticità dei materiali rigidi costituenti le masse rocciose;

- 2) vulcaniche (dette anche esplosive) se le scosse sono associate ad una eruzione vulcanica;

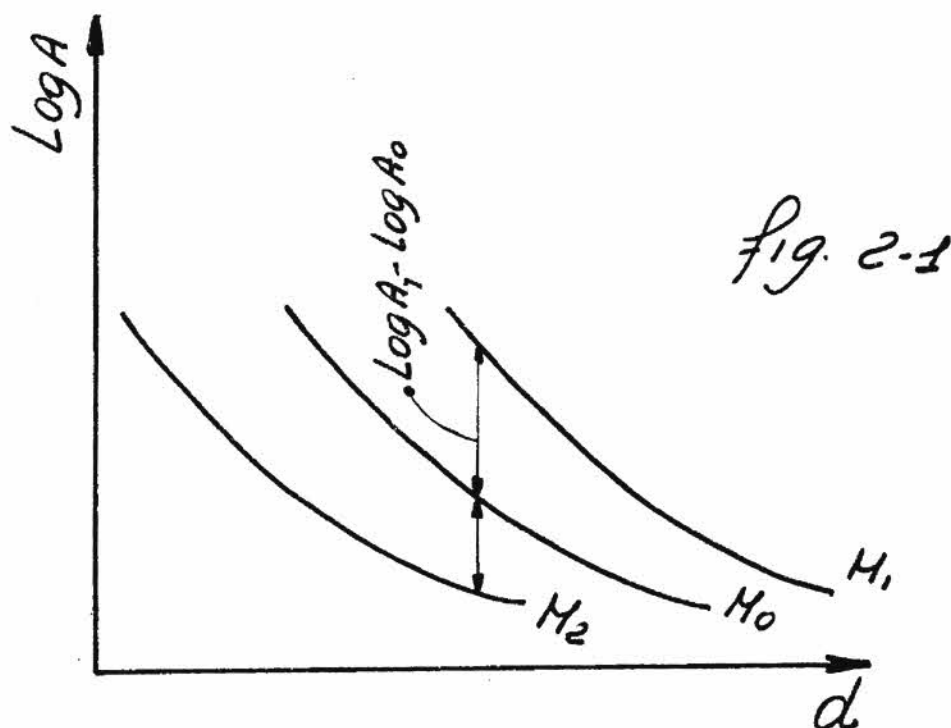
- 3) originate da crollo e sprofondamento, quando in parti sotterranee si determinano cadute di materiali entro vuoti.

Gli effetti sismici sono accompagnati da boati dovuti al rumore delle rocce che si rompono.

Per quantizzare l'intensità di un evento sismico si può procedere o alla compilazione di una mappa degli effetti prodotti sui manufatti, attraverso delle linee isosismiche (circo-scrivono zone entro le quali il terremoto provoca danni comparabili) oppure si può esprimere l'energia meccanica sviluppata dal terremoto.

Gli effetti derivanti dall'evento vengono classificati o attraverso la scala Mercalli (1902) o attraverso le varie sue modificazioni (Mercalli - Cancani - Sieberg, 1923; Mercalli modificata del 1931, o del 1956).

Per classificare invece l'energia associata a un certo evento sismico bisogna considerare la grandezza magnitudo proposta da Richter (1934). Da alcune stazioni di registratori (sismometri) si localizza l'epicentro attraverso il rilievo della ampiezza  $A$  dello spostamento misurato dai diversi strumenti. Si traccia per punti un diagramma cartesiano che ha in ordinate  $\text{Log } A$  ed in ascisse la distanza  $d$  della stazione.



Per  $d = 20 + 30 \text{ Km}$  le curve relative a diversi sismi sono pressappoco parallele tra di loro: quindi per due terremoti la grandezza ( $\text{Log } A_1 - \text{Log } A_2$ ) misurata in una stazione di registrazione risulta indipendente dalla distanza di questa dall'epicentro; perciò si può fissare un evento sismico campione rappresentato da una curva  $\text{Log } A_0 = f(d)$  che viene presa come riferimento. L'espressione  $M = \text{Log } A - \text{Log } A_0$ , indipendente quindi dalla posizione della stazione, viene definita magnitudo.

L'evento sismico campione è stato definito da Richter come quell'evento che produce un'ampiezza massima  $A_0 = 0,001 \text{ mm}$  su un registratore sismometro di Wood - Anderson

standard, che si trovi a 100 Km dall'epicentro. Se quindi un certo evento determina a 100 Km di distanza dell'epicentro un'ampiezza massima pari a 1 mm le sue magnitudo sarà  $Lg 10^3 - Lg 1 = 3$ .

E' difficilmente correlabile la magnitudo di un terremoto con l'intensità Mercalli: un terremoto superficiale in pochi Km può produrre effetti disastrosi se avvertito all'epicentro (es. Toscana 1970) pur avendo energia minima ( $M = 3$ ); al contrario un evento sismico che si origina in profondità (es. 300 Km) può generare danni limitati ma su una vasta superficie: avrà perciò elevata magnitudo e bassa intensità Mercalli all'epicentro. La massima  $M$  finora registrata per un terremoto è 8,6 per un sisma in Alaska (1964), la massima attendibile ad eventi lontani è per un sisma medievale in Cina ( $M = 9$ ). La magnitudo è legata all'energia meccanica sprigionata dalla sorgente da relazione di tipo:  $\text{Log } E/E_0 = 1,5 M$  con  $E$  misurato in erg ed  $E_0 = 2,5 \cdot 10^{11}$  erg.

## 2.2. - CENNI SULLA TETTONICA A ZOLLE CROSTALI

Da molto tempo si è osservato che catene di montagne, vulcani e terremoti non sono distribuiti casualmente sulla superficie della terra, ma si trovano, in genere, lungo zone ristrette e ben individuabili di essa. Questo fatto ha condotto diversi studiosi a proporre varie teorie atte a giustificare tali evidenti indicazioni di instabilità. Tra queste ipotesi, quella proposta da Wegner (1880-1930) basata sulla « deriva dei continenti » fornisce una spiegazione alla stupefacente rassomiglianza tra continenti distanti migliaia di Km e spiega perché diversi continenti, come America meridionale e Africa, abbiano forme perfettamente complementari. La teoria di Wegner si basa sulla mobilità relativa delle masse che costituiscono la crosta terrestre e in particolare sul galleggiamento di blocchi sialici superficiali sul Sima più profondo e sulla possibilità di spostarsi di queste masse in seno tangenziale rispetto alla superficie terrestre.

Pur essendo accettata nelle sue linee generali, questa teoria lascia adito a molti dubbi di cui il fondamentale è che non si riesce a giustificare come una crosta continentale geologicamente debole (essa infatti è costituita per la maggior parte da rocce granitiche) riesca a farsi strada attraverso la crosta oceanica che è costituita principalmente da

rocce più pesanti originatesi da magmi basaltici. Si è superato questo ostacolo con la « teoria della tettonica a zolle crostali ».

Questa recentissima ipotesi può essere suddivisa in due parti. Una prima parte generica che descrive la litosfera come costituita da una serie di zolle rigide ed una seconda parte cinematica che conduce alle conclusioni che tali zolle sono in costante movimento relativo: esse possono scivolare l'una accanto all'altra, possono allontanarsi l'una dall'altra rispetto ad una dorsale oceanica che le separa oppure possono muoversi l'una verso l'altra nel qual caso è necessario che una delle due si consumi. Tratteremo per prima la parte generica.

E' già da molti anni, che tramite misure di gravità, di rifrazione delle onde sismiche e da considerazioni generali di equilibrio delle masse, si è accertato che i continenti sono costituiti da una crosta « granitica », quindi piuttosto leggera, dello spessore di circa 40 Km mentre i fondali oceanici sono formati da una crosta « basaltica » più densa e pesante che raggiunge lo spessore di circa 7 Km. Tanto la crosta continentale, quanto quella oceanica si trovano al di sopra del « mantello » costituito da materiale più denso. La superficie di separazione tra crosta e mantello è la discontinuità di Mohorovicic.

Queste zolle devono essere spesse almeno quanto la crosta oceanica più quella continentale: infatti alcune di esse sono costituite da entrambe senza che si notino dei movimenti relativi tra le due croste. In un primo momento si era pensato che in corrispondenza della Moho avvenissero i principali movimenti di dislocazione delle varie zolle; ma è ora chiaro che se esiste una superficie di scollamento tra un involucro rigido esterno e uno strato interno meno viscoso essa è assai più profonda di quanto non la Moho.

La prova più convincente dello spessore delle zolle è data dalla sismologia.

Si sa infatti che la velocità delle onde sismiche dipende dalle proprietà elastiche del mezzo che attraversano. Detta velocità è maggiore nelle rocce rigide e dense mentre è molto più bassa in quelle meno rigide. Si sa inoltre che un aumento di pressione favorisce l'incremento di velocità mentre un aumento della temperatura la inibisce. Anche se, ovviamente, all'aumentare della profondità la pressione che si esercita sulle rocce aumenta, studi sismologici recenti hanno dimostrato che la velocità delle onde trasversali dei terre-

moti diminuisce improvvisamente al di sotto di una superficie che si trova a circa 70 Km al di sotto degli oceani circa a 150 Km al di sotto dei continenti. La velocità delle onde sismiche trasversali subisce poi un nuovo incremento ad una profondità compresa tra i 350-400 Km e i 700 Km.

Questi dati sismici indicano quindi che un involucro esterno rigido dello spessore variabile da 70 a 150 Km (la litosfera) poggia al di sopra di uno strato meno rigido e più caldo (l'atmosfera) che diventa via via più viscoso con l'au-

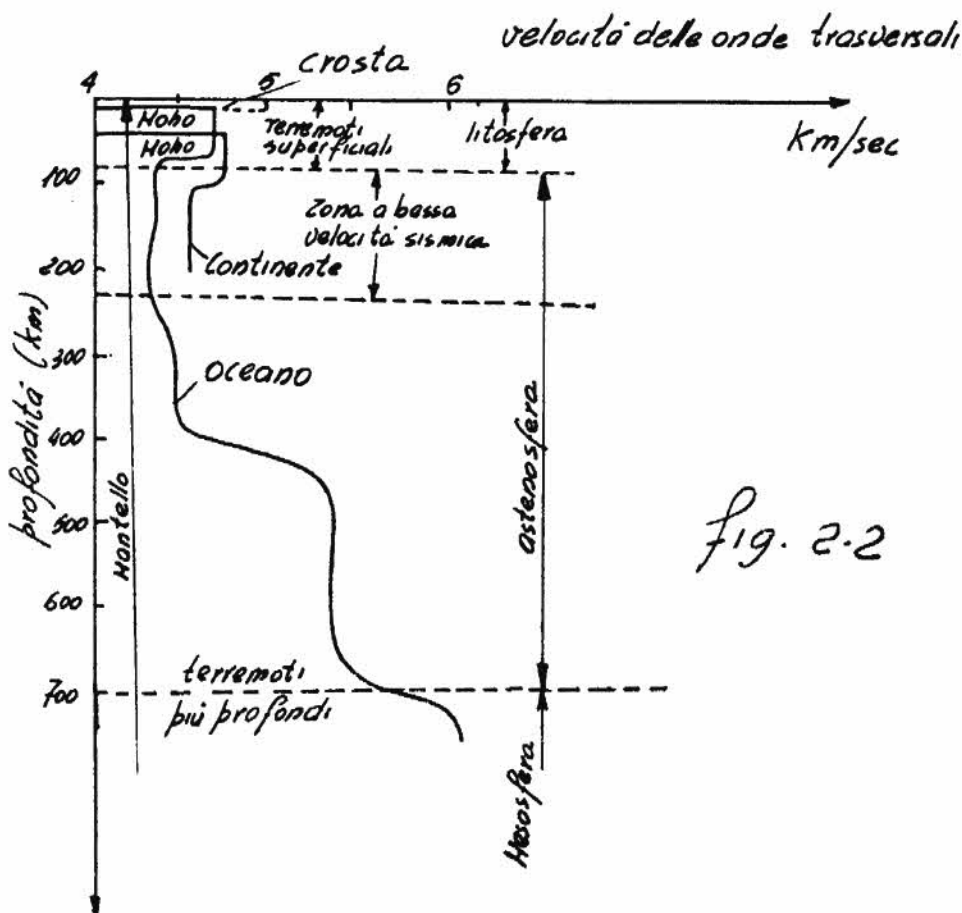


Fig. 2.2

mentare della profondità. Lo spessore della litosfera coincide quindi probabilmente con lo spessore delle zolle rigide mentre, come si vedrà in seguito, essa è discontinua ai loro margini. I terremoti sono un valido mezzo per valutare que-

sta ipotesi in quanto la rigida e fredda litosfera ne è la causa. La distribuzione dei terremoti fornisce quindi un valido mezzo per stabilire lo spessore delle varie zolle.

Da quanto sopra esposto si vede quindi che lo spessore delle zolle è di gran lunga superiore a quello stabilito da Wegener per i suoi continenti e cade quindi l'obiezione cui prima si era fatto cenno.

Passiamo ora alla parte cinematica della teoria.

Nel corso degli ultimi anni la deriva dei continenti ha trovato un solido avallo nello sviluppo del concetto di espansione dei fondali oceanici. Prima di dare qualche cenno sulla struttura e l'evoluzione dei suddetti fondali è necessario premettere che essi sono del tutto diversi dai continenti. Le montagne oceaniche non sono costituite da sedimenti ripiegati come sono le montagne superficiali, ma sono costituite soltanto da rocce ignee (per lo più basalti) che sono fuoriuscite dall'interno della terra; questo è appunto il caso delle dorsali medio-oceaniche.

Queste dorsali meritano un discorso del tutto particolare; esse sono infatti dei corrugamenti del fondo oceanico e sono percorse longitudinalmente da una profonda valle limitata da fratture. Dallo studio di numerosi terremoti avvenuti lungo queste fratture ci si è accorti che i loro lati si vanno staccando e che se non intervenisse del materiale magmatico proveniente dal mantello sottostante esse si andrebbero allargando sempre più. Quindi dal mantello terrestre risale il magma di tipo basaltico che riempie la frattura e genera continuamente nuova crosta oceanica. Resta quindi chiaro che le dorsali medio-oceaniche non sono altro che il confine esistente tra una zolla rigida e l'altra. Aumentando via via la frattura e riempiendosi essa di magma si vede come le due zolle si vadano man mano allontanando l'una dall'altra e come il fondo oceanico aumenti le sue dimensioni.

La velocità di espansione su ciascun lato di una dorsale medio-oceanica varia da meno di 1 cm all'anno sino ad 8-10 cm. L'espansione degli oceani è stata provata mediante l'analisi magnetometrica dei fondi oceanici. Si sa che quando una roccia fusa solidifica « fossilizza » nel suo interno il campo magnetico terrestre di quel momento per cui man mano che le rocce si espandono dalla fessura centrale e nuova roccia sale e solidifica nella fossa, essa viene magnetizzata (presenta cioè i suoi dipoli) secondo la direzione del campo magnetico terrestre. Conoscendo in un determinato momento storico l'andamento del campo magnetico e ricordando che

esso si inverte ogni 50.000 anni circa e che questa inversione rimane registrata dalle rocce fuoriuscite dalla fessura centrale è possibile sia dimostrare che gli oceani si espandono sia calcolare questa velocità di dilatazione.

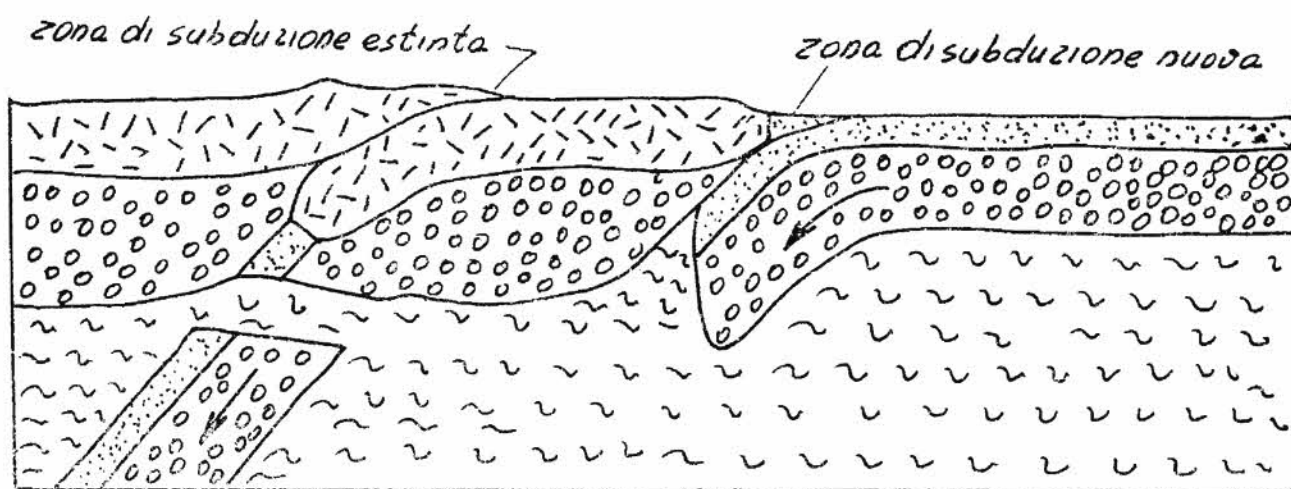
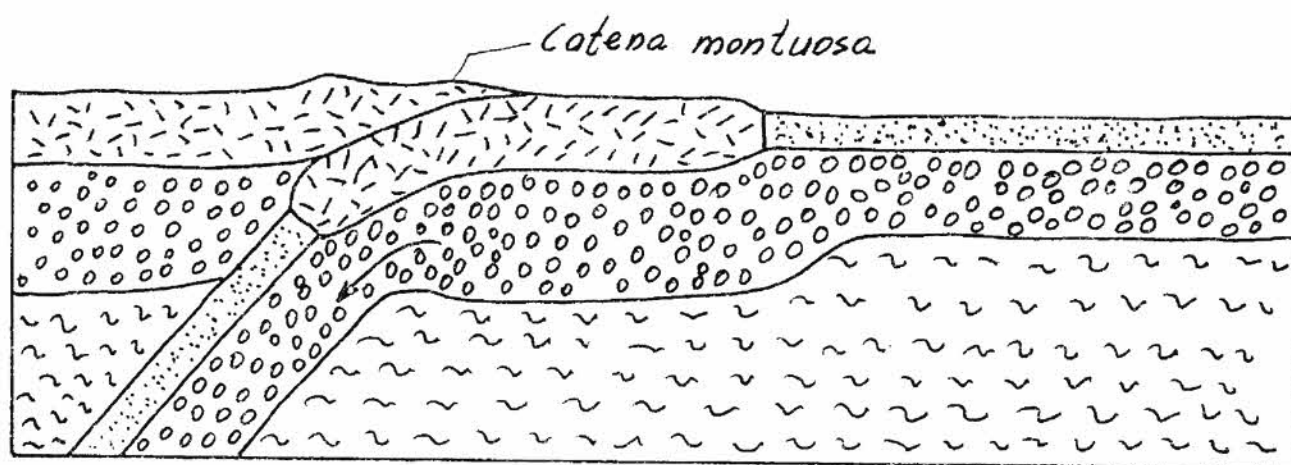
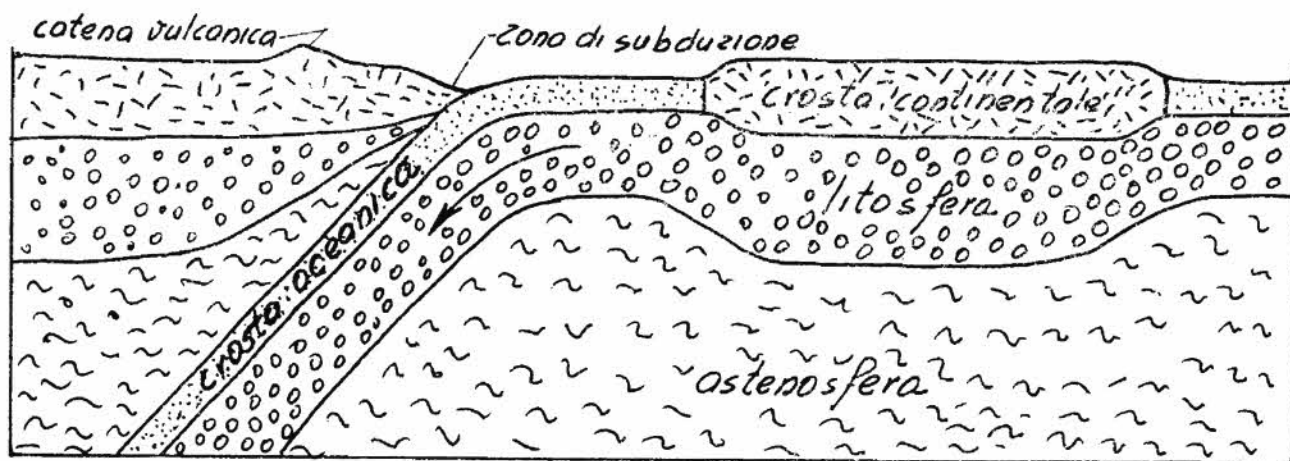
Supponendo che la velocità di espansione oceanica sia costante nel tempo, sono state datate bande magnetiche fino a 70 milioni di anni fa; la regolarità di queste bande suggerisce che il fondo oceanico possa muoversi come una enorme placca rigida.

Ammissa quindi l'espansione degli oceani si potrebbe pensare ad una conseguente espansione naturale della terra. Indicazioni fondate hanno invece dimostrato che la terra non ha subito durante gli ultimi 200 milioni di anni una espansione globale superiore al 2%. Ciò significa, in linea generale, che sulla terra vi è un sistema di movimenti superficiali che conducono la crosta dalle zone in cui si genera a zone in cui si consuma circa alla stessa velocità con cui viene generata. Le linee lungo le quali le zolle si consumano vengono chiamate « zone di subduzione ». In queste zone succede che una delle due zolle per effetto della spinta esistente si inflette e va man mano sprofondando nel mantello al di sotto del margine in avanzata dell'altra.

Abbiamo già avuto modo di dire che le zolle sono formate da una crosta oceanica più densa e da una crosta continentale più leggera. Via via che la crosta oceanica si va immergendo nel mantello sottostante incontra rocce più dense a temperature più elevate.

A causa delle rocce più dense riceve una spinta verso l'altro che tende a formare corrugamenti; a causa delle temperature più elevate fonde parzialmente e genera dei vulcani. Per contro la crosta continentale, essendo molto più leggera delle rocce del mantello non riesce ad immergersi completamente in esso e per effetto della spinta idrostatica viene a porsi sotto la crosta continentale dell'altra zolla e dà luogo alla formazione di catene montuose senza formazione di vulcani.

Infine si può prendere in considerazione un ulteriore movimento relativo delle zolle e più precisamente quello che avviene in corrispondenza delle faglie trasformi (faglia di St Andreas). A causa della diversa velocità di rotazione tra una zolla e l'altra, attorno all'asse di rotazione si hanno degli slittamenti tra di esse mentre i loro margini rimangono immutati.



A conclusione di quanto detto sulla parte cinematica della teoria si può senz'altro affermare che i movimenti superficiali relativi delle zolle sono connessi con i movimenti all'interno dell'astenosfera. Il meccanismo di questi movimenti non è stato per il momento accertato, ma si pensa che essi siano dovuti a correnti convettive del mantello superiore che possono portare a spostamenti di masse lenti ma reali ed imponenti sia in senso orizzontale, parallelo alla base della crosta terrestre, sia in senso verticale.

L'importanza della teoria della tettonica a zolle dipende in particolar modo dal fatto che essa consente di inquadrare in un unico modello fenomeni diversi come l'espansione dei fondali oceanici, la deriva dei continenti, il vulcanismo, l'orogenesi e in particolar modo l'attività sismica.

Abbiamo visto che esistono tre tipi di margini di zolle; crostali. Margini rispetto ai quali le zolle divergono essendo spinte in direzioni opposte (dorsali medio-oceaniche), margini lungo i quali le zolle slittano una accanto all'altra (faglie trasformi), margini rispetto ai quali le zolle convergono essendo spinte l'una verso l'altra (zone di subduzione). Si sa che un terremoto si genera nel momento in cui le tensioni accumulate giungono al punto in cui le rocce della crosta terrestre si fratturano.

La fratturazione è una conseguenza del comportamento rigido del corpo roccioso in contrasto con il comportamento plastico che consente di assorbire lentamente le tensioni. Le prime onde sismiche ad allontanarsi dalla zona di frattura (ipocentro) sono onde di compressione e successiva rarefazione generate dalla improvvisa emissione di energia elastica.

Attraverso l'analisi delle onde sismiche si è giunti a collegare ad ognuno dei tre tipi di margine di zolla sopra elencati un ben determinato tipo di terremoto. Più precisamente in corrispondenza delle dorsali medio oceaniche che sono zone sottoposte a tensione si hanno sismi ad ipocentro poco profondo (meno di 70 Km) e correlati ad una attività vulcanica di tipo basaltica; in corrispondenza delle faglie trasformi che sono zone soggette a sforzi di taglio si hanno terremoti poco profondi con assenza di attività vulcanica; infine in corrispondenza dei vari stadi di subduzione delle zolle ove prevalgono fenomeni di compressione, si possono verificare terremoti superficiali, intermedi o profondi a seconda della localizzazione dell'ipocentro lungo la porzione fortemente inclinata della zolla che sprofonda nel mantello.



## 2.3 - PREVISIONE E PREVENZIONE DEI TERREMOTI

Dal modello della tettonica a zolle crostali appare evidente che lungo i margini della zolla si verificano la maggior parte dei processi geologici attivi, il più importante dei quali, per caratteristiche distruttive di un certo rilievo, è sicuramente il terremoto. Infatti gli sforzi elastici si vanno accumulando lungo i margini di zolla dove il moto relativo tra le parti incontra una resistenza dovuta alle forze d'attrito. Quando gli sforzi elastici aumentano al punto da superare la resistenza delle rocce oppure quando le forze d'attrito lungo i margini di zolla diminuiscono improvvisamente (ad es. per l'azione di un fluido che agisce da lubrificante) ne deriva inevitabilmente la fratturazione delle rocce e il conseguente terremoto. Quando una roccia viene sottoposta ad uno sforzo in un primo momento subisce una deformazione e poi si frattura. Immediatamente prima della fratturazione essa si piega dando origine a piccole fessure che comportano un aumento di volume.

Tale fenomeno comincia quando la roccia viene sottoposta ad uno sforzo pari a circa la metà di quello di rottura. Questa trasformazione comporta anche una variazione di alcune proprietà fisiche della roccia quali la resistività elettrica e la velocità di propagazione delle onde elastiche nel suo interno.

Quanto esposto ci fa intravedere la possibilità di poter prevedere il verificarsi di un evento sismico tramite misura delle proprietà fisiche delle rocce.

Infatti qualche anno fa due ricercatori russi A.N. Semenov I.L. Nersesov, annunciarono di avere osservato variazioni inconsuete nella velocità delle onde sismiche poco prima che si scatenassero dei terremoti nella regione di Garm.

E' opportuno sottolineare l'importanza di tale osservazione in quanto, allo stato attuale degli studi, su di essa si basa uno dei metodi più diffusi e importanti di rilevamento e previsione dei fenomeni sismici. Infatti la velocità sismica varia di poco in una regione sismica in condizioni di relativa staticità intorno ad un valore medio, dando, per così dire, un certo « rumore di fondo ».

Si è osservato che una variazione prolungata nel tempo di detta velocità (dapprima in diminuzione, poi in aumento) unita ad una rarefazione di eventi normali, prelude ad un evento sismico di una certa entità e statisticamente si è rilevato che maggiore è la durata di tale variazione, maggiore sarà la magnitudo del sisma.

Infatti finché il campo di forze interno è disordinato si verifica una lieve attività geologica. Il periodo di calma (caratterizzato da diversa velocità di onde sismiche) si spiegherebbe

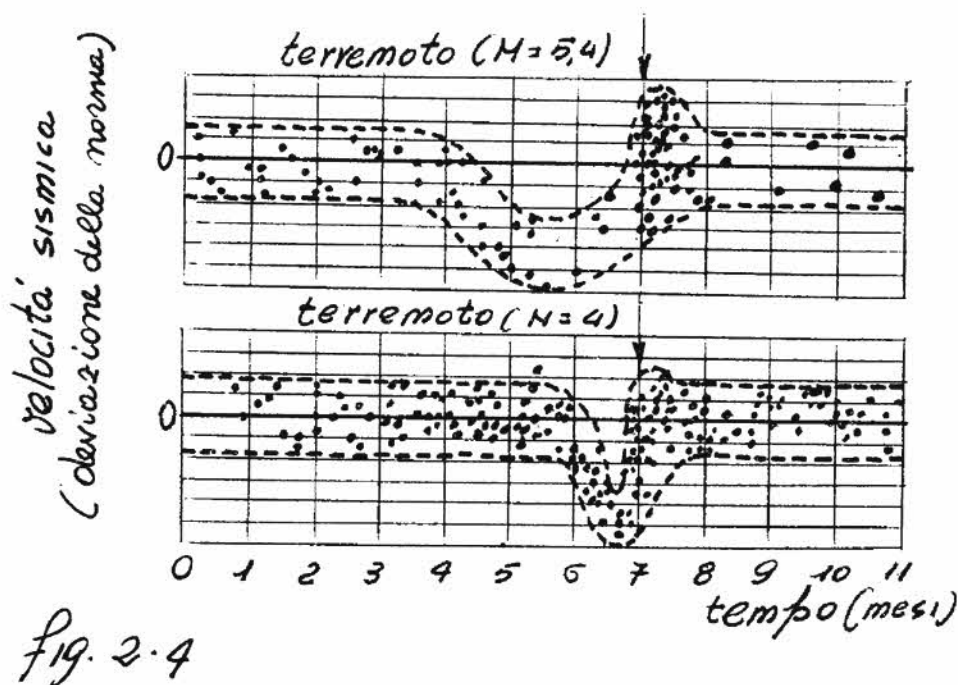


Fig. 2.4

rebbe considerando che gli sforzi di compressione si allineino in una stessa direzione nella quale si verificherà la scossa principale.

Successivamente nelle regioni epicentrali furono riscontrate variazioni della resistività elettrica delle rocce e del contenuto in radon nelle acque di pozzi profondi.

Sulla base di tali risultati si è sviluppata una frenetica attività di ricerca che ha portato alla definizione e messa a punto di altri metodi di indagine tra i quali quello basato sul rilievo delle variazioni di volume delle rocce crostali, concomitante al processo in atto, mediante inclinometri o rilievi topografici ripetuti, ed il metodo magnetometrico che consiste nel rilevare le variazioni superficiali che il campo magnetico terrestre subisce in corrispondenza dell'avvicinarsi di un evento sismico.

Da quanto detto risulta possibile concepire una tecnica di previsione dei terremoti. Tale tecnica però si basa esclusivamente su osservazioni empiriche, mentre sarebbe più opportuna la realizzazione di un modello fisico che spiegasse l'insieme delle osservazioni. Questo ci consentirebbe di capire meglio l'andamento del fenomeno e di effettuare previsioni con maggiore affidabilità. Due modelli sono stati proposti: quello americano detto della « dilatanza-diffusione » e quello russo della « dilatanza-instabilità ».

Elemento comune dei due modelli è l'aumento delle fratture della crosta all'aumentare dello sforzo.

Il primo stadio dei modelli è caratterizzato da un accumulo di energia elastica nella crosta terrestre. Il secondo, dall'apertura di piccole fratture con aumento di volume. Entrambi i modelli assegnano al secondo stadio l'inizio effettivo dei fenomeni premonitori associati alla variazione delle proprietà fisiche della roccia (diminuzione della velocità sismica ed aumento o diminuzione della resistività elettrica a seconda che la roccia sia asciutta o bagnata). L'aumento della concentrazione di gas radon radioattivo nell'acqua dei pozzi profondi si spiegherebbe con l'aumentato flusso d'acqua attraverso le rocce.

Secondo il modello americano la diminuzione del numero di piccole scosse in questa fase è dovuta al moltiplicarsi delle fratture della roccia, alla relativa dispersione dell'acqua presente, al conseguenziale aumento dell'attrito che impedisce l'insorgere di nuove faglie. Successivamente l'acqua penetra attraverso le fessurazioni e si ha un aumento della velocità delle onde sismiche. Il fenomeno è chiaramente in-

tuibile se si tiene presente la definizione di velocità sismica (rapporto tra la velocità delle onde di compressione-rarefa-zione e quella delle onde trasversali). Infatti, all'ipocentro dei terremoti, la liberazione dell'energia determina due tipi di onde: onde primarie, che sono di compressione e rarefa-zione ed onde secondarie dovute a deformazioni di taglio.

Mentre le prime attraversano solidi e liquidi, le seconde vengono trasmesse soltanto da materiali che possono subire deformazioni di taglio.

L'acqua penetrata attraverso le fratture determina sia un aumento di pressione idrostatica, sia un indebolimento della roccia stessa con il relativo verificarsi di eventi sismici.

Secondo il modello russo si ha un aumento rapido delle fratture che portano ad una riduzione della velocità sismica seguita da una riduzione degli sforzi nell'area interessata e successiva parziale richiusura delle fratture che determina un certo ripristino delle caratteristiche originarie, con rapido aumento della velocità sismica e sviluppo delle instabilità che danno luogo al fagliamento ed al sisma.

Per spiegarci fisicamente il fenomeno basta pensare ad un solido di forma generica immerso in una massa elastica. Questo solido sia soggetto ad una distribuzione di sforzi cui sono associate onde longitudinali e onde trasversali. Il veri-ficarsi delle fratture determina un aumento d'impedenza alla propagazione delle onde, impedenza maggiore per l'onda di compressione che per quella tagliante. Ciò giustifica la diminuzione di velocità sismica. Il ripristino parziale delle condizioni originarie, dovuto alla risposta elastica del contor-no, determina una diminuzione di impedenza con conseguen-te aumento della velocità sismica.

Da quanto detto si comprende l'utilità della formulazio-ne di modelli non solo per la rilevazione e previsione dei ter-remoti, ma anche per la possibilità di intervento e control-lo degli stessi.

Infatti si è visto che un fluido iniettato in una zona di faglia, riducendo la resistenza d'attrito, comporta un minore accumulo di energia elastica che si verifica normalmente lun-go la faglia. In pratica si può dire che l'iniezione di un flui-do serve a lubrificare la faglia, mentre l'estrazione di un flui-do serve a bloccarla nei suoi movimenti.

Se dunque lungo la faglia si sta accumulando una cer-ta quantità di energia elastica, iniettando del fluido lungo di essa si verifica una scossa di terremoto. Ciò del resto è giustificabile se si pensa al modello americano.

Quanto sopra ci fa intravedere la possibilità di mettere a punto sistemi capaci di rilevare i fenomeni premonitori che preludono ad un certo evento sismico.

Tali metodi, pur non portando, allo stato attuale delle cose, alla definizione e determinazione del momento preciso in cui si verificherà l'evento, consentono certamente di stabilire che nella zona interessata avverrà un terremoto. Sviluppando e perfezionando i suddetti metodi di ricerca sembra possibile formulare previsioni a breve e lungo termine al fine di mettere a punto una adatta strategia di prevenzione.

La previsione a lungo termine potrebbe condurre al rinforzo delle strutture esistenti ed a una adatta normativa nei riguardi delle nuove costruzioni unitamente ad una revisione dei piani urbanistici. Oltre a ciò si potrebbe effettuare una campagna educativa al fine di abituare la popolazione alle procedure di emergenza da adottare in caso di catastrofe previa compilazione di opportuni piani. Un'azione in tal senso potrebbe essere svolta nell'ambito della legge sulla Protezione Civile.

La previsione a breve termine potrebbe condurre invece ad avviare le operazioni di emergenza preventivamente pianificate e mettere in moto le misure necessarie per una evacuazione ordinata delle strutture più deboli o particolarmente vulnerabili o comunque pericolose anche da un punto di vista antincendio. Consentirebbe inoltre di sospendere il funzionamento di impianti pericolosi quali le centrali termonucleari, gli oleodotti e tutti quegli impianti la cui rottura determinerebbe enormi disastri.



## CENNI SULLE ORIGINI DEI FATTI SISMICI DEL FRIULI

Era da tempo noto che la zona di Tolmezzo e del Monte S. Simeone veniva interessata ad un incontro di linee di dislocazione a prevalente direzione E — W con linee a direzione N — S.

Questa evidenza geologica faceva avanzare l'ipotesi di una possibile attività sismica a carattere tettonico, confermata peraltro dai recenti fatti calamitosi, che sono stati esaltati dalla piccola potenza dei depositi detritici. Ciò appare rilevabile soprattutto nelle località di Osoppo, Gemona, Artegna, Tarcento, Buia, Venzona (effetto catino o effetto d'unghia).

Più di venti anni fa due stazioni clinografiche, che erano state installate vicino Tolmezzo, avevano permesso di avvertire quella che alla luce delle più recenti teorie sarebbe stata la fase di preparazione di un probabile evento di una certa entità poi manifestatosi nell'aprile del 1954.

L'instabilità dell'equilibrio elastico nella zona si manifestava sotto due aspetti: lenti movimenti lungo le linee di frattura rilevati dai clinografi e fremiti pulsanti del mezzo, rilevati dai sismografi. Numerosi terremoti con epicentro nella zona sono stati preceduti da variazioni della verticale e da periodi di inquietudine sismica. Non sempre questi fenomeni sfociano, almeno entro un breve lasso di tempo, nel terremoto; ma è comunque evidente che nel caso in considerazione essi avevano portato il mezzo sollecitato soltanto ad una configurazione di equilibrio temporaneo.



## 2.2 - TIPOLOGIA EDILIZIA PREDOMINANTE ED EFFETTI DEL SISMA.

I dati riportati nella statistica scientifica evidenziano nel nostro Paese un rilevante numero di perdite di vite umane in crolli di costruzioni per eventi sismici: 25.000 nel secolo scorso; 160.000 dall'inizio del secolo di cui 130.000 in occasione del sisma di Messina e circa 1.000 per quello recente del Friuli.

E' da notare però che tale numero, pur rilevante, si riferisce in massima parte a crolli di edifici in muratura o in generale costruiti senza alcuna previsione per le sollecitazioni sismiche. Prova evidente è il recente terremoto che ha devastato alcuni comuni del Friuli quali Gemona, Osoppo, Artena, Tarcento, Buia e Venzona.

La tipologia edilizia predominante era caratterizzata, in larga parte, da costruzioni in muratura di pietrame e malta con basso potere legante. Ciò ha determinato uno scarso ammassamento dei muri d'angolo che associato alla presenza di elementi spingenti delle coperture hanno contribuito ad esaltare enormemente l'effetto disastroso del sisma su tali tipi di costruzioni. A questo va aggiunto che l'azione ondulatoria

del sisma ha provocato il distacco delle travi in legno dai muri portanti sostenenti i solai e provocando il crollo degli stessi.

Diversamente sono andate le cose per quelle costruzioni in muratura portante con solaio in cemento armato misto a laterizi.

Quanto detto appare evidente dalle fotografie allegate in appendice (fot. 6A, 20D, 21A, 22A). Dalle stesse si rileva tuttavia come costruzioni in muratura, anche a più piani, per la presenza di elementi irrigidenti quali catene o cordoli perimetrali, abbiano meglio sopportato le sollecitazioni derivanti dal sisma permettendo il salvataggio di numerose vite umane (fot. 5A, 2A, 25D, 8B).

Per quello che riguarda le poche costruzioni in c.a., tenuto conto che le stesse non erano state progettate con norme antisismiche, bisogna sottolineare il loro comportamento sufficientemente buono in quanto, pur lesionandosi fortemente, non hanno subito crolli. Questo ha consentito di realizzare quello che è lo scopo fondamentale degli edifici in c.a. in zona sismica e cioè di consentire l'evacuazione degli stessi senza grossi rischi per gli occupanti. A questo hanno fatto eccezione due edifici multipiani siti in Maiano; la causa del loro crollo va ricercata probabilmente in un insufficiente dimensionamento delle armature unito ad un criterio di realizzazione forse non perfettamente rispondente alla buona tecnica costruttiva (fot. 1E).

Come si vede dalle fotografie, la maggior parte degli edifici in c.a. a più piani hanno subito i danni più gravi al primo piano fuori terra ed in qualche caso, si è avuto addirittura il tranciamento dei pilastri con conseguente abbassamento dell'edificio. Tale movimento in qualche caso ha avuto prevalente direzione verticale, in qualche altro ha presentato anche una componente orizzontale (notare i balconi sul ciglio della strada) (4F, 5F, 14B, 24B, 22B, 20B).

Bisogna aggiungere ancora che i piani seminterrati non hanno presentato lesioni di particolare rilievo ed in qualche caso del tutto irrilevanti (fot. 17C). La giustificazione degli effetti menzionati risiede nel fatto che la bassa rigidità dei pilastri del primo piano fuori terra mancante a volte di muri di tamponatura, ha permesso, a seguito della sollecitazione sismica impressa, il comportamento rigido inerziale del complesso dei piani sovrastanti; il sistema quindi ha risposto come una mensola a rigidità differenziata incastrata alla base dove, per le tensioni, indotte, si è avuta la rottura delle

teste dei pilastri. Nei cantinati, mancando generalmente il moto relativo tra il terreno e la struttura, non si sono prodotte tensioni eccessive e conseguenti dissesti.

Ad ulteriore conferma si noti il comportamento del serbatoio idrico della stazione di Gemona, il quale, potendosi assimilare ad una mensola incastrata alla base con una grossa massa all'estremità libera, ha presentato identiche modalità di risposta (fot. 8C, 9C).

Occorre a tal punto sottolineare il fatto che i fabbricati con strutture in ferro, quali capannoni e qualche edificio di civile abitazione, si sono comportati egregiamente e che non hanno subito alcuna lesione; si pensi che in un edificio di Buia persino i vetri delle finestre sono rimasti intatti. Da notare ancora, per quel che riguarda il comportamento di costruzioni in prefabbricato, che i principali danni si sono avuti per la mancata realizzazione di idonei incastri tra le travature di copertura e i pilastri portanti. Infatti, come si vede dalla fotografia 2C, il collegamento è stato realizzato con appoggi del tipo « a forcina ».

Appare necessaria a tal punto una normativa che imponga la realizzazione di opere costruttive, in particolari edifici, con criteri tecnico-costruttivi che rendano la struttura più idonea a resistere a sollecitazioni di tipo sismico onde salvaguardare, anche nel caso di eventi più severi, la pubblica incolumità. Questa necessità viene confermata dal fatto che, analizzando i terremoti più violenti verificatisi negli ultimi anni in località dove erano in vigore norme antisismiche, vittime attribuibili ad una insufficiente progettazione si sono avute solo in casi sporadici.

Si può così dedurre che, a parte le questioni tecnico-teoriche riguardanti il calcolo di strutture atte a sopportare sollecitazioni sismiche, lo scopo principale di una normativa debba essere quello della salvaguardia della vita umana. A questo punto occorre stabilire se la struttura debba rimanere indenne sotto l'azione del sisma più violento, oppure non debba crollare per le scosse più forti e subire danni limitati per le scosse lievi.

In generale si sceglie la seconda condizione in quanto è da ritenersi che l'edificio in tutta la sua vita nominale, circa 100 anni, venga interessato in media una sola volta da terremoti di lieve entità. Vi sono però casi particolari di edifici ed opere pubbliche quali ospedali, centrali elettriche, stazioni di Vigili del Fuoco, di Polizia ed altri che andrebbero pro-

gettati secondo la prima condizione in quanto dovrebbero poter assicurare la loro funzionalità di fronte a qualsiasi evento e garantire sempre il servizio di soccorso ed assistenza cui sono preposti.

L'introduzione di una normativa richiede una specifica conoscenza della ingegneria sismica, ossia di quella materia che si occupa della ricerca dei criteri di progettazione per strutture da erigersi in zona sismica. La normativa antisismica vigente nel nostro Paese è regolamentata dal D.M. 33 del 3 marzo 1975. In esso vengono dettati i criteri di calcolo nonché quegli accorgimenti di carattere prettamente tecnico da adottarsi per la costruzione in zona sismica di edifici di ogni tipo.

La norma risponde alle esigenze ed agli scopi prefissati di sicurezza e salvaguardia delle persone e dei beni.

## 2.5 - COMMENTO SU ALCUNI ASPETTI SPECIFICI DEL SISMA

### 1) *Serbatoio idrico sito presso la stazione F.S. di Gemona (foto 8C e 9C)*

Dalla foto si vede che la caduta del serbatoio non è avvenuta in uno degli infiniti piani verticali passanti per l'asse di simmetria della struttura.

E' ipotizzabile che il cedimento del manufatto sia da attribuire ad una serie di forze taglienti, generate dall'evento sismico, agenti in tempi successivi in piani verticali diversi passanti per l'asse del serbatoio.

Questo stato di sollecitazioni ha indotto nella struttura un sistema di tensioni tangenziali (anche di carattere porzionale) che si sono aggiunte a quelle normali di esercizio determinando il collasso del manufatto.

A convalida del comportamento ipotizzato, si può notare la posizione del manufatto caduto che rivela un modo rotatorio dello stelo di sostegno e il tipo di rottura del calcestruzzo con la deformazione dei ferri fino allo snervamento quale appare anche dalle foto.

2) *Edificio di civile abitazione sito presso la stazione F.S. di Artegna. (foto 4F e 5F)*

Si tratta di un edificio a tre piani con struttura portante in c.a. e tamponatura con forati al primo, al secondo e su un solo lato del piano terra.

L'effetto del sisma è stato quello di produrre uno spostamento traslatorio e rotatorio a livello del primo piano fuori terra; i piani superiori si sono comportati da elemento rigido e pertanto non hanno subito spostamenti relativi, mentre nel piano inferiore si è localizzato un sistema di deformazioni che ha causato la plasticizzazione in testa e al piede di alcuni pilastri del piano terra; si sono cioè formate cerniere plastiche e si è prodotta una rotazione stante la loro impossibilità di assorbire momento flettente.

Lo spostamento è stato anche rotazionale in quanto, considerando l'edificio come una mensola incastrata, si sono avute sollecitazioni torzionali. Ciò si è verificato, in ipotesi, in quanto il manufatto non risultava, dal punto di vista strutturale, planimetricamente simmetrico essendoci una concentrazione eccentrica di elementi irrigidenti (scale ed elementi di tamponatura). Pertanto la non coincidenza fra il baricentro delle masse e quello delle rigidezze ha consentito l'insorgere di un momento torcente che ha indotto delle notevoli tensioni che si sono sommate a quelle di taglio.

Alcuni pilastri del primo piano fuori terra, la cui armatura non era stata prevista per tale tipo di sollecitazione, si sono tranciati in sommità ed alla base. Tutto questo ha causato la rottura del calcestruzzo, lo snervamento del ferro ed il sorgere di locali fenomeni di instabilità dell'equilibrio elastico.

3) *Ospedale vecchio di Genoma (foto 5A)*

In questa foto, riprodotte anche il lato minore dell'edificio si notano più lesioni a croce di S. Andrea che indicano come la parete sia stata sottoposta a sforzi di taglio nei due sensi. Essendo questa parete in muratura e quindi non adatta a sopportare tali sollecitazioni si è vistosamente lesionata secondo le isostatiche di trazione (a 45°).

La mancanza di cordoli ha fatto sì che la spinta dipendente dal fenomeno ondulatorio trasmessa essenzialmente dal solaio del primo piano considerato come elemento indefor-

mabile nel suo orizzontamento, abbia provocato un leggero spanciamento del muro di facciata del lato lungo dell'edificio (notare le lesioni) e il distacco di una parte della parete in corrispondenza dello spigolo con limitata rotazione in avanti.

4) *Edificio sito nei pressi dell'ospedale vecchio di Gemona (foto 6A)*

Il muro riprodotto nella foto è stato interessato da un movimento rototraslatorio, probabilmente avvenuto a causa della spinta dei solai che, come si è più volte detto, sono in legno e quindi con le travi appoggiate sui muri portanti.

All'insorgere del sisma questi solai, che nel loro piano si possono considerare infinitamente rigidi, hanno cominciato a punzonare in modo alternativo i muri di appoggio. Le grandi forze in gioco e soprattutto uno scarso ammorsamento dei muri d'angolo hanno provocato il suddetto movimento rototraslatorio.

Si noti inoltre che l'arco, poco spingente in considerazione della sua iniziale geometria, a causa della traslazione con distacco del muro di facciata ha subito una rottura alle reni per effetto di tensioni di trazione il che ha portato ad un cedimento della parte di muro sovrastante l'arco medesimo, individuabile dalle linee paraboliche di rottura.



*Allegato alla parte seconda*

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Documentazione fotografica  
sugli effetti del terremoto nel Friuli  
del 6 maggio 1976*



## ZONA DI GEMONA CENTRO STORICO

- 1 A) Edificio adiacente al Municipio: crollo di parete frontale con dissesto del colonnato. Si noti il contributo positivo dei tiranti di collegamento.
- 2 A) Stesso edificio visto da altra angolazione.
- 3 A) Duomo. particolare della facciata principale.
- 5 A) Ingresso dell'ospedale vecchio.
- 6 A) Edificio sito nei pressi dell'ospedale vecchio: si noti la muratura in pietrame vario irregolare e lo scarso ammorsamento tra i muri d'angolo.
- 8 A) Puntellamento di un muretto a sostegno di una strada.
- 12 A) Macerie di una chiesa.
- 15 A) Maserie di una casa crollata sulla struttura ad arco del suo cantinato.
- 19 A) Casa con parte della facciata anteriore crollata: si noti il solaio in legno e la muratura in pietrame irregolare.
- 21 A) Edificio privo della facciata anteriore: si noti la tipologia costruttiva ricorrente.
- 22 A) Stesso edificio visto da altra angolazione.
- 23 A) Particolare di edifici costruiti in aderenza (usanza tipica della zona).
- 8 B) Particolare di muro parzialmente crollato per la spinta della copertura.
- 13 B) Particolare della galleria del cinema.

## ZONA DI GEMONA BASSA

- 14 B) Vista anteriore di uno dei due edifici GESCAL in c.a. abbassatisi di un piano per effetto del sisma.
- 20 B) Vista anteriore dell'altro edificio.
- 22 B) Vista posteriore dello stesso.
- 24 B) Pilastro d'angolo fuori sede.

- 1 C) Vista frontale del deposito del cotonificio: tetto e parete frontale parzialmente crollati.
- 2 C) Deposito esterno al cotonificio con strutture prefabbricate in c.a. Si noti la fuoriuscita della trave reticolare dall'appoggio a forcina del pilastro.
- 8 C) Serbatoio idrico crollato nella stazione F.S. di Gemona.
- 9 C) Vista dello stesso da altra angolazione.
- 15 C) Veduta panoramica dell'ospedale nuovo di Gemona dal lato dell'entrata principale.
- 16 C) Stessa veduta presa da altra angolazione.
- 17 C) Veduta della parte posteriore dell'ospedale: notare la traslazione dei piani sovrastanti quello dissestato.
- 29 C) Altra veduta della parte posteriore dell'ospedale.
- 1 D) Interno della chiesa di S. Stefano in Genoma.
- 4 D) Facciata anteriore della chiesa della Madonna di Fossale.
- 10 D) Veduta dell'interno della stessa chiesa.

#### ZONA DI VENZONE

- 18 D) Municipio: alcune parti di esso, rifatte dopo la guerra, non hanno subito danni di rilievo.
- 20 D) Case diroccate nel centro storico: notare la funzione delle catene.
- 25 D) Vista della facciata principale del Duomo di Venzone (1338).
- 27 D) Campanile del Duomo: si noti la lesione che esso presenta in basso e lo spostamento del concio di chiave nell'arco della finestra.
- 28 D) Particolare della lesione suddetta.
- 1 E) Veduta di rovine; sullo sfondo il campanile del Duomo.
- 2 E) Vista prospettica della navata centrale del Duomo.
- 4 E) Edificio con muratura della facciata parzialmente abbattuta probabilmente dall'azione di spinta del tetto.

## ZONA DI BRAULINS

- 5 E) Vista frontale del letto della frana del monte Brancot.
- 8 E) Case coloniche investite da un grosso masso franato.

## ZONA DI MAIANO

- 10 E) Cascinale con tetto semidiroccato antistante un edificio a cinque piani in c.a. che è stato completamente distrutto.
- 11 E) Suolo su cui sorgeva l'edificio a cinque piani suddetto.
- 12 E) Edificio a L in c.a.: si noti l'uso dell'autoscala nelle operazioni di sgombero.
- 13 E) Spanciamento di un muro dell'edificio a L per la probabile spinta del solaio del primo piano.

## ZONA DI BUIA

- 24 E) Mezzi meccanici impiegati nella rimozione delle macerie all'opera in piazza di Madonna di Buia.
- 28 E) Ingresso principale della canonica: si noti lo spostamento relativo tra capitello e pilastro.
- 3 F) Campanile del Duomo: la struttura apparentemente in muratura è in realtà in c.a.

## ZONA DI ARTEGNA

- 4 F) Edificio in c.a. con evidente traslazione dei due piani superiori.
- 5 F) Altra veduta dello stesso.

## ZONA DI CIVIDALE

- 11 F) Spanciamento di un muro di un edificio sito presso il Ponte del Diavolo.



## BIBLIOGRAFIA

- AMBRASEYS N.N. - Dynamics and response of foundations materials in epicentral earthquakes: Proceedings 5 th. World Conference on Earthquake Engineering, Roma, 25-29 giugno, Invited paper 1973.
- BARATTA M. - I terremoti in Italia; ed. Fratelli Bocca, Torino 1901.
- BARATTA M. - I terremoti in Italia; R. Accademia Nazionale dei Lincei, vol. IV, Le Monnier 1936.
- BLUME J.A. - NEWMARK N.M. - CORNIG L.H. - Design of Multi-story Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions; Portland Cement Association, Chicago, III, 1961.
- CARROZZO M. - General Catalogue of Italian Earthquake; CNEN, RT prot (73) 12.
- CALOI P. - Attività sismica in Italia nel decennio 1930-40; R. Accademia d'Italia, vol. X, Le Monnier, Firenze 1942.
- CASTELLANI A. - Calcoli di strutture in zona sismica; ed. Tamburini, Milano 1975.
- CASTIGLIONI A. - Introduzione alla dinamica delle costruzioni; ed. Tamburini, Milano 1972.
- CRUMLISH J.D. - WIRTH G.F. - A Preliminary Study of Engineering Seismology Benefits; U. S. Department of Commerce, Rockville, Maryland 1967.
- DEGENKOLD H.J. - Design of Earthquake resistant structures-steel frame structures, Earthquake Engineering, R.L. Wiegel editor 1970.
- DE PANFILIS - Mappe delle isosisme per i terremoti italiani dal 1930 al 1950; ed. del 1958.
- DE PANFILIS - Attività sismica in Italia dal 1953 al 1957; Annali di geofisica, vol. XIII, 1959.
- DEWEY J.F. - BIRD J.M. - Mountain Belts and the New Global tectonics; in Journal of Geophysical Research, 75, n. 14, 1970.
- DI FILIPPO D. - MARCELLI M. - Magnitudo ed energia dei terremoti in Italia; Annali di Geofisica, III, 3, 1950.

- DEZFULIAN H. - SEED H.B. - Response of non uniform soil deposits to travelling seismic waves; Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings A.S.C.E., vol. 97, pp. 27-46, 1971.
- DOBRY R. - WHITMAN R.V. - ROESSET J.M. - Soil Properties and the One-Dimensional Theory of Earthquake Amplification; Research Report R 71-18, Department of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, U.S.A. 1971.
- GANNISER A. - The Insubric Line, a Major Geotectonic Problem; in Schweiz. mineral. Petrogr. Mitt., 48, 1968.
- GLOUGH R.W. - Earthquake response of structures; Earthquake engineering, R.L. Wiegel coordinating editor 1970.
- GRANDORI G. - Introduzione all'Ingegneria Sismica; ed. Tamburini 1970.
- GRANDORI G. - BENEDETTI D. - Problemi connessi con la scelta del rischio sismico accettabile; Ist. Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, A, vol. 106, 1972.
- GRANDORI G. - BENEDETTI D. - On the choice of the Acceptable Risk, 5a World Conference on Earthquake Engineering, Rome 1973.
- GRANDORI G. - BENEDETTI D. - On the choice of the Acceptable Risk, 4 th European Symposium on Earthquake Engineering, London 1972.
- GUTENBERG B. - RICHTER C.F. - Seismicity of Earth and Associated Phenomena; Princerton University Press 1954.
- GUTENBERG B. - RICHTER C.F. - Deep-forces Earthquake in the Mediterranean Region: Geofisica pura ed applicata, vol. XII, 1948.
- HEIRTZLER J.R. - LE PICHON X. - A Plate Tectonic Study of the Genesis of the Lithosphere; in Geology, 2, n. 6, 1974.
- HEIRTZLER J.R. - Understanding the Mid-Atlantic Ridge: A Comprehensive Program, National Academy of Sciences 1972.
- HUDSON D.E. - Local distribution of strong earthquake ground motions; Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 62, pp. 1765-1786, 1972.

- IDRISS I.M. - SEED H.B. - Seismic response of horizontal soil layers: Journal of the soil mechanics and foundation division, Proceeding A.S.C.E., vol. 94, 1968.
- IDRISS I.M. - SEED H.B. - LYSMER J. - HWANG R. - A Computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures; Earthquake Engineering Research Institute Report N. EERC 73-16, University of California, Berkeley, U.S.A. 1973.
- IFRIM M. - Analiza Dinamica a Structurilor si Ingineria Seismica; Institutul de Constructii, Bucuresti 1973.
- IMBEAULT F.A. - NIELSEN N.N. - Effect of degrading stiffness on the response of multistory frames subjected to earthquake; Fifth world conference on earthquake engineering, Roma 1973.
- ISACKS B. - OLIVER J. - SYKES L.R. - Seismology and the New Global Tectonics; in Journal of Geophysical Research, 73, n. 18, 1968.
- JOHNSTON M.J.S. - MORTENSEN G.E. - Tilt Precursors Before Earthquake on the San Andreas Fault, California; in Science, 186, 1974.
- KARNIK V. - Seismicity of the European Area 1; D. Reidel Publishing Co. Dordrecht, Holland 1969.
- KARNIK V. - Seismicity of the European Area 2; D. Reidel Publishing Co. Dordrecht, Holland 1971.
- LAUBSCHER H.P. - Mountain Building; in Tectonophysics, 7, n. 5-6, 1969.
- LAUBSCHER H.P. - Das Alpen, Dinariden - Problem und die Palinspastik der Südlichen Tethys; in Geologischen Rundschau, 60, n. 3, 1971.
- LAUBSCHER H.P. - The Large-Scale Kinematics of the Western Alps and the Northern Apennines and its Palinspastic Implication; in American Journal of Science, 281, ottobre 1971.
- L'E SCIENZE - Ed. Italiana di SCIENTIFIC AMERICAN; n. 72, agosto 1974; n. 85, settembre 75; n. 82, giugno 1975; n. 88, dicembre 1975; n. 48 agosto 1972.
- MALARODA R. - RAIMONDI C. - Linee di dislocazione e sismicità in Italia; Boll. di Geodesia e Scienze Affini, anno XVI, 1957.

- MCKENZIE D.P. - Speculations on the Consequences and Causes of Plate Motion; in *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 18, n. 1, 1969.
- MEDVEDE S.V. - *Engineering Seismology*; ed Oldbourne Press, London 1965.
- MOORE J.G. - PHILLIPS R.L. - GRIGG R.W. - PETERSON D.W. - SWANSON D.A. - Flow of Lava in to the Sea; in *Geological Society of America Bulletin*, 84, n. 2, 1973.
- MORELLI C. - Rilievo Gravimetrico del Madre Adriatico; *La Ricerca Scientifica*, anno XXV, 1935.
- MORELLI C. - La Sismicità a Trieste; *Tecnica Italiana*, anno IV, 1949.
- NEWMARK N.M. - ROSENBLUETH E. - *Foundamentals of Earthquake Engineering*; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A. 1971.
- OKAMOTO S. - *Introduction to Earthquake Engineering*; University of Tokyo Press 1973.
- PAMERLEE R.A. - KUDDER R.J. - Seismic Soil-Structure Interaction of Embedded Structures; *Proceedings, V Conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica*, Roma 1973.
- PRESS F. - SIEVER R. - *Earth*; W.H. Freeman and Company, 1974.
- QUADERNI DI PROTEZIONE CIVILE - L'opera di Protezione Civile nella Sicilia Occidentale colpita dal Terremoto, 14 gennaio, 31 marzo 1968; Numero Speciale della *Rivista Protezione Civile*.
- RAMASCO R. - La Risposta Sismica nelle Strutture Intelaiate Piane in Campo Elasto-Plastico; *Giornale del Genio Civile*, luglio 1971.
- ROSENBLUETH E. - NEWMARK N. - *Foundamentals of Earthquake Engineering*; ed. Prentice-Hall 1971.
- SCHOLZ C.H. - SYKES L.R. - AGGARWAL Y.P. - *Earthquake Prediction: A Physical Basis*; in *Science*, 181, 1973.
- SEED H.B. - IDRISS I.M. - Soil-Structures Interaction of Massive Structures during Earthquakes; *Proceedings, V Conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica*, Roma 1973.

- STEINBRUGGE K.V. - Earthquake Damage and Structural Performance in the United States; Earthquake Engineering edited by Wiegel, Prentice-Hall 1970.
- Storia e tipi di terremoti in Italia nell'ultimo decennio; a cura del Ministero dell'Interno, dal Convegno di Studi sulla Riduzione dei Rischi derivanti da Terremoti, S. Francisco, U.S.A. 1971.
- TOKSOZ N.M. - MINEAR J.W. - JULIAN B.R. - Temperature Field and Geophysical Effects of a Downgoing Slab; in Journal of Geophysical Research, 76, n. 5, 1971.
- TOKSOZ N.M. - SLEEP C.H. - SMITH A.T. - Evolution of the Downgoing Lithosphere and the Mechanisms of Deep Focus Earthquake; in the Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 35, n. 1-3, 1973.
- TSAI N. Influence of local Geology on Earthquake Engineering Research ground motion; Ph. D. Thesis, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institut of Tecnology, U.S.A. 1969.
- VECCHIA O. - Sui principali caratteri strutturali dell'Italia Settentrionale dedotti da misure gravimetriche; Rivista di Geofisica Applicata, anno XIII, 1952.
- WEGENER A. - La formazione dei continenti e degli oceani; ed. Boringhieri, Torino 1964.
- WEGENER E. - Alfred Wegener; F.A. Brockhaus, Wiesbade 1960.
- WHITE J.E. - Seismic waves, radiation, trasmission and attenuation; Mc Graw-Hill, New York 1965.
- WIGGINS J.H. - The balanced Risk Concept: New Approac to Earthquake Building Codes; Civil Engineering ASCE, august 1972.
- WILSON E.L. - Dovey H.H. - Static and Earthquake Analysis of Three Dimensional Frame and Shear Wall Building; Report n. EERC-72-2, Berkeley, Earthquake Eng. Research Center, may 1972.
- WYLLIE P.J. - Ultramatic and Related Rocks, John Wiley & Sons, Inc. 1967.
- WYLLIE P.J. - The Dynamic Earth: Textbook in Geoscience, John Wiley & Sons, Inc. 1971.



## ZONA DI GEMONA CENTRO STORICO



*fig. 1A)*

*Edificio adiacente al  
Municipio: crollo di parete  
frontale con dissesto del  
colonnato. Si noti il  
contributo positivo dei tiranti  
di collegamento.*



*fig. 2A)*

*Stesso edificio visto da altra  
angolazione.*



*fig. 3A)*

*Duomo: particolare della  
facciata principale.*



*fig. 5A)*

*Ingresso dell'ospedale vecchio.*



*fig. 6A)*

*Edificio sito nei pressi dello  
Ospedale vecchio: si noti la  
muratura in pietrame vario  
irregolare e lo scarso  
ammorsamento tra i muri  
d'angolo.*



*fig. 8A)*

*Puntellamento di un muretto  
a sostegno di una strada.*



*fig. 12A) - Macerie di una chiesa.*



*fig. 15A)*

*Macerie di una casa crollata  
sulla struttura ad arco del suo  
cantinato.*



*fig. 19A)*

*Casa con la parte della facciata anteriore crollata: si noti il solaio in legno e la muratura in pietrame irregolare.*



*fig. 21A)*

*Edificio privo della facciata anteriore: si noti la tipologia costruttiva ricorrente.*



*fig. 22A)*

*Stesso edificio visto da altra  
angolazione.*



*fig. 23A)*

*Particolari di edifici costruiti  
in aderenza (usanza tipica  
della zona).*



*fig. 8B)*

*Particolare di muro  
parzialmente crollato per la  
spinta della copertura.*



*fig. 13B)*

*Particolare della galleria del  
cinema.*

## ZONA DI GEMONA BASSA



*fig. 14B)*

*Vista anteriore di uno dei due edifici GESCAL in c.a. con piano pilotis abbassatisi di un piano per effetto del sisma.*



*fig. 20B)*

*Vista anteriore dell'altro edificio.*



*fig. 22B)*

*Vista posteriore dello stesso.*

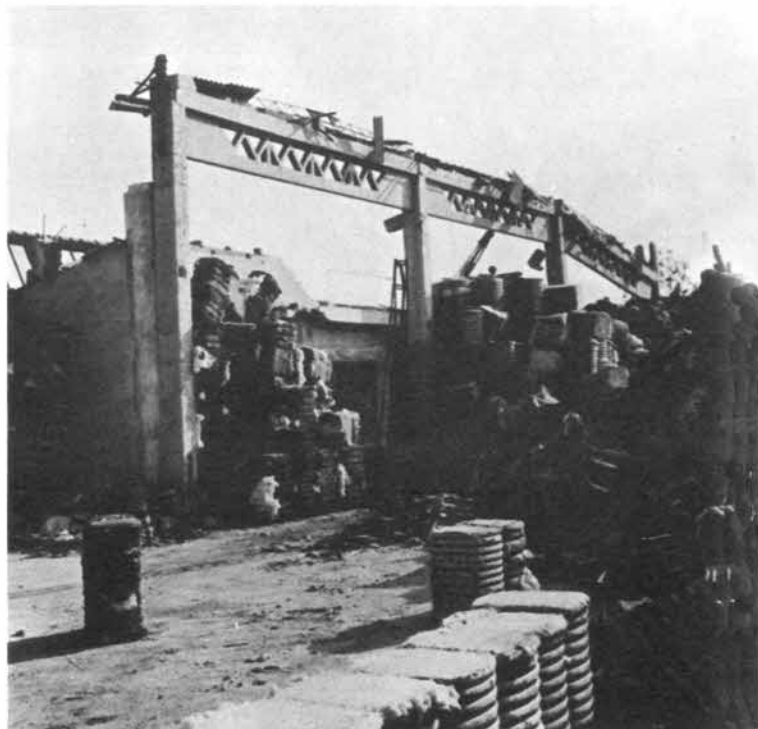


*fig. 24B)*

*Pilastro d'angolo fuori sede  
degli stessi edifici.*

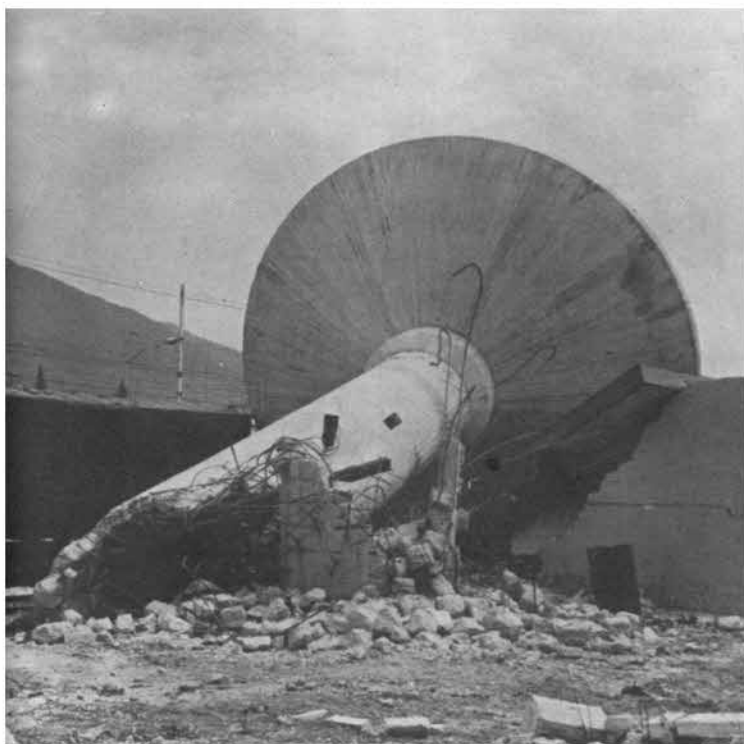


*fig. 1C) - Vista frontale del deposito del cotonificio: tetto e parete frontale parzialmente crollati.*



*fig. 2C)*

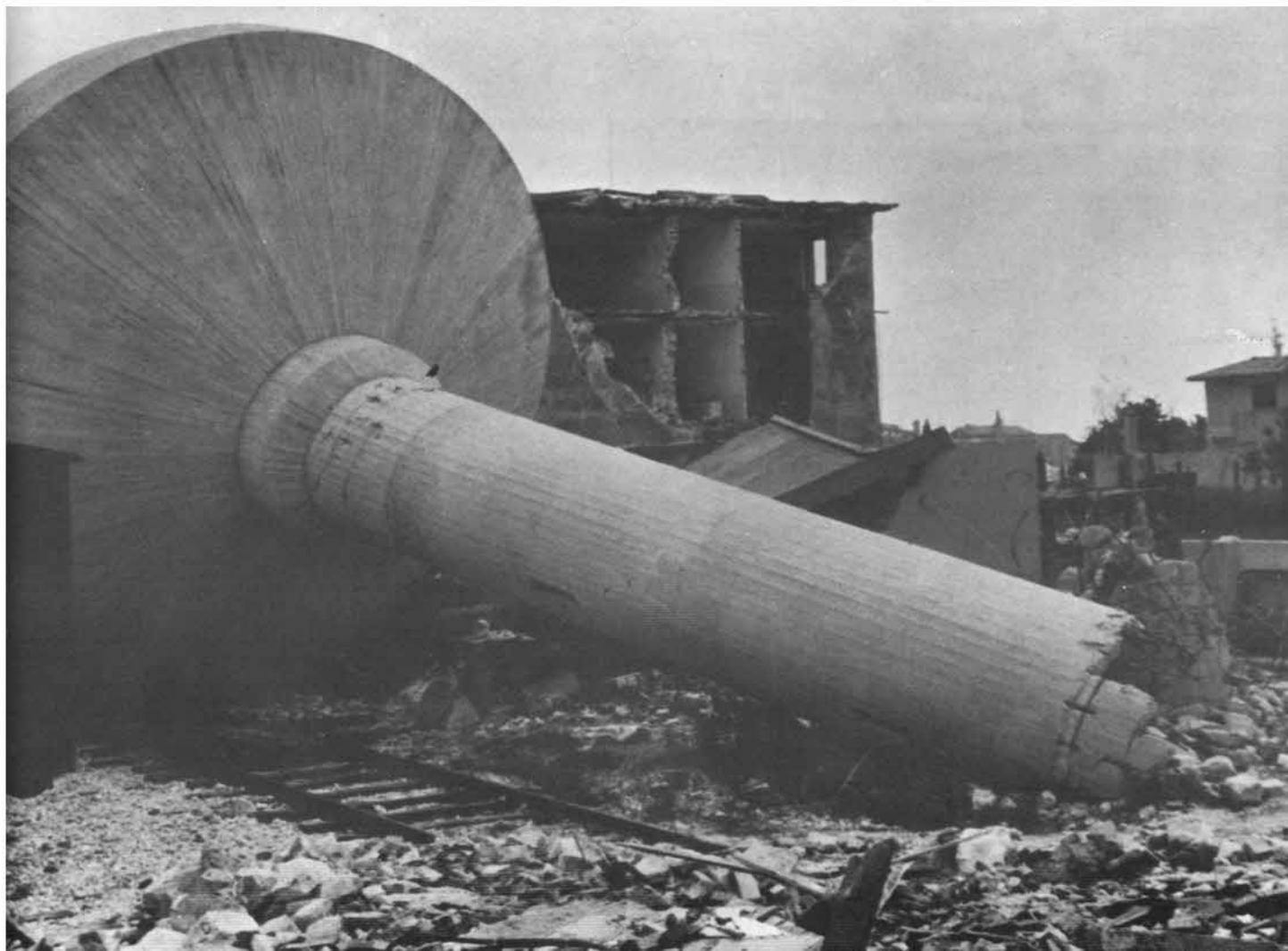
*Deposito esterno al  
cotonificio con strutture  
prefabbricate in c.a. Si noti la  
fuoruscita della trave  
reticolare dall'appoggio a  
forcina del pilastro.*



*fig. 8C)*

*Serbatoio idrico in c.a.crollato  
nella stazione F.S. di Gemona.*

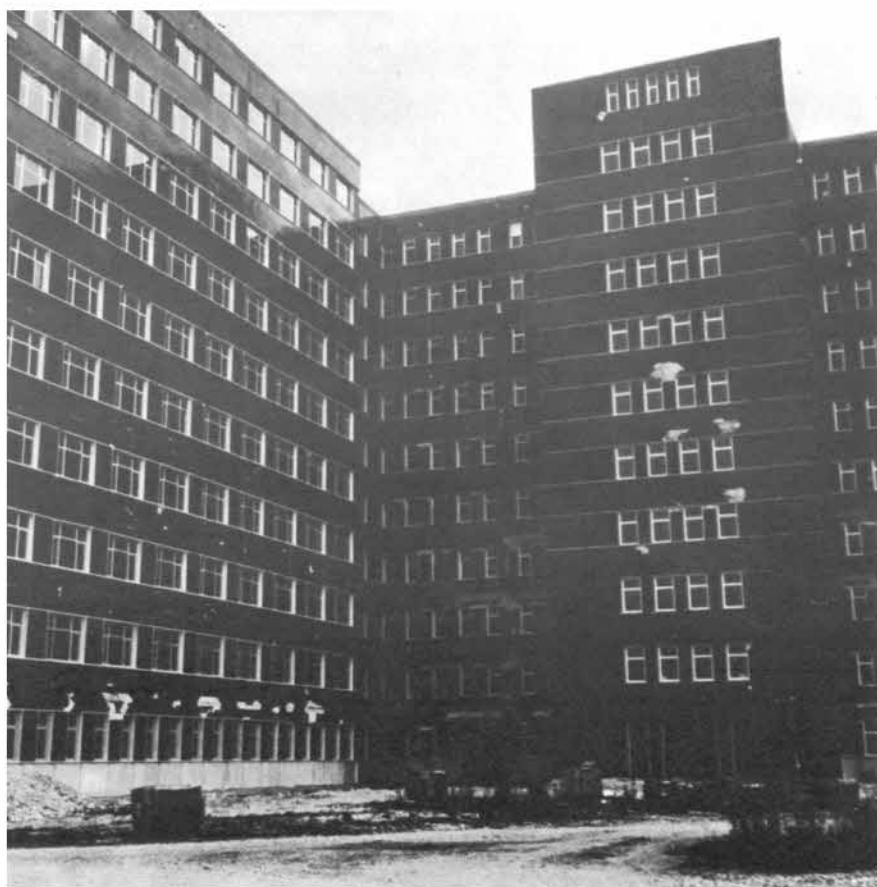
*fig. 9C) - Vista dello stesso da altra angolazione.*





*fig. 15C)*

*Veduta panoramica dello  
Ospedale nuovo di Gemona  
dal lato dell'entrata principale.*



*fig. 16C)*

*Stessa veduta presa da altra  
angolazione.*



*fig. 17C)*

*Veduta della parte posteriore dell'ospedale: notare la traslazione dei piani sovrastanti quello dissestato.*



*fig. 29C)*

*Altra veduta della parte posteriore dell'ospedale.*



*fig. 1D)*

*Interno della chiesa di  
S.Stefano in Gemona.*



*fig. 4D)*

*Facciata anteriore della chiesa  
della Madonna di Fossale.*



*fig. 10D) - Veduta dell'interno della stessa chiesa.*

## ZONA DI VENZONE



*fig. 18D)*

*Municipio: alcune parti di esso, rifatte dopo la guerra, non hanno subito danni di rilievo.*



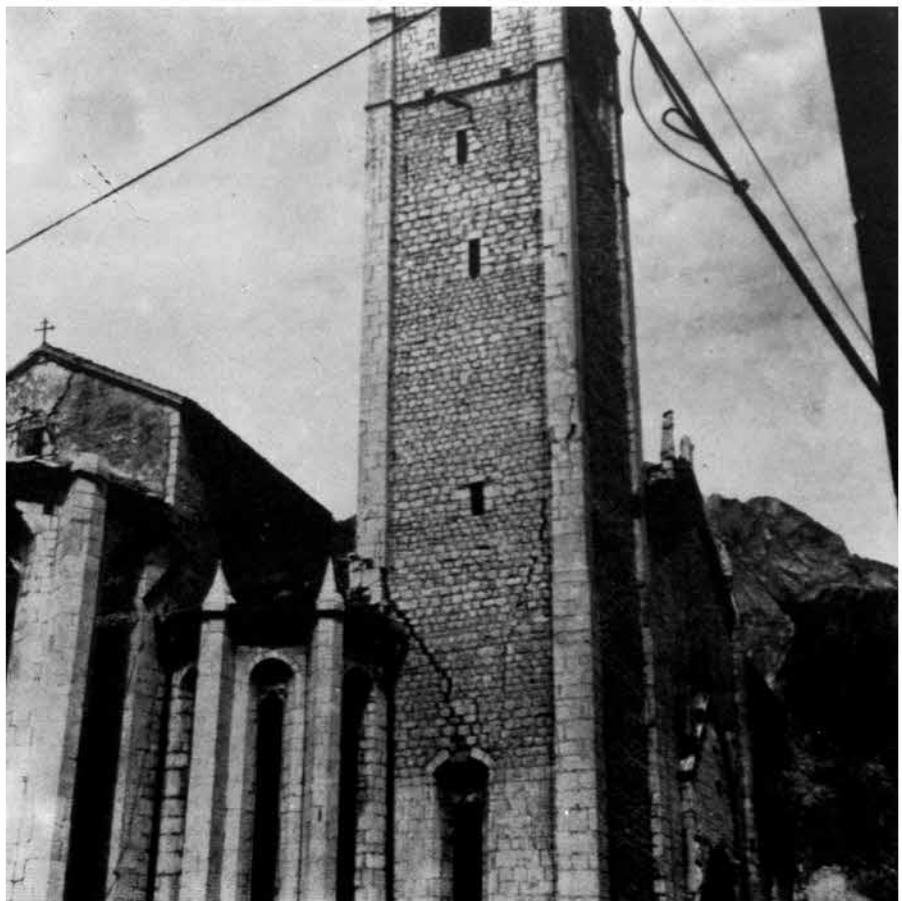
*fig. 20D)*

*Case diroccate nel centro storico: notare la funzione delle catene.*



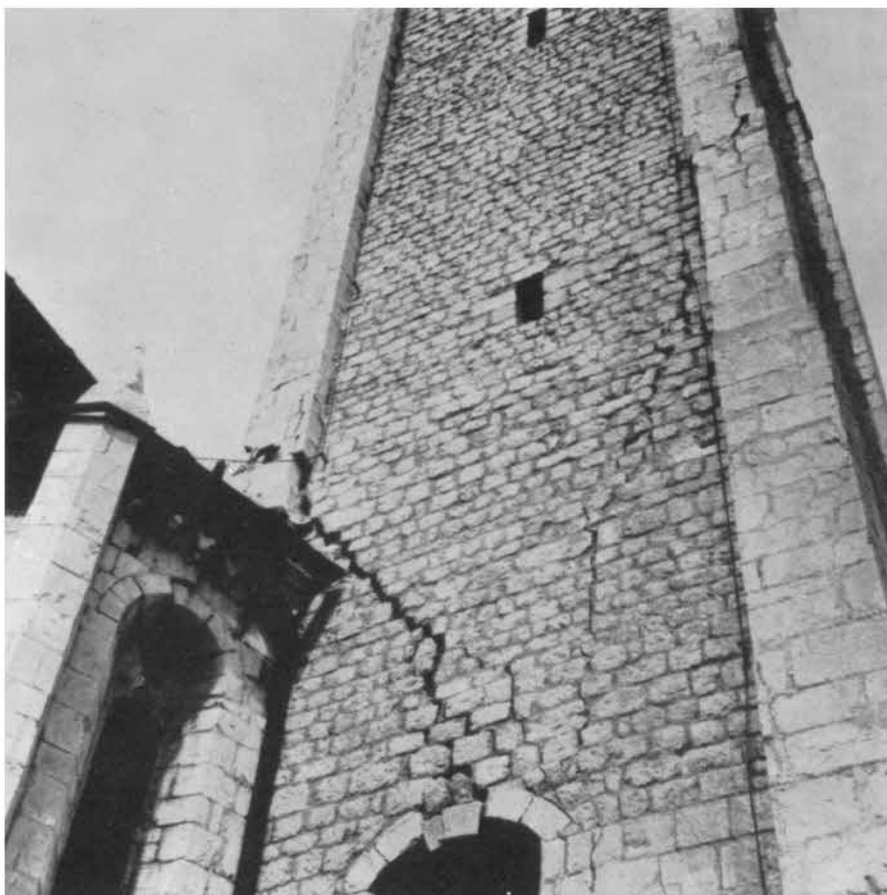
*fig. 25D)*

*Vista della facciata principale  
del Duomo di Venzone (1338)*



*fig. 27D)*

*Campanile del Duomo: si noti  
la lesione che esso presenta in  
basso e lo spostamento del  
concio di chiave nell'arco  
della finestra.*



*fig. 28D)*

*Particolare della lesione  
suddetta.*



*fig. 1E)*

*Veduta di rovine; sullo sfondo  
il campanile del Duomo.*



fig. 2E)

*Vista prospettica della navata  
centrale del Duomo.*



fig. 4E)

*Edificio con muratura della  
facciata parzialmente  
abbattuta probabilmente  
dall'azione di spinta del tetto.*

## ZONA DI BRAULINS



*fig. 5E)*

*Vista frontale del letto della  
frana del monte Brancot.*



*fig. 8E)*

*Case coloniche investite da un  
grosso masso franato.*

## ZONA DI MAIANO



*fig. 10E)*

*Cascinale con tetto  
semidiroccato antistante un  
edificio a cinque piani in c.a.  
che è stato completamente  
distrutto.*



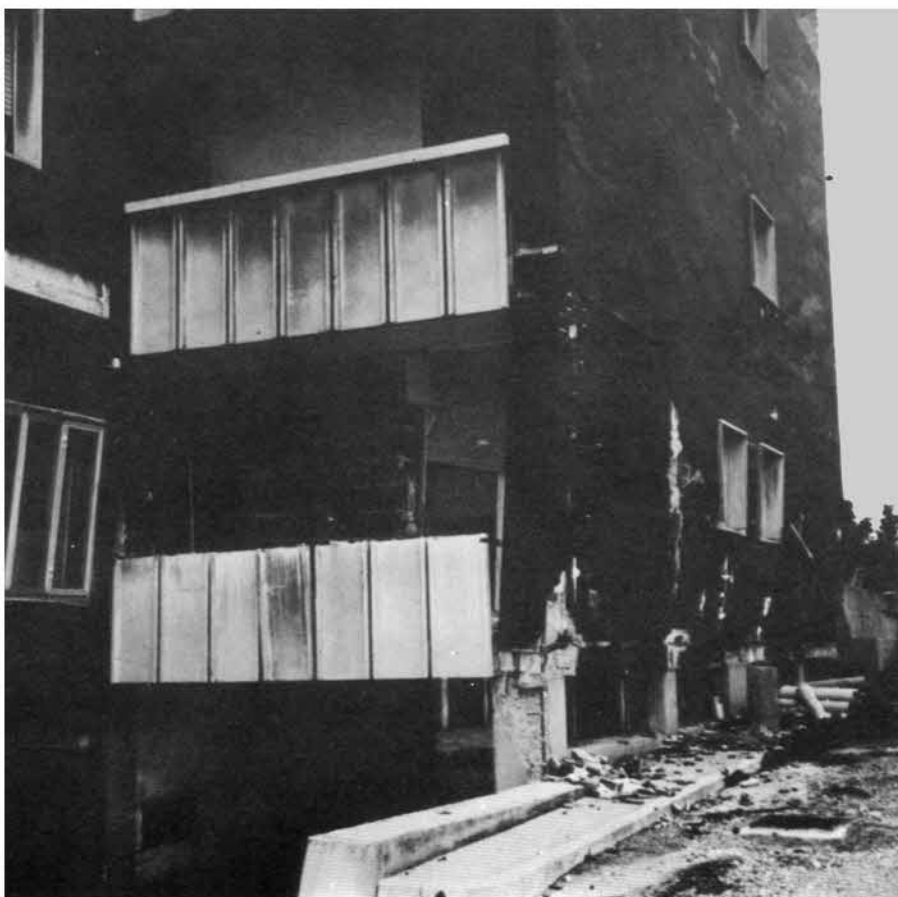
*fig. 11E)*

*Suolo su cui sorgeva l'edificio  
a cinque piani suddetto.*



*fig. 12E)*

*Edificio a L in c.a.: si noti  
l'uso dell'autoscala nelle  
operazioni di sgombero.*



*fig. 13E)*

*Spanciamento di un muro  
dell'edificio a L per la  
probabile spinta del solaio del  
primo piano.*

## ZONA DI BUIA



*fig. 24E)*

*Mezzi meccanici impiegati  
nella rimozione delle macerie  
all'opera in piazza di Madonna  
di Buia.*



*fig. 28E)*

*Ingresso principale della  
canonica: si noti lo  
spostamento relativo tra  
capitello e pilastro.*



*fig. 3F) - Campanile del Duomo: la struttura apparentemente in muratura è in realtà in c.a.-*

## ZONA DI ARTEGNA



fig. 4F)

*Edificio in c.a. con evidente traslazione dei due piani superiori.*

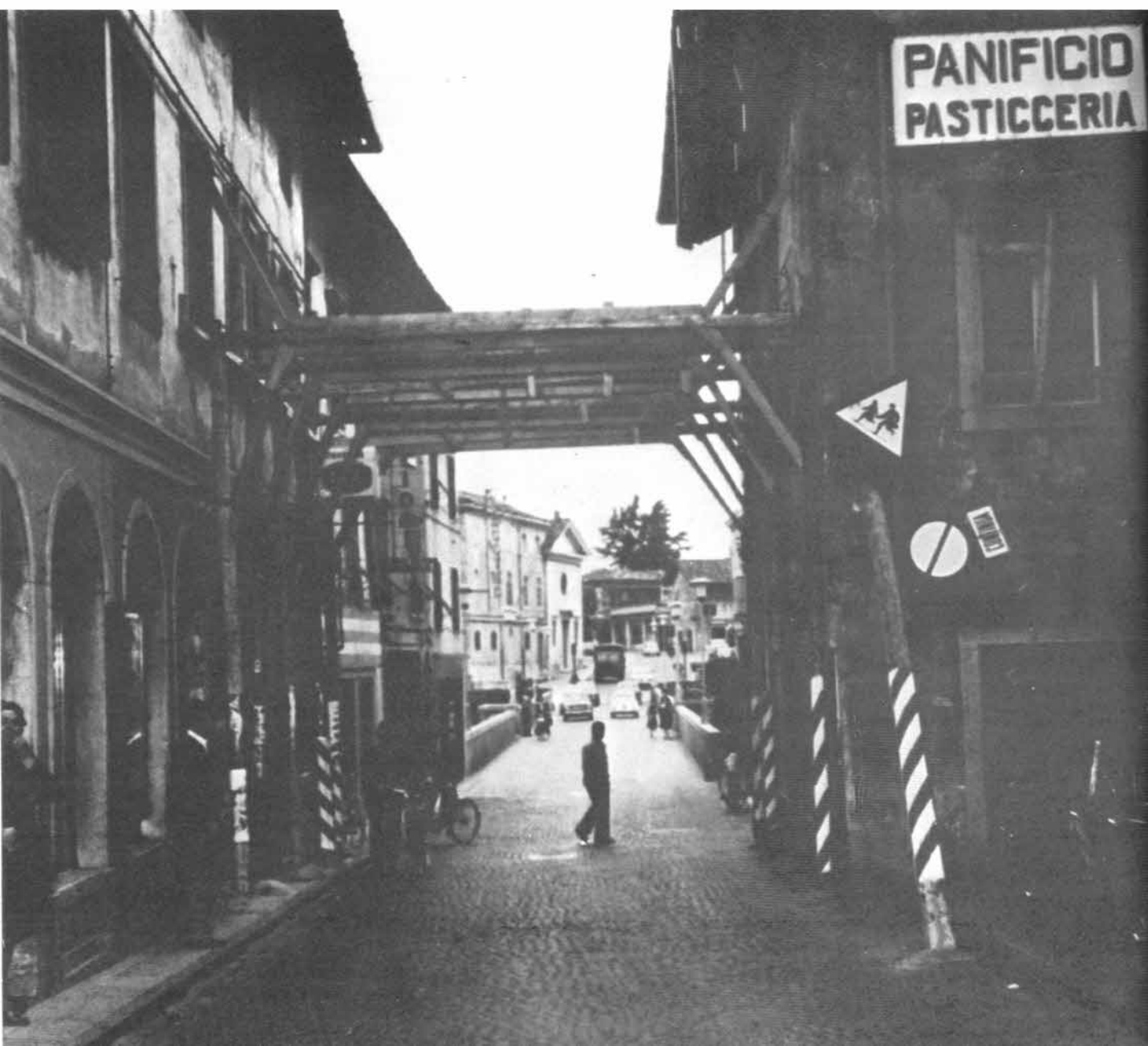


fig. 5F)

*Altra veduta dello stesso.*

## ZONA DI CIVIDALE

*fig. 11F) - Spanciamento di un muro di un edificio sito presso il Ponte del Diavolo e relativa puntellatura di contrasti*



## ***INDICE***

|                                                                                                       |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| PREFAZIONE . . . . .                                                                                  | Pag. 3 |
| INTRODUZIONE . . . . .                                                                                | » 5    |
| 2.1 - GENERALITA' SUI TERREMOTI . . . . .                                                             | » 9    |
| 2.2 - CENNI SULLA TETTONICA A ZOLLE CRO-<br>STALI . . . . .                                           | » 13   |
| 2.3 - PREVISIONE E PREVENZIONE DEI TERRE-<br>MOTI . . . . .                                           | » 21   |
| CENNI SULLE ORIGINI DEI FATTI SISMICI DEL<br>FRIULI . . . . .                                         | » 27   |
| 2.2 - TIPOLOGIA EDILIZIA PREDOMINANTE ED<br>EFFETTI DEL SISMA . . . . .                               | » 29   |
| 2.5 - COMMENTO SU ALCUNI ASPETTI SPECIFICI<br>DEL SISMA . . . . .                                     | » 33   |
| DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SUGLI ASPET-<br>TI DEL TERREMOTO NEL FRIULI DEL 6<br>MAGGIO 1976 . . . . . | » 39   |
| BIBLIOGRAFIA . . . . .                                                                                | » 45   |





*Elaborazione di Jionathan Big Bear - Orsi Mauro 2017*

