



Corso di Laurea Specialistica in
Geofisica di Esplorazione ed Applicata



Anno Accademico 2010/2011

Candidato **Tosi Marco.**
Laurea triennale in: **Scienze Geologiche**

Titolo della tesi

Analisi interferometrica delle onde di coda: un'applicazione al terremoto
dell'Aquila del 6 Aprile 2009

Relatore: **Gilberto Saccorotti**

Controrelatore: **Davide Piccinini**

Riassunto

Le onde di coda rappresentano gli arrivi tardivi in un sismogramma e risultano da processi di diffusione (*scattering*) alle numerose eterogeneità presenti nel mezzo di propagazione. I tempi di tragitto di queste onde, che percorrono traiettorie molto più lunghe rispetto a quelle seguite dagli arrivi diretti, sono pertanto molto sensibili ad eventuali perturbazioni nella velocità di propagazione.

I parametri fisici che controllano la velocità di propagazione delle onde sismiche sono a loro volta dipendenti da fattori quali lo stato di sforzo, il grado di saturazione e quello di microfratturazione delle rocce. Per questi motivi, la misura precisa delle variazioni nelle velocità sismiche, rappresenta un promettente campo di investigazione per l'individuazione di probabili segnali precursori a forti terremoti.

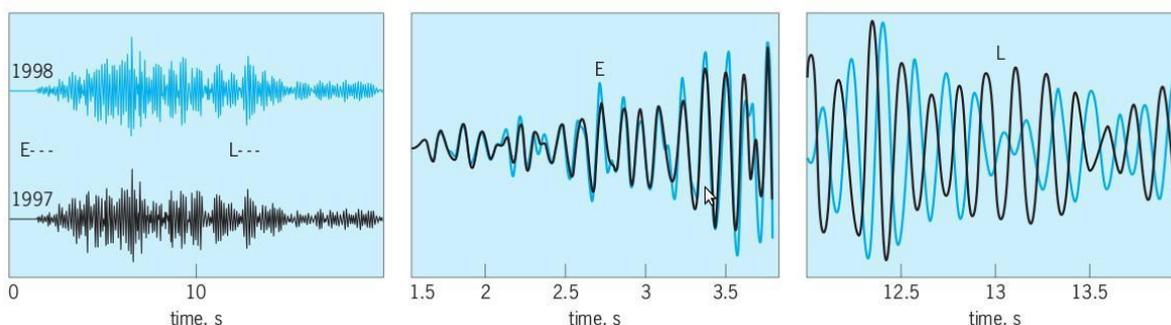


Fig: 1: Doppietta di eventi distanti un anno l'uno dall'altro (figura a sinistra). Si noti l'estrema somiglianza dei primi arrivi (figura centrale), e lo sfasamento delle onde nella coda (figura a destra)

Basata su queste premesse teoriche, l'interferometria delle onde di coda (*coda wave interferometry*, CWI) è una tecnica recente che permette di misurare, con una precisione molto elevata, eventuali cambiamenti nella velocità di propagazione delle onde elastiche. Sostanzialmente l'interferenza nelle onde di coda viene misurata comparando una coppia di eventi molto simili, denominata doppietta (*doublet*), ovvero due eventi che condividono il meccanismo focale, l'ipocentro e sono stati registrati da un medesimo strumento collocato nel medesimo luogo (Fig: 1). Se nel tempo che intercorre tra il primo e il secondo evento della doppietta, si ha una variazione nelle velocità sismiche, le onde di coda mostrano un'interferenza che permette, grazie alla tecnica CWI, una stima molto accurata dell'entità del cambiamento.

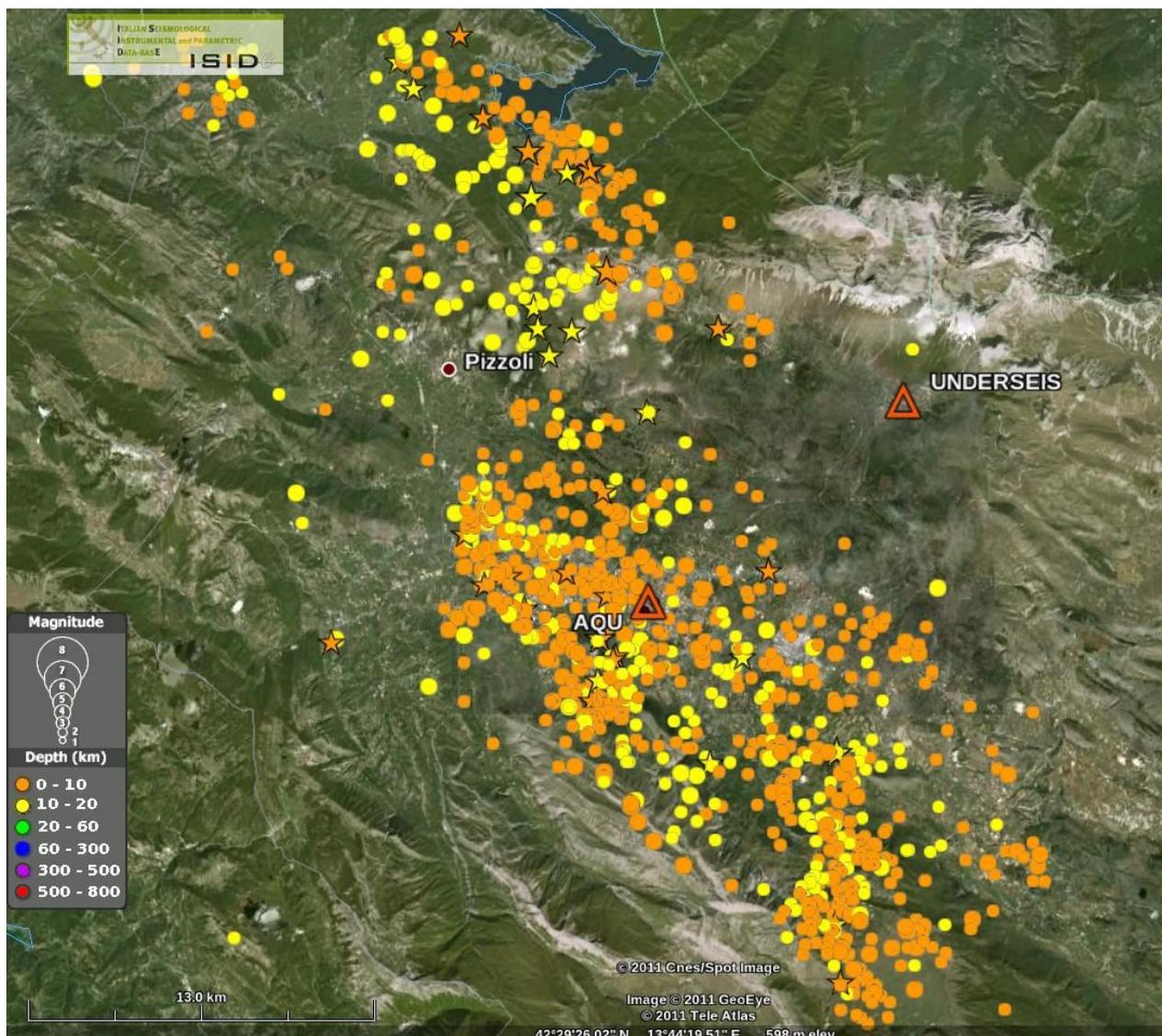


Fig 2: Mappa raffigurante gli eventi maggiori dello sciame sismico, la posizione dell'array UNDERSEIS e la posizione della stazione AQU

In questa tesi si applica il metodo CWI allo sciame sismico che ha preceduto il terremoto dell'Aquila del 6 Aprile 2009, con lo scopo di individuare possibili fenomeni precursori di questo devastante terremoto. Le registrazioni sismiche utilizzate provengono da due installazioni

strumentali differenti: dall'antenna UNDERSEIS, collocata nei laboratori sotterranei del Gran Sasso dell'INFN, e da una stazione della Rete Sismica Nazionale dell'INGV denominata AQU, ubicata nella città dell'Aquila. Attraverso un algoritmo *Short Time Average/Long Time Average* per la detezione di eventi sismici, si è individuata una base di dati iniziale costituita da 8100 e 288 piccoli terremoti per UNDERSEIS ed AQU, rispettivamente (Fig: 2). Da questi due cataloghi, utilizzando un calcolo di similarità basato sul coefficiente di correlazione, si sono individuate 780 ed 260 doppiette per l'array e la stazione singola, rispettivamente.

Le doppiette così individuate per entrambe le stazioni, sono distribuite in modo abbastanza uniforme lungo l'intervallo temporale compreso tra il 1 gennaio e il 6 Aprile 2009, e costituiscono il *dataset* di partenza sul quale applicare la tecnica CWI. Nell'implementazione del metodo, molta attenzione è stata dedicata al calcolo dell'errore da attribuire alle misure. Utilizzando il metodo della radice quadrata dei residui si ottengono valori eccessivamente sovrastimati, di gran lunga superiori agli ordini di grandezza attesi per le variazioni di velocità. L'impiego di una tecnica di tipo Montecarlo porta invece ad incertezze decisamente minori. Considerato ciò, abbiamo attribuito alle misure un errore di $\pm 0.01\%$, corrispondente all'errore più alto individuato con tecnica Montecarlo. Poiché l'antenna UNDERSEIS è composta da 19 stazioni a 3 componenti, per ogni doppietta sono disponibili le registrazioni di 19×3 canali. È chiaro che l'array, rispetto alla singola stazione, rappresenta uno strumento ideale per ottenere misure robuste.

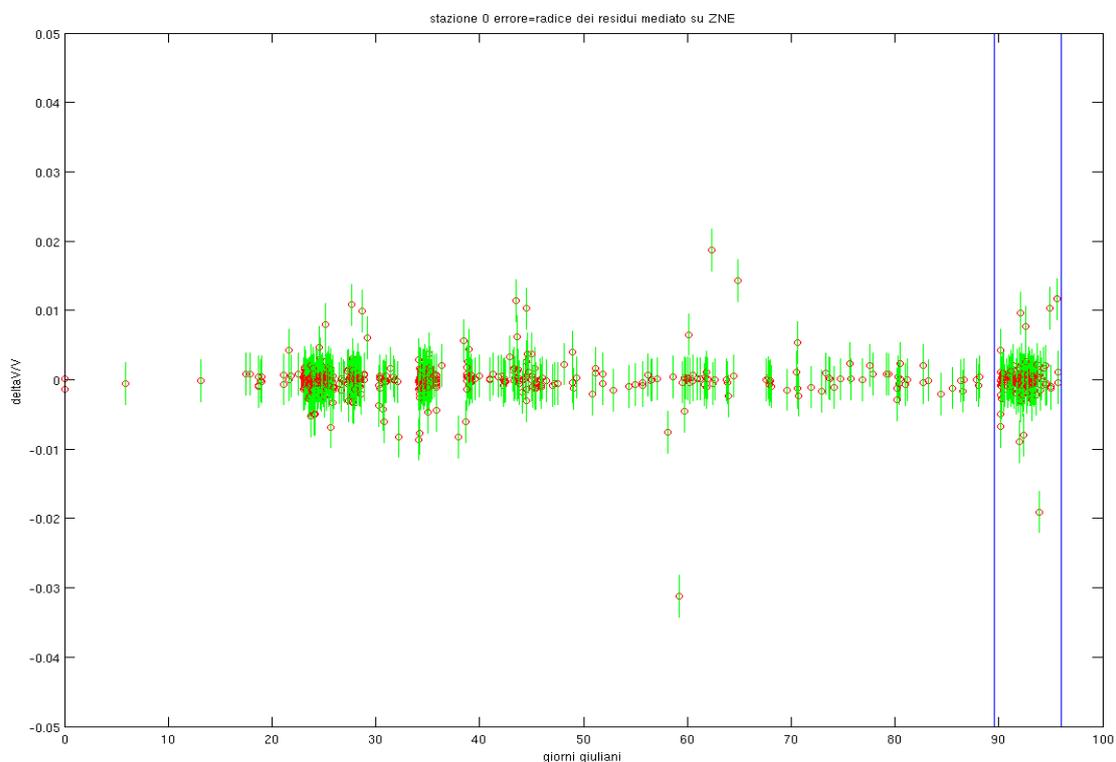


Fig: 3: Variazione di velocità individuata tramite una singola stazione dell'array, mediando i risultati sulle 3 componenti. Le barre verdi rappresentano l'errore (sovrastimato) calcolato con il metodo della radice quadrata dei residui, mentre le barre blu individuano il terremoto del 30 marzo $M=4$ e il mainshock del 6 Aprile.

Ciò nonostante, l'applicazione del metodo CWI ai dati di UNDERSEIS ha portato a variazioni percentuali di velocità che non sono state ritenute significative, essendo di gran lunga minori degli errori sperimentali (Fig. 3). Viceversa, la stazione AQU (ubicata in area epicentrale), mostra un incremento percentuale della velocità di propagazione di circa 0.1%, visibile su ogni componente, immediatamente dopo un terremoto di magnitudo M=4 occorso 6 giorni prima della scossa principale (Fig:4).

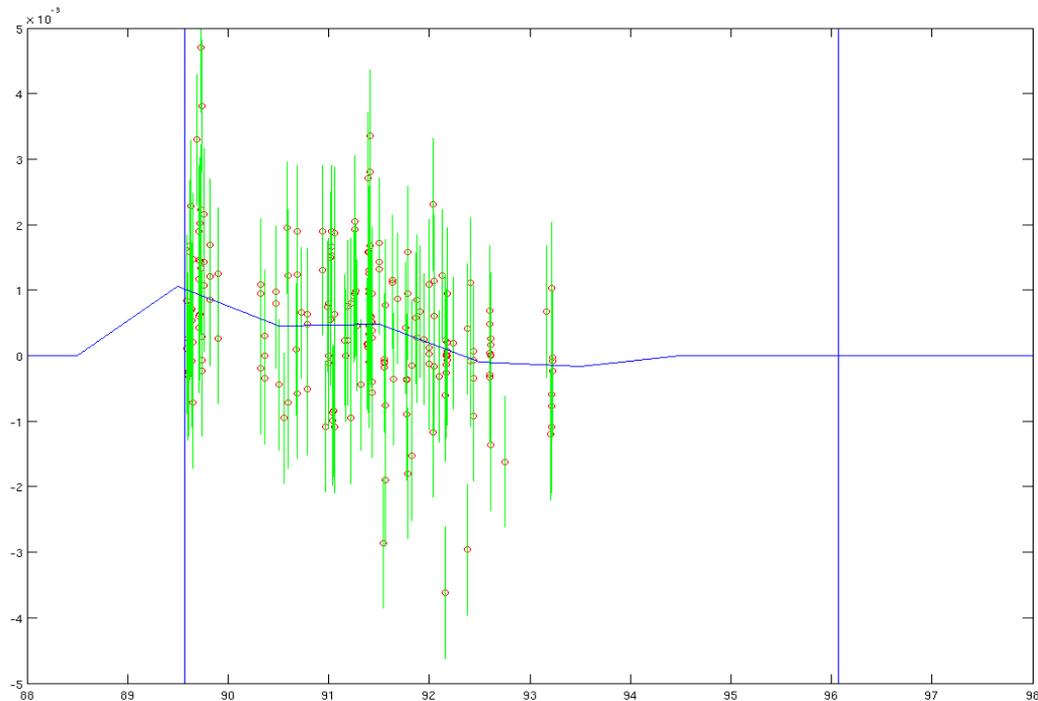


Fig: 4. Rappresentazione della variazione di velocità individuata tramite la stazione AQU. Le linee verticali rappresentano i terremoti del 30 Marzo e del 6 Aprile. La linea blu è una media mobile indicativa dell'andamento della variazione di velocità.

Un prima osservazione che emerge dall'esame di questi risultati riguarda l'estrema rapidità del cambiamento di velocità, che vediamo accadere su intervalli nell'ordine delle ore. La variazione di velocità così individuata, lascia spazio a diverse interpretazioni. In accordo con un modello proposto recentemente [Lucente et al., 2011], una possibile interpretazione implica un aumento della pressione dei fluidi nei pori, conseguente alla fratturazione dovuta al sisma di M=4. Un'altra interpretazione plausibile prevede che l'aumento della velocità di propagazione delle onde sismiche sia conseguente ad un incremento dello stress statico post sismico.

Nel caso qui trattato, la tecnica CWI si è rivelata efficace quando applicata nelle immediate vicinanze dell'area epicentrale, mentre non ha prodotto risultati accettabili già ad una distanza di 15 Km, ovvero la distanza che intercorre tra la città dell'Aquila e la posizione dell'array UNDERSEIS.