

---

# ***Introduzione***

In questo lavoro è stato affrontato il problema della propagazione dinamica di una rottura risolvendolo per fratture di taglio piane di tipo 2 – D ( con diverse leggi costitutive ) e di tipo 3 – D ( con la legge costitutiva di Ruina ). Un evento sismico è infatti associato alla propagazione nello spazio di una rottura, la quale ha origine in una regione della crosta terrestre che non riesce a sopportare, in termini di deformazioni plastiche, il carico di natura tettonica che la sollecita. Una rottura, in termini analitici, può essere vista come una deviazione dalla legge di Hooke per i mezzi elastici. L' energia che viene dissipata in seguito al terremoto viene spesa principalmente in tre modi: in parte contribuisce a produrre la frattura stessa, in parte si dissipa sotto forma di onde elastiche ed in parte viene trasformata in calore a causa dei processi di attrito che si manifestano durante lo scorrimento.

Per risolvere il problema dinamico si compiono due operazioni, che malgrado la correlazione reciproca sono diverse sia da un punto di vista fisico

che concettuale. Da un lato vengono formulati i criteri di frattura, che sono leggi fisiche che stabiliscono, in termini di energie oppure di forze in gioco, se e quando una zona sismogenetica può fratturare e se la rottura può propagarsi; dall' altro si introducono le leggi costitutive ( *governing equations* ), ovvero relazioni matematiche che descrivono l' andamento nello spazio e nel tempo delle proprietà reologiche della regione studiata. Due sono le classi fondamentali di queste equazioni costitutive: lo slip – weakening, proposto inizialmente da Andrews ( 1976a ), e le leggi di attrito introdotte da Dieterich ( 1978, 1979a, 1979b, 1981 ) e Ruina ( 1980, 1983 ) e da Madariaga & Cochard ( 1994 ) e Cochard & Madariaga ( 1995 ).

Uno degli scopi di questa tesi è quello di compiere un confronto tra queste leggi costitutive, al fine di evidenziarne le peculiarità ed i vantaggi nella simulazione di un processo di rottura. Ciò verrà compiuto studiando un sistema di tipo 2 – D, ovvero una situazione in cui la frattura si propaga, nel tempo, lungo una linea.

Nel primo capitolo viene illustrato lo stato dell' arte delle attuali conoscenze relativamente al problema della dinamica dei processi di frattura: dopo l' introduzione del concetto di evento sismico nella sua generalità, vengono ricavate le relazioni che costituiscono la rappresentazione dinamica della sorgente. Successivamente sono discusse le leggi costitutive che si associano a tali equazioni per risolvere il problema dinamico: lo slip – weakening da un lato e le leggi di attrito dall' altro.

Nel capitolo secondo, dopo avere discusso le ragioni analitiche e fisiche che rendono necessaria l' introduzione di una legge costitutiva per risolvere l' equazione fondamentale dell' elastodinamica ( ovvero relazioni da essa derivate ), vengono illustrati i codici numerici utilizzati in seguito per risolvere il problema dinamico relativamente ad un problema 2 – D. Tali codici sono stati proposti originariamente da Andrews ( 1985 ) e da Andrews ( 1973 ) ed Andrews & Ben – Zion ( 1997 ), ma sono stati implementati in questa tesi, come descritto nel capitolo quarto, con il fine principale di studiare l' effetto di distribuzioni non omogenee — e quindi fisicamente più realistiche — delle proprietà reologiche della faglia. Il codice proposto da Andrews ( 1985 ) per

risolvere il problema dinamico con slip – weakening è di tipo boundary integral, mentre il secondo codice, che affronta il caso con legge costitutiva Dieterich ridotta, è un metodo alle differenze finite.

Nel terzo capitolo, invece, è impostata la strategia numerica di soluzione di problemi di tipo 3 – D, ovvero tali per cui la rottura si estende in maniera complessa su di un piano. Viene anche posta l'attenzione sul problema della risoluzione minima del grigliato che discretizza il problema, introdotta da Rice ( 1993 ).

Nel capitolo quarto vengono presentati i risultati, la quasi totalità completamente originali, ottenuti attraverso simulazioni di fratture 2 – D. E' stato studiato l'effetto dei vari parametri costitutivi, ponendo l'attenzione sulle conseguenze della loro eterogeneità sul piano di frattura. Si è potuto così studiare l'effetto barriera nel caso dello slip – weakening, estendendo i risultati di Das & Aki ( 1977b ), ed ottenere la cicatrizzazione della frattura ( *healing* ) nel caso delle leggi di attrito. Inoltre, sempre tramite la variazione nello spazio dei parametri costitutivi delle leggi di attrito, è stato esteso al caso 2 – D il modello di Boatwright & Cocco ( 1996 ), che individua, per fratture 1 – D, quattro campi di velocità, ovvero quattro differenti comportamenti. Si è poi considerato il problema del confronto tra i parametri impiegati in esperimenti di laboratorio ed in fratture di dimensioni reali: lo *scaling* risulta particolarmente importante, poiché, nell'ipotesi che la dipendenza funzionale dell'attrito dai parametri costitutivi sia la stessa negli esperimenti di laboratorio e nei casi reali, consente di compiere simulazioni i cui risultati siano confrontabili con quelli che ci provengono da osservazioni sperimentali. E' stato altresì verificato che la discretizzazione utilizzata nelle simulazioni effettuate è sempre adeguata ad eccezione di un solo caso, nel quale effettivamente compare una complessità artificiale nella soluzione, proprio come previsto dai risultati di Rice ( 1993 ).

Al quinto capitolo è invece affidato il confronto tra leggi costitutive differenti: in un primo tempo sono confrontati lo slip – weakening e le leggi di attrito dipendenti dalla velocità e dallo stato, mentre in seguito sono confrontate tra loro le leggi Dieterich ridotta, la Dieterich originaria e quella di Ruina. Ciò è stato possibile grazie all'implementazione realizzata sul codice

per renderlo in grado di affrontare e risolvere il problema dinamico con le leggi costitutive diverse dalla Dieterich ridotta. In questo capitolo sono evidenziate le caratteristiche, i vantaggi ed i limiti di queste due classi di equazioni costitutive e sono state poi ricercate le analogie ( da un punto di vista fisico ) che possono esistere tra loro. Infine sono stati studiati i loro effetti sulle tre fasi fondamentali che caratterizzano un problema dinamico: *nucleazione*, *propagazione* ed *arresto*.

Nel sesto capitolo vengono presentati e discussi alcuni esempi di simulazioni di fratture 3 – D ottenute con un codice di calcolo che risolve una boundary integral equation utilizzando la legge costitutiva di Ruina. Questo argomento rappresenta una importante linea di ricerca futura, come discusso nel capitolo settimo.

In quest' ultimo, infatti, sono riassunte le conclusioni principali di questa tesi e gli sviluppi futuri più significativi, indicati alla luce dei più recenti indirizzi della ricerca scientifica.

I risultati ottenuti in questa tesi sono molto promettenti e si inseriscono in un acceso ed interessante dibattito nella comunità scientifica focalizzato sulla comprensione dei processi fisici che originano i terremoti e sui metodi analitici che permettono di simulare il comportamento dinamico di una faglia sismogenetica durante un terremoto e la sua estensione all' intero ciclo sismico.

L' impatto di questi studi è importante sia per la ricerca scientifica che per la riduzione degli effetti causati da un terremoto nell' ambiente circostante e quindi contribuisce in qualche modo alla definizione del rischio sismico di una determinata zona.