

Rapporti tecnici

INGV

**Implementazione di un sistema di
monitoraggio sismico dell'area garganica**

280



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO SISMICO DELL'AREA GARGANICA

Luigi Falco¹, Maddalena Michele²

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

²Università degli studi di Bari "Aldo Moro" (Dipartimento Scienze della terra e geoambientali)

280

Indice

Introduzione.....	7
1. Architettura della rete sismica OTRIONS.....	7
2. Il sistema di trasmissione dati.....	8
3. On Cell Central Manager Server	8
4. SEISCOMP3.....	10
4.1. Regionalizzazione di Seiscomp3	11
4.2. SCAUTOPICK	12
4.3. SCAUTOLOC	13
4.4. Eventi registrati nei primi due mesi di attività della rete OTRIONS	13
4.5. NONLINLOC	18
4.6. Modello di velocità regionale	20
5. Revisione manuale di un evento sismico.....	20
5.1. Scolv: revisione manuale in Seiscomp 3	21
6. Sala di Monitoraggio	28
Conclusioni	29
Bibliografia.....	29
APPENDICE A - Approccio linearizzato e approccio globale	30

Introduzione

La realizzazione della rete sismica sul promontorio del Gargano, prevista dal progetto OTRIONS, è stata ultimata il 23 Aprile 2013; da questa data i dati acquisiti dalla rete sono disponibili per il progetto. Molti eventi sismici sono stati registrati durante i primi due mesi di attività della rete. In questo report viene descritta l'infrastruttura realizzata per il monitoraggio sismico dell'area garganica con particolare attenzione al sistema di acquisizione, archiviazione, processamento ed analisi delle tracce sismiche registrate dalla rete OTRIONS. Il sistema è basato sull'utilizzo del software Seiscomp3, sviluppato dal GFZ di Potsdam, per la gestione in tempo reale dei dati digitali provenienti dalle stazioni sismiche remote.

1. Architettura della rete sismica OTRIONS

La rete sismica OTRIONS è costituita da 12 stazioni sismiche con sensore corto periodo (1 Hz) a tre componenti situate sul promontorio del Gargano. Un forte contributo alla rete OTRIONS è dato, inoltre, da alcune stazioni INGV. La disposizione geografica dei rilevatori sismici è mostrata in Fig. 1.



Figura 1. Dislocazione geografica delle stazioni sismiche (i markers gialli individuano le stazioni OTRIONS mentre quelli rosa le stazioni INGV).

I sensori sismici utilizzati sono dei Lennartz LE-3DV collegati al digitalizzatore SL06 (Fig. 2) prodotto dalla "Sara Electronic Instruments". Tra le caratteristiche tecniche più rilevanti del digitalizzatore si riportano: un consumo di corrente elettrica inferiore a 1 watt, convertitore A/D a 24 bit, un range dinamico di 124 db a 100 sps, una sensibilità di 2V p-p (119 nV/count) e possibilità di campionare in modalità standard fino a 200 sps. I dati sismici vengono trasmessi in tempo reale tramite protocollo applicativo SeedLink e contemporaneamente archiviati localmente tramite dispositivo USB direttamente collegato al digitalizzatore.



Figura 2. Acquisitore SARA SL06.

2. Il sistema di trasmissione dati

Per la trasmissione dati in tempo reale si utilizzano le reti dati cellulari ed in particolare le connessioni GPRS/EDGE o dove la copertura lo consente UMTS/HSDPA. I modem/router utilizzati per la connessione dati sono gli OnCell G3150 prodotti dalla MOXA (Fig. 3) mentre i provider di telecomunicazione sono Tim e Wind. I dati delle stazioni remote vengono acquisiti ed elaborati in tempo reale ai fini del monitoraggio sismico presso l'Università degli studi di Bari Aldo Moro e la società InnovaPuglia S.p.a. L'infrastruttura di acquisizione dati tra gli Hub centrali e le stazioni remote è di tipo client/server; in particolare la parte client è costituita dai processi software (i *chain plugin* di Seiscomp3) che risiedono sui server di UNIBA e InnovaPuglia S.p.A. mentre la parte server risiede direttamente sui digitalizzatori SARA ed è costituita dal server SeedLink.



Figura 3. Modem/Router Moxa OnCell G3150.

La gestione della connettività di tipo cellulare avviene in modo differente tra TIM e WIND. In particolare l'operatore TIM consente tramite il suo apn *ibox.tim.it* di assegnare al dispositivo MOXA remoto un ip WAN pubblico dinamico e traffico dati bidirezionale. Questo ad esempio, consente di contattare direttamente la stazione sismica remota lasciando a noi la gestione delle politiche di accesso (Firewall). Discorso ben diverso per l'operatore WIND per il quale l'indirizzo ip WAN assegnato è di tipo privato ed il traffico dati sull'apn *wind.it* non consente traffico dati bidirezionale ma solo traffico in uscita; in questo caso il dispositivo remoto non è direttamente contattabile se non attraverso l'implementazione di soluzioni VPN. Purtroppo la realizzazione di un tunnel VPN introduce un overhead di banda (già limitata nelle connessione dati cellulari) dovuto proprio all'instaurazione di un collegamento sicuro tra il dispositivo remoto e la rete di acquisizione dati centralizzata. Per ovviare a questo inconveniente la MOXA suggerisce l'implementazione presso la rete di acquisizione dati di un OnCell Central Manager Server. Siccome il provider che maggiormente copre l'area garganica è WIND abbiamo dovuto utilizzare questa soluzione software proposta dalla MOXA anche se a nostro avviso non garantisce un elevato livello di sicurezza nello scambio dati così come avviene per le tecnologie VPN ormai consolidate.

3. On Cell Central Manager Server

È un server-software realizzato dalla MOXA per consentire ai dispositivi remoti che non possono essere contattati direttamente tramite IP pubblico di autenticarsi ad un server centrale che ha il compito di realizzare dei *SERVICES FORWARDING*. Ogni connessione del dispositivo remoto verso il server centrale sarà automaticamente resa disponibile su una porta TCP del server OnCell Central Manager. Per chiarezza si riporta un esempio: il digitalizzatore SARA SL06 utilizza la porta TCP 18000 sulla quale è attivo il servizio Seedlink per lo scambio dati. Nella fase di autenticazione al server centrale, il dispositivo remoto MOXA G3150 comunica al server OnCell di voler esportare il servizio TCP 18000 del digitalizzatore SL06. Il server ONCell Central Manager se opportunamente configurato renderà disponibile su una sua porta TCP (per esempio 32004) la connessione TCP 18000 del digitalizzatore SARA. Essendo l'OnCell Central Manager su ip pubblico, basterà fare riferimento alla sua porta 32004 per aver accesso bidirezionale alla digitalizzatore SARA remoto. La Fig. 4 mostra l'interfaccia web di configurazione del server OnCell Central Manager.

Device MAC	Device Name	Device Series	WAN IP	LAN IP	FW Version	Last Connected
00:90:E8:33:7	OT02 - 329335	OnCell G3100-HSDPA series	10.23.56	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 09:02:37
00:90:E8:33:7	OT12 - 338436	OnCell G3100-HSDPA series	217.201	192.168.2.1	1.4	2013/11/26 08:19:39
00:90:E8:2E:8	OT03 - 320296	OnCell G3100-HSDPA series	10.19.22	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 03:26:56
00:90:E8:2E:8	OT10 - 334836	OnCell G3100-HSDPA series	217.201	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 09:19:02
00:90:E8:2E:8	OT11 - 334836	OnCell G3100-HSDPA series	217.203	192.168.2.1	1.4	2013/11/07 19:14:12
00:90:E8:33:7	OT07 - 329331	OnCell G3100-HSDPA series	10.60.81	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 03:29:48
00:90:E8:2E:8	OT06 - 334836	OnCell G3100-HSDPA series	217.201	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 03:27:04
00:90:E8:2E:8	OT08 - 333356	OnCell G3100-HSDPA series	217.203	192.168.2.1	1.4	2013/11/15 09:06:27
00:90:E8:33:7	OT05 - 329328	OnCell G3100-HSDPA series	10.255.2	192.168.2.1	1.4	2013/10/09 02:50:31
00:90:E8:2E:8	OT04 - 329307	OnCell G3100-HSDPA series	10.210.1	192.168.2.1	1.4	2013/12/13 04:31:40
00:90:E8:33:7	OT09 - 320296	OnCell G3100-HSDPA series	10.36.14	192.168.2.1	1.4	2013/12/03 17:41:03
00:90:E8:33:7	OT01 - 329325	OnCell G3100-HSDPA series	10.234.7	192.168.2.1	1.4	2013/10/24 11:50:18

Figura 4. Interfaccia web di amministrare dell'OnCell Central Manager.

La Fig. 5 descrive invece il layout di rete dell'intera infrastruttura di acquisizione dati e la rappresentazione dell'intero flusso dati; in particolare i modem/router remoti si autenticano sull'OnCell Central Manager (presso l'Università di Bari) il quale riserverà univocamente una sua porta TCP per ogni stazione sismica remota affinché il server Seiscomp3 possa far riferimento ad esse per richiedere le forme d'onda di ciascun rilevatore sismico. Il server Seiscomp3, inoltre, acquisisce dal server SeedLiNK dell'INGV ulteriori stazioni sismiche al fine di intensificare la rete nell'area del promontorio del Gargano. Tutti i dati in tempo reale acquisiti da INGV e da OnCell vengono poi archiviati nel NAS di UNIBA e inviati in tempo reale al server Seiscomp3 presso InnovaPuglia.

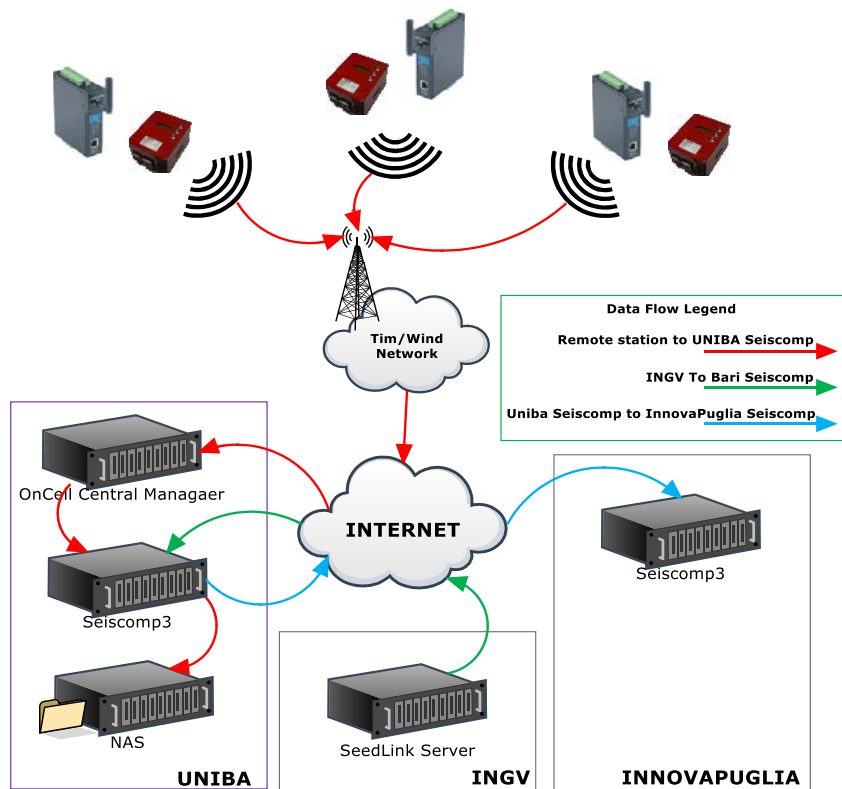


Figura 5. Flusso dati dalle stazioni remote ai server di acquisizione Seiscomp3.

4. SEISCOMP3

Seiscomp è il software più diffuso al mondo per l'acquisizione e lo scambio di dati sismologici su internet. Il suo protocollo di trasmissione dati SeedLink è diventato lo standard de facto a livello mondiale. La prima versione di Seiscomp fu sviluppata per la rete GEOFON e successivamente estesa grazie al progetto MEREDIAN sotto la leadership di GEOFON/GFZ Potsdam e ORFEUS. Le principali funzionalità di Seiscomp3 sono:

- Acquisizione dati
- Controllo di qualità dei dati acquisiti
- Archiviazione dati
- Scambio dati in tempo reale
- Monitoraggio delle reti sismiche
- Distribuzione dei dati acquisiti
- Sistema automatico di detezione e localizzazione eventi sismici
- Sistema interattivo di revisione manuale degli eventi sismici

Il pacchetto software Seiscomp consiste in un set di moduli applicativi indipendenti ognuno dei quali realizza una funzione ben precisa. La comunicazione tra questi moduli è realizzata mediante un sistema di messaggistica di tipo TCP/IP. Si tratta del famoso toolkit open source "Spread" che fornisce un servizio di messaggistica molto performante non solo in ambito di rete locale ma anche tra reti remote. Questo consente infatti di distribuire i vari moduli su hardware differenti dislocati in aree geografiche diverse. Ovviamente il toolkit Spread non fornisce in maniera nativa tutti gli strumenti necessari per lo scambio dati tra i vari moduli di Seiscomp; è per questo che il vero "mediator" di Seiscomp3 è il modulo *scmaster* che ovviamente estende le funzionalità del toolkit *Spread*. La Fig. 6 mostra uno schema esemplificativo del *mediator* e lo scambio dati con alcuni moduli di seiscomp.

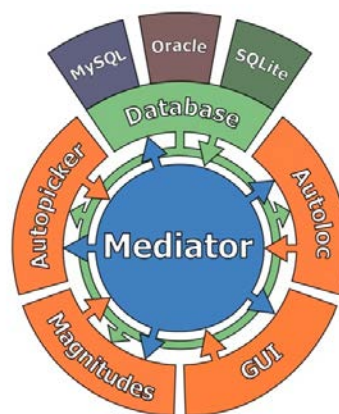


Figura 6. Schema dei moduli di Seiscomp3.

Di default Seiscomp3 utilizza come database MySQL ma è supportato anche PostgreSQL.

I vari moduli di Seiscomp3 possono essere divisi in quattro differenti gruppi: acquisizione dati, processamento, GUI per l'interazione col sistema e utility varie. Di seguito sono riportati i moduli e una breve descrizione:

Modulo	Gruppo	Descrizione
Seedlink	Acquisizione dati	Server di acquisizione dati
Arclink	Acquisizione dati	Server di distribuzione dati
scmaster	Processamento	Mediator del sistema di messaggistica tra i vari moduli
scqc	Processamento	Controllo di qualità dei sismogrammi in tempo reale
scautopick	Processamento	Picker automatico delle forme d'onda

scautoloc	Processamento	Detezione e localizzazione automatic degli eventi
scamp	Processamento	Calcolo ampiezza sismogramma
scmag	Processamento	Calcolo magnitudo
scevent	Processamento	Associatore origini, stima della migliore localizzazione
scrttv	GUI	Monitor delle forme d'onda
scmv	GUI	Mappa delle stazioni sismiche e loro status
scesv	GUI	Monitor di visualizzazione ultimo eventi sismici localizzati
scolv	GUI	Picking e localizzazione manuale degli eventi
scqcv	GUI	Monitor controllo di qualità dei dati acquisiti
scmm	GUI	Monitor dei messaggi scambiati tra i vari moduli
scbulletin	utility	Creazione bollettino di un evento
scdb	utility	Inserimento oggetti nel db da file di tipo QuakeML
scevtlog	utility	Logging storia degli eventi
scevtls	utility	Lista eventi all'interno di un intervallo temporale
scevtstreams	utility	Lista forme d'onda che hanno contribuito alla loc. di un evento
scimport	utility	Inoltro di messaggi da un sistema a un altro
scm	utility	Monitor delle performance del sistema tipo Top di Linux
scvoice	utility	Riproduzione messaggio sonoro a seguito di evento sismico
scxmldump	utility	Dump di un evento dal db in formato QuakeML
sczip	utility	Implementazione zip di Seiscomp3

4.1. Regionalizzazione di Seiscomp3

Seiscomp3 è un software nato per l'investigazione di dati tele-sismici, registrati mediante l'utilizzo di reti sismiche estese. Per tale motivo, la configurazione di default, inerente al processamento automatico dei dati, prevede parametri relativi ad indagini che si estendono a tutto il globo terrestre: il sistema per realizzare localizzazioni automatiche degli eventi sismici, necessita in input, dei range di latitudine e di longitudine entro cui indagare al fine di determinare la posizione più probabile di un terremoto individuato. Inoltre, quanto più l'evento è intenso, ovvero caratterizzato da una magnitudo elevata, tanto più semplice è determinare la posizione ipocentrale (se la magnitudo è elevata, l'evento è avvertito da un numero elevato di stazioni e di conseguenza, l'errore commesso nel determinare la localizzazione si riduce). In generale, la ricerca dell'ipocentro più probabile viene realizzata su di una griglia, caratterizzata dai parametri (tab.1).

	latitudine	longitudine	Profondità	spaziatura	distanza massima dalle stazioni	numero minimo di fasi
default	0-90°N o 0-90°S	0-180°E o 0-180°W	10 km	5°	180°	8

Tabella 1. Griglia relativa ad una configurazione globale.

Nel caso di configurazione "globale", si sceglie quindi di ricercare l'ipocentro, su di una griglia molto estesa. Una configurazione di questo tipo, è possibile nel momento in cui si disponga di una rete sismica adeguata. Nel caso del Gargano, la rete sismica OTRIONS, copre un'area di circa 10 x 10 km² ed è pertanto adatta alla localizzazione degli eventi sismici di piccola magnitudo. Essendo di tipo locale, non permette di spaziare in range così ampi di latitudine e longitudine. Inoltre, il tipo di studio che si vuole effettuare sulla regione, riguarda l'analisi di eventi sismici di piccola e grande intensità. L'area garganica è investita frequentemente da eventi che superano di poco una magnitudo pari a 2, per cui è stato necessario ridimensionare la configurazione per adattarlo al nostro caso di studio. I parametri scelti per la configurazione sono i seguenti:

	latitudine	longitudine	Profondità	spaziatura	distanza massima dalle stazioni	numero minimo di fasi
OTRIONS	39-42°N	14-17°E	20 km	1°	180°	3

Tabella 2. Griglia relativa alla configurazione regionale dell'area garganica.

I parametri in tab. 2 corrispondono all'area geografica, riportata in fig. 7.



Figura 7. Area geografica corrispondente alla nuova griglia definita.

La **profondità** di 20 km è stata scelta, essendo i terremoti in genere concentrati in una profondità compresa tra strati molto superficiali di crosta (anche 2,3 km) fino ad arrivare ad un massimo di 20 km. La **spaziatura** è stata ridotta, per poter investigare su celle più piccole: una spaziatura minore permette di discriminare eventi locali ravvicinati. La **distanza massima delle stazioni** non è stata modificata, per ricevere informazioni relative anche ad eventi non locali, né regionali. Tale assunzione, è stata fatta con la consapevolezza, che le informazioni relative ad eventi distanti, necessitano di una revisione manuale, prima di essere considerate affidabili: sebbene in prima approssimazione, informazioni su eventi distanti, contengano incertezze elevate, scartarle potrebbe comportare la perdita di informazioni sismiche, che danno supporto alle analisi locali e regionali. Il **numero minimo di fasi** è stato settato a 3: anche tale valore è stato ridotto, con l'obiettivo di localizzare ogni piccolo evento. La localizzazione di un terremoto è realizzabile se si dispone di un numero minimo di stazioni, equivalente a 3: abbiamo inserito il numero minimo affinché avvengano tutte le localizzazioni automatiche possibili, tenendo sempre conto del fatto che, esse vadano confermate da una revisione manuale.

La configurazione globale appena descritta si traduce praticamente nelle opportune configurazioni dei moduli principali del sistema; **scautopick** per il rilevamento automatico delle fasi ed **scautoloc** per l'elaborazione automatica dell'ipocentro. Nei paragrafi successivi si riportano brevemente le personalizzazioni applicate a questi 2 moduli.

4.2. SCAUTOPICK

Il modulo **scautopick** è stato configurato con i parametri riportati di seguito ed la griglia di investigazione è stata personalizzata come precedentemente descritto.

In dettaglio, i parametri su cui sono state effettuate modifiche, rispetto alla configurazione di default:

- **filter:** RMHP(10)>>ITAPER(30)>>BW(4,0.7,2)>>STALTA(2,80); è stata conservata la configurazione di default che prevede, filtri in cascata, di cui il primo (RMHP) rimuove l'offset----> il secondo, convolve il segnale con una funzione cosinusoidale su una finestra di 30s (ITAPER)---->

il terzo, è un filtro butterworth(BW) passa-banda del 4° ordine, con frequenze d'angolo 0.7-2 Hz-----
> il quarto, determina il rapporto tra STA (Short Term Average) e LTA (Long Term Average), considerando la media su 2s (STA) e la media di 80s (LTA) di segnale;

- **timeCorrection:** 0.0; questo valore corrisponde alla correzione temporale applicata ai picking realizzati: nel caso di una finestra STA piccola (2s), non c'è bisogno di uno shift temporale arbitrario;
- **initTime:** 20; questo valore definisce una finestra temporale in secondi, in cui il picker è "insensibile", vale a dire, dopo aver realizzato un picking, il picker necessita di un tempo dedicato all'applicazione del filtro, per poter successivamente essere riattivato;
- **maxGaplength:** 0.5; questo valore corrisponde al massimo intervallo, al di sopra del quale, viene resettato il picker. Di default è 4.5 s: nel nostro caso consideriamo un intervallo inferiore;
- **amplMaxTimeWindow:** 2; tale valore stabilisce la massima ampiezza delle forme d'onda filtrate. Il suo valore di default è 10s, qui modificato in 2 s, in modo tale da velocizzare la riattivazione del picker;
- **deadTime:** 0; corrisponde alla durata di "insensibilità" del picker, dopo la realizzazione di un picking.

4.3. SCAUTOLOC

Nel modulo **scautoloc**, i parametri sono stati modificati per assicurare una vasta acquisizione dati: in seguito al processamento automatico, avviene una revisione manuale, attraverso cui scartare ciò che in principio viene classificato come un evento sismico. Sono stati settati infatti i seguenti parametri, conservando per i rimanenti la propria configurazione di default:

- **maxRMS:** 20; tale valore corrisponde ad un massimo valore ammissibile di errore, pari a 20 s, che è un intervallo altissimo; la filosofia è accettare inizialmente tutto ciò che può sembrare un evento sismico e successivamente, con un'analisi a posteriori, stabilire la veridicità della propria assunzione;
- **maxResidual:** 30; tale valore corrisponde al massimo residuo individuale (non pesato), tra dato teorico e dato osservato, affinché un picking possa contribuire alla localizzazione. Anche per questo valore, è stato considerato un intervallo largo, sulla base della successiva analisi a posteriori da svolgere. Tali valori, vanno riconfigurati, nel caso in cui si voglia accertare una localizzazione automatica affidabile;
- **thresholdXXL:** 10000000; valore di ampiezza che permette di etichettare un evento XXL. Con tale configurazione è disabilitata l'azione di etichettaggio;
- **minPhaseCount:** 3; è il minimo numero di fasi affinché avvenga una localizzazione(spiegato anche precedentemente);
- **profile:** iasp91; corrisponde al modello di velocità utilizzato nella localizzazione automatica.

4.4. Eventi registrati nei primi due mesi di attività della rete OTRIONS

Durante i primi due mesi di attività sono stati registrati dalla rete sismica OTRIONS 67 eventi sismici dislocati geograficamente come mostrato in fig. 8 e fig.9. Nel primo mese la detezione degli eventi è stata supportata dall'acquisizione di forme d'onda di ulteriori 5 stazioni sismiche di proprietà dell'INGV. Per ogni evento riportato in tab. 3, è stata effettuata una revisione manuale, sia della fase di picking che della rilocalizzazione (LOCSAT). Successivamente, sono stati confrontati i parametri della localizzazione ottenuta, con eventuali localizzazioni corrispondenti, temporalmente e spazialmente, presenti nei cataloghi INGV ed EMSC. Gli eventi localizzati dalla rete Otrions dei quali non si è trovato un riscontro nei cataloghi INGV ed EMSC sono riportati in tab. 4 e fig. 10.



Figura 8. Dislocazione geografica eventi localizzati e rivisti con Seiscomp3.



Figura 9. Dislocazione geografica eventi localizzati e rivisti con Seiscomp3. Ingrandimento sull'area garganica. (I cerchi rossi sono gli eventi mentre in giallo sono rappresentate le stazioni sismiche OTRIONS).

Date & Magnitude	OTRIONS				INGV				EMSC			
	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)
24/04 1.5	02:46:50	41.40 ± 0.18	14.87 ± 0.08	0	--	--	--	--	--	--	--	--
26/04 1.9	23:25:55	41.48 ± 0.14	14.91 ± 0.06	0	23:25:55	41.49	14.97	22.7	--	--	--	--
28/04 1.9	01:23:00	41.58 ± 0.23	14.82 ± 0.09	6 ± 16	01:23:03	41.50	14.95	28.8	--	--	--	--
30/04 1.1	01:12:19	41.53 ± 0.08	15.19 ± 0.11	13 ± 20	--	--	--	--	--	--	--	--
30/04 1.6	04:09:21	41.58 ± 0.03	15.80 ± 0.02	5 ± 4	--	--	--	--	--	--	--	--
30/04 2.5	12:12:00	40.85 ± 0.27	16.98 ± 0.23	0	12:12:04	40.83	16.57	33.5	12:12:04	40.83	16.57	34
30/04 0.8	22:38:27	41.70 ± 0.02	15.80 ± 0.02	20 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
01/05 0.6	01:31:19	41.18 ± 0.06	16.14 ± 0.08	0	01:31:20	41.28	16.07	3.2	--	--	--	--
01/05 2.1	01:34:52	41.46 ± 0.23	14.34 ± 0.06	0	01:34:54	41.45	14.46	7.5	01:34:54	41.45	14.46	8
01/05 1.9	06:00:41	41.47 ± 0.09	14.89 ± 0.11	3 ± 7	06:00:42	41.52	14.96	27.7	--	--	--	--
01/05 2.3	08:30:44	42.21 ± 0.13	15.28 ± 0.23	0	--	--	--	--	--	--	--	--
01/05 0.9	19:38:36	41.63 ± 0.04	15.81 ± 0.05	0	--	--	--	--	--	--	--	--
02/05 2.4	02:24:39	42.69 ± 0.05	15.32 ± 0.12	6 ± 16	02:24:39	42.50	15.55	10	02:24:39	42.50	15.55	10
03/05 0.3	03:49:58	41.73 ± 0.04	15.73 ± 0.03	19 ± 6	--	--	--	--	--	--	--	--
04/05 3.8	05:11:14	44.64 ± 0.53	13.28 ± 0.64	288 ± 85	05:11:08	44.87	11.45	8.0	05:11:08	44.87	11.45	8
04/05 3.3	14:54:37	44.22 ± 0.81	19.85 ± 0.14	0	--	--	--	--	14:54:39	41.88	20.02	10
06/05 1.7	08:05:40	41.69 ± 0.04	15.85 ± 0.05	0	--	--	--	--	--	--	--	--
06/05 0.3	19:11:15	41.69 ± 0.02	15.78 ± 0.02	21 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
08/05 3.6	00:52:18	43.83 ± 0.46	12.22 ± 0.28	87 ± 236	00:52:16	43.45	12.30	8.8	00:52:17	43.45	12.30	8
08/05 1.2	07:10:37	41.73 ± 0.04	15.86 ± 0.02	23 ± 4	--	--	--	--	--	--	--	--
09/05 2.9	02:16:19	38.75 ± 0.51	21.65 ± 0.28	245 ± 98	--	--	--	--	02:16:19	36.85	21.29	17
09/05 3.1	02:30:13	41.00 ± 0.34	19.29 ± 0.09	0	--	--	--	--	02:30:11	40.94	19.76	5
09/05 1.2	08:05:05	41.61 ± 0.03	15.71 ± 0.02	5 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
09/05 2.0	10:50:11	41.73 ± 0.02	15.70 ± 0.02	20 ± 3	10:50:12	41.78	15.72	21.5	10:50:12	41.78	15.72	22
09/05 2.0	16:47:22	40.73 ± 0.05	15.20 ± 0.05	6 ± 7	16:47:24	40.81	15.25	10.7	16:47:24	40.81	15.25	11
09/05 3.4	20:41:25	39.48 ± 0.25	16.49 ± 0.23	16 ± 37	20:41:22	39.18	16.05	31.8	20:41:22	39.18	16.05	32
10/05 3.3	04:03:10	40.33 ± 0.56	20.81 ± 0.28	166 ± 88	--	--	--	--	04:03:03	40.41	21.46	5
10/05 2.4	18:36:45	40.65 ± 0.05	15.40 ± 0.06	14 ± 7	18:36:47	40.78	15.33	9.4	18:36:47	40.78	15.33	9
10/05 2.6	19:50:17	42.76 ± 0.32	15.66 ± 0.33	141 ± 35	19:50:15	43.23	15.63	21.8	19:50:15	43.23	15.63	22
11/05 2.3	04:48:34	42.49 ± 0.06	15.55 ± 0.21	20 ± 16	--	--	--	--	--	--	--	--
12/05 0.9	16:15:46	41.64 ± 0.02	15.81 ± 0.02	18 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
14/05 1.4	18:56:55	41.62 ± 0.05	15.00 ± 0.08	3 ± 6	--	--	--	--	--	--	--	--
14/05 1.2	21:29:14	41.60 ± 0.05	15.05 ± 0.04	29 ± 8	--	--	--	--	--	--	--	--
16/05 0.8	20:37:50	41.69 ± 0.02	15.86 ± 0.02	19 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--

17/05	1.5	09:38:25	41.61 ± 0.04	15.61 ± 0.04	6 ± 6	--	--	--	--	--	--	--	--
19/05	1.7	16:02:50	41.76 ± 0.07	15.34 ± 0.02	4 ± 2	--	--	--	--	--	--	--	--
20/05	3.0	05:40:41	42.13 ± 0.03	15.48 ± 0.03	0	05:40:42	42.11	15.51	10.0	05:40:42	42.10	15.52	10
20/05	1.2	14:30:10	41.68 ± 0.02	15.75 ± 0.02	12 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
21/05	0.8	20:56:36	41.76 ± 0.05	15.45 ± 0.02	9 ± 6	--	--	--	--	--	--	--	--
21/05	3.7	22:55:00	42.30 ± 0.78	19.17 ± 0.17	204 ± 35	22:55:04	43.04	18.89	5.0	22:55:02	43.07	18.76	3
22/05	2.5	02:04:35	40.02 ± 0.21	14.97 ± 0.43	0	02:04:35	40.07	16.21	8.9	02:04:35	40.07	16.21	9
22/05	1.9	08:41:19	41.94 ± 0.11	15.36 ± 0.08	5 ± 18	08:41:19	41.91	15.37	10.0	--	--	--	--
23/05	4.8	14:09:13	39.53 ± 0.68	20.33 ± 0.38	237 ± 91	--	--	--	--	14:09:05	38.66	20.45	2
23/05	3.8	18:43:54	42.79 ± 0.42	18.68 ± 0.21	0	--	--	--	--	18:43:53	42.96	18.75	10
24/05	2.0	00:32:26	40.60 ± 0.09	15.32 ± 0.13	37 ± 13	00:32:27	40.76	15.28	9.4	00:32:27	40.76	15.28	9
25/05	3.6	23:26:04	43.33 ± 0.22	13.89 ± 0.25	0	23:26:01	43.09	12.78	67.1	23:26:02	43.20	12.81	60
26/05	2.5	03:34:55	41.83 ± 0.18	14.37 ± 0.04	10	03:34:55	41.93	14.44	9.5	03:34:55	41.93	14.44	10
29/05	3.5	22:47:43	43.31 ± 0.23	18.65 ± 0.17	0	--	--	--	--	22:47:42	43.13	18.82	2
30/05	3.0	00:30:24	40.66 ± 1.04	16.48 ± 0.48	324 ± 33	00:30:32	39.56	16.46	25.5	00:30:32	39.56	16.46	255
30/05	2.2	22:19:28	41.08 ± 0.17	16.24 ± 0.19	29 ± 16	22:19:27	40.96	16.16	19.8	22:19:27	40.96	16.16	20
01/06	4.0	23:03:49	39.77 ± 0.60	20.32 ± 0.41	269 ± 73	--	--	--	--	23:03:41	40.19	21.70	5
02/06	4.5	02:48:09	37.46 ± 0.44	21.29 ± 0.36	435 ± 77	--	--	--	--	02:47:57	34.95	19.40	10
04/06	2.0	23:39:03	42.20 ± 0.08	15.17 ± 0.10	0	--	--	--	--	--	--	--	--
05/06	2.2	05:12:38	41.69 ± 0.04	15.77 ± 0.03	15	05:12:38	41.72	15.81	24.2	05:12:38	41.72	15.81	24
06/06	5.0	11:53:55	37.83 ± 0.42	21.95 ± 0.36	40	--	--	--	--	11:53:46	36.71	21.75	40
07/06	2.3	03:30:01	42.18 ± 0.06	15.34 ± 0.10	7	03:30:01	42.26	15.54	6.4	03:30:01	42.25	15.54	2.3
11/06	2.0	01:11:04	42.16 ± 0.06	15.32 ± 0.09	0	--	--	--	--	--	--	--	--
18/06	0.9	02:28:00	41.55 ± 0.04	15.70 ± 0.02	16	02:28:00	41.49	15.69	10.0	--	--	--	--
19/06	0.9	06:39:09	41.62 ± 0.03	15.69 ± 0.02	8	--	--	--	--	--	--	--	--
20/06	2.0	03:54:12	41.53 ± 0.09	14.82 ± 0.04	0	--	--	--	--	--	--	--	--
20/06	1.3	06:40:22	41.69 ± 0.04	15.84 ± 0.03	16 ± 6	--	--	--	--	--	--	--	--
20/06	2.7	07:28:24	41.40 ± 0.08	15.71 ± 0.04	12 ± 11	07:28:24	41.37	15.76	1.4	07:28:24	41.37	15.75	1
20/06	1.2	15:55:25	41.60 ± 0.03	15.70 ± 0.03	5 ± 5	--	--	--	--	--	--	--	--
21/06	3.0	01:05:56	43.15 ± 0.40	13.15 ± 0.29	100	01:05:53	42.78	12.96	8.7	01:05:53	42.78	12.96	9
21/06	1.3	08:18:34	41.61 ± 0.04	15.61 ± 0.05	5 ± 3	--	--	--	--	--	--	--	--
22/06	4.5	08:41:11	41.75 ± 0.54	19.76 ± 0.05	10	--	--	--	--	08:41:09	40.24	19.56	10
23/06	2.5	21:54:46	41.57 ± 0.06	16.21 ± 0.05	10	21:54:46	41.62	16.27	5	21:54:46	41.62	16.27	5

Tabella 3. Lista eventi localizzati da Seiscomp3 e relativo confronto con le localizzazioni INGV ed EMSC ove possibile.

Di seguito è riportata la tabella (Tab. 4) delle sole localizzazioni della rete OTRIONS e la dislocazione geografica delle stesse.

		OTRIONS			
Date & Magnitude		To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)
24/04	1.5	02:46:50	41.40 ± 0.18	14.87 ± 0.08	0
30/04	1.1	01:12:19	41.53 ± 0.08	15.19 ± 0.11	13 ± 20
30/04	1.6	04:09:21	41.58 ± 0.03	15.80 ± 0.02	5 ± 4
30/04	0.8	22:38:27	41.70 ± 0.02	15.80 ± 0.02	20 ± 5
01/05	2.3	08:30:44	42.21 ± 0.13	15.28 ± 0.23	0
01/05	0.9	19:38:36	41.63 ± 0.04	15.81 ± 0.05	0
03/05	0.3	03:49:58	41.73 ± 0.04	15.73 ± 0.03	19 ± 6
06/05	1.7	08:05:40	41.69 ± 0.04	15.85 ± 0.05	0
06/05	0.3	19:11:15	41.69 ± 0.02	15.78 ± 0.02	21 ± 5
08/05	1.2	07:10:37	41.73 ± 0.04	15.86 ± 0.02	23 ± 4
09/05	1.2	08:05:05	41.61 ± 0.03	15.71 ± 0.02	5 ± 5
11/05	2.3	04:48:34	42.49 ± 0.06	15.55 ± 0.21	20 ± 16
12/05	0.9	16:15:46	41.64 ± 0.02	15.81 ± 0.02	18 ± 5
14/05	1.4	18:56:55	41.62 ± 0.05	15.00 ± 0.08	3 ± 6
14/05	1.2	21:29:14	41.60 ± 0.05	15.05 ± 0.04	29 ± 8
16/05	0.8	20:37:50	41.69 ± 0.02	15.86 ± 0.02	19 ± 5
17/05	1.5	09:38:25	41.61 ± 0.04	15.61 ± 0.04	6 ± 6
19/05	1.7	16:02:50	41.76 ± 0.07	15.34 ± 0.02	4 ± 2
20/05	1.2	14:30:10	41.68 ± 0.02	15.75 ± 0.02	12 ± 5
21/05	0.8	20:56:36	41.76 ± 0.05	15.45 ± 0.02	9 ± 6
04/06	2.0	23:39:03	42.20 ± 0.08	15.17 ± 0.10	0
11/06	2.0	01:11:04	42.16 ± 0.06	15.32 ± 0.09	0
19/06	0.9	06:39:09	41.62 ± 0.03	15.69 ± 0.02	8
20/06	2.0	03:54:12	41.53 ± 0.09	14.82 ± 0.04	0
20/06	1.3	06:40:22	41.69 ± 0.04	15.84 ± 0.03	16 ± 6
20/06	1.2	15:55:25	41.60 ± 0.03	15.70 ± 0.03	5 ± 5
21/06	1.3	08:18:34	41.61 ± 0.04	15.61 ± 0.05	5 ± 3

Tabella 4. Lista eventi localizzati dalla rete Otrions non presenti nei cataloghi INGV e EMSC.



Figura 10. Eventi sismici localizzati dalla rete sismica OTRIONS dei quali non si è trovata corrispondenza nei cataloghi INGV ed EMSC.

Sono state inoltre apportate due importanti modifiche al software nel processo di localizzazione **manuale**:

- inserimento del metodo NonLinLoc
- inserimento di modelli di velocità personalizzati.

4.5. NONLINLOC

La localizzazione dell'evento viene eseguita automaticamente utilizzando il metodo LoCSAT [Bratt e Bache, 1988] e il modello di velocità IASPEI 91 [Kennett, 1991]. Il metodo di localizzazione LoCSAT si basa su un **approccio linearizzato** (si veda Appendice A), che dipende fortemente dalla localizzazione iniziale e dai tempi di arrivo ed è il metodo offerto di default da SeisComp3; è un metodo che incontra difficoltà qualora si vogliano effettuare localizzazioni, senza avere un'adeguata conoscenza di un modello preliminare da cui partire: per rendere maggiore l'affidabilità delle localizzazioni è stato inserito nella configurazione del software, il metodo NonLinLoc [Lomax et al., 2000], basato su un **approccio globale** [si veda Appendice A], che risulta essere maggiormente performante per la determinazione delle profondità ipocentrali, in quanto consente una più ampia esplorazione dello spazio dei parametri incogniti. Contemporaneamente a tale modifica, sono stati inseriti anche nuovi modelli di velocità, che rispetto allo IASPEI 91, modello di velocità globale, aggiungono informazioni di dettaglio degli strati superficiali del sottosuolo. A tal proposito, sono stati creati modelli che possano rappresentare meglio la stratificazione del Gargano: a seguito di tali modifiche, la revisione manuale degli eventi, ha fornito localizzazioni affette da errori inferiori rispetto a quelli precedenti a tali modifiche così come mostrato dalle figg. 11 e 12.

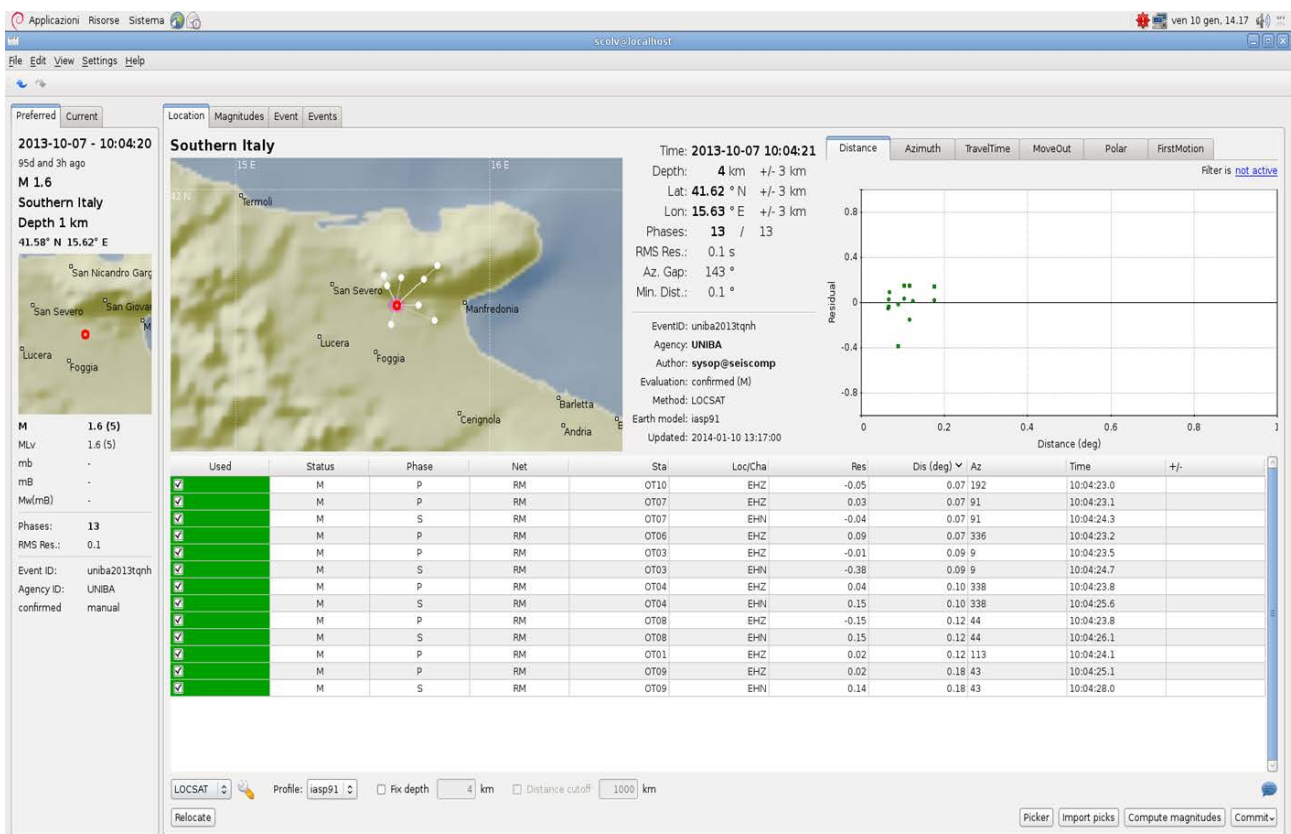


Figura 11. Esempio di una localizzazione automatica, realizzata col metodo LOCSAT e modello IASPEI 91.

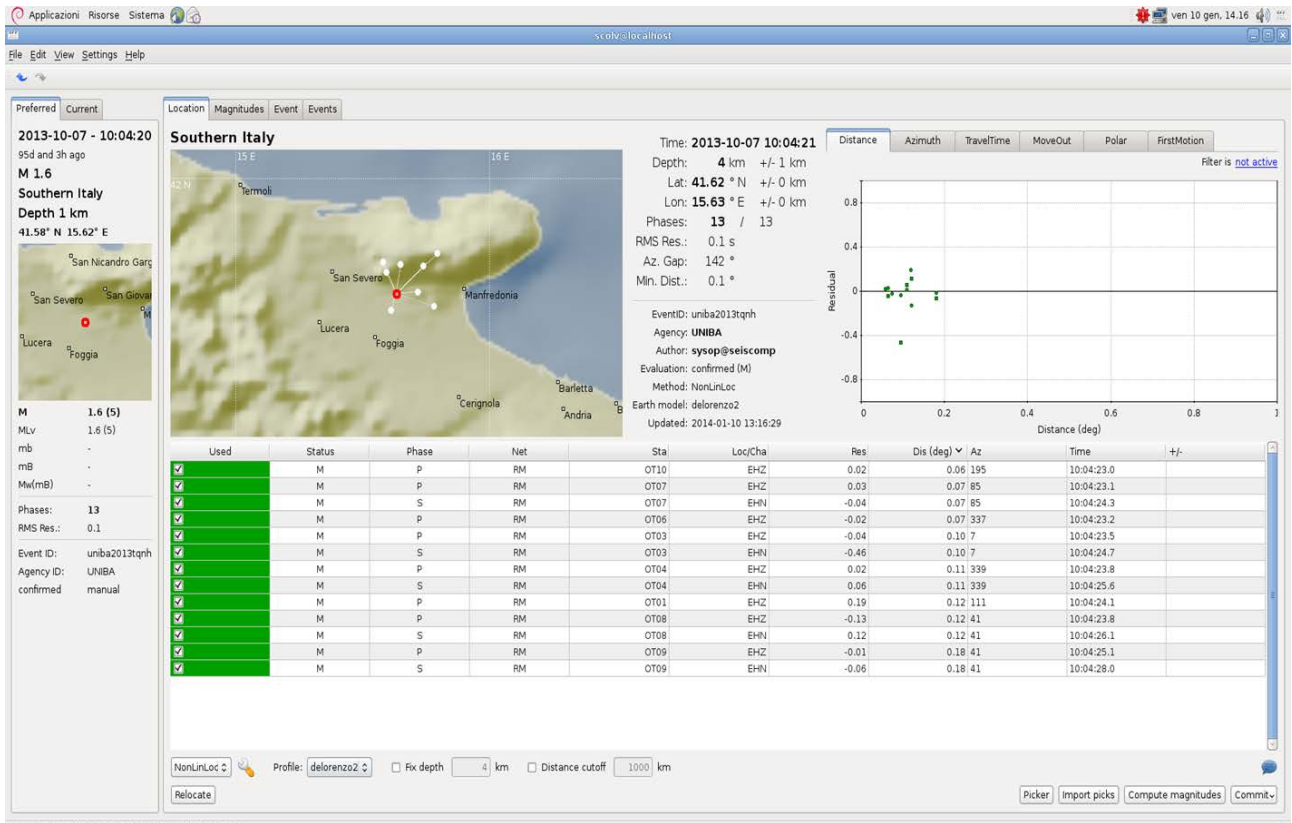


Figura 12. Esempio di una localizzazione, post-revisione manuale, realizzata con il metodo NonLinLoc e modello di velocità denominato local.

Come risulta evidente dalle fig. 11 e 12, la localizzazione realizzata con il metodo NonLinLoc è affetta da incertezze inferiori, rispetto alla localizzazione effettuata con il metodo LocSat. In particolare, il confronto può essere effettuato sulle coordinate geografiche; in tab. 5, sono riportati latitudine, longitudine e rispettivi errori (espressi in km), calcolati con i due metodi. Le incertezze differiscono di un ordine di grandezza.

	LocSat	NonLinLoc
Latitudine ° N	41.62 ± 3	41.62 ± 0.4
Longitudine ° E	15.63 ± 3	15.63 ± 0.4
R.M.S.	tra -0.4 e 0.4	tra -0.2 e 0.2

Tabella 5. Coordinate geografiche, relative alla localizzazione ottenuta con il metodo NonLinLoc e alla localizzazione LocSat.

4.6. Modello di velocità regionale

Oltre al metodo, le modifiche sono state effettuate anche sui modelli di velocità: di default, il modello utilizzato è lo IASPEI91, che essendo un modello di velocità globale, non offre informazioni dettagliate sulle stratificazioni superficiali; per tale motivo, sono stati configurati, nuovi modelli di velocità, utilizzando il tool *Taup*, che consente di creare, a partire da una determinata stratificazione definita in un file.tvel, un nuovo modello per Seiscomp3. Il file.tvel, deve contenere negli strati superficiali, le informazioni che si ritengono opportune, mentre negli strati più profondi, deve necessariamente congiungersi alle informazioni contenute nel modello IASPEI91, poiché il sistema richiede le informazioni relative a tutto il raggio terrestre. Nella tab. 6 sono illustrate le differenze sostanziali tra il modello IASPEI91 e quello “regionalizzato” denominato Local.

IASPEI91				LOCAL			
Profondità (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Densità (kg/dm ³)	Profondità (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Densità (kg/dm ³)
0.0	4.00	2.31	2.92	0.0	5.59	3.11	2.60
35.0	4.00	2.31	2.92	6.0	5.97	3.32	2.80
35.0	8.04	4.47	3.32	27.5	5.97	3.32	2.93
77.5	8.04	4.48	3.35	27.5	7.20	4.00	2.93
120.0	8.05	4.50	3.37	35.0	7.20	4.00	3.32
165.0	8.18	4.51	3.40	35.0	8.04	4.47	3.32
				77.5	8.04	4.48	3.35
				120.0	8.05	4.50	3.37
				165.0	8.18	4.51	3.40

Tabella 6. Modello di velocità IASPEI91 e LOCAL a confronto.

La tab. 6 rappresenta il modello di velocità utilizzato dal sistema di default IASPEI91 e un modello creato ad hoc “LOCAL”; si tratta di un modello di velocità di prova, ricavato dalle inversioni dei tempi di arrivo di un catalogo dati, che comprende registrazioni INGV 2006-2012 di eventi sull’area garganica e registrazioni OTRIONS da aprile a settembre 2013. È evidente che nel modello di velocità personalizzato, sono forniti dettagli relativi a valori di profondità pari a 6km, 27.5km e 35km non presenti nel modello globale. All’aumentare della profondità, dai 77.5 km ai 6371 km, i modelli non presentano più differenze, ovvero i valori di profondità, Vp, Vs e densità sono esattamente corrispondenti.

5. Revisione manuale di un evento sismico

Rilevare correttamente i tempi di arrivo delle onde S, quando si utilizza una rete sismica locale, è cruciale ai fini di una affidabile localizzazione degli eventi, che avvengono al di fuori del perimetro della rete. La fase di processamento automatico dell’evento sismico si articola in due step: il picking automatico delle fasi P, la localizzazione automatica dell’evento. Il picking automatico viene effettuato, sulla base dell’algoritmo STA (Short Term Average)/LTA(Long Term Average): tale algoritmo calcola la media a corto periodo e la divide per la media a lungo periodo; nel momento in cui tale rapporto eccede un certo valore di soglia, precedentemente configurato, viene riconosciuta una fase sismica P. Utilizzando tale metodo, quindi, si dà peso alla fase impulsiva P, senza considerare la fase S, e di conseguenza trascurando la differenza dei tempi di arrivo S e P, informazione indispensabile per discriminare la distanza dell’evento sismico dalla rete di registrazione. La localizzazione effettuata automaticamente, risulterà pertanto, affidabile nel caso in cui gli eventi registrati avvengano all’interno del perimetro costituito dalla rete, mentre risulterà da perfezionare qualora l’evento avvenga al di fuori del perimetro e necessiti dell’aggiunta del picking sulle fasi S. Nel caso della rete sismica OTRIONS, quando un evento viene localizzato automaticamente, si effettua il confronto dell’ora dell’evento con altri cataloghi (in particolare Iside ed EMSC), e nel momento in cui ci sia coincidenza temporale tra eventi della rete OTRIONS e delle altre reti ma non coincidenza geografica, si effettua una revisione manuale. Gli eventi che avvengono all’interno della rete, sono affidabili

senza alcuna revisione, gli eventi che cadono al di fuori, e quindi che si trovano a distanze regionali o più, vanno rivisti manualmente. In tab. 7 sono riportati gli eventi locali, rivelati automaticamente, in maniera corretta.

		OTRIONS				INGV				EMSC			
Date & Magnitude	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	To (s)	Lat (°N)	Lon (°E)	Depth (km)	
28/04 1.9	01:23:00	41.58 ± 0.23	14.82 ± 0.09	6 ± 16	01:23:03	41.50	14.95	28.8	--	--	--	--	
30/04 2.5	12:12:00	40.85 ± 0.27	16.98 ± 0.23	0	12:12:04	40.83	16.57	33.5	12:12:04	40.83	16.57	34	
01/05 1.9	06:00:41	41.47 ± 0.09	14.89 ± 0.11	3 ± 7	06:00:42	41.52	14.96	27.7	--	--	--	--	
09/05 2.0	10:50:11	41.73 ± 0.02	15.70 ± 0.02	20 ± 3	10:50:12	41.78	15.72	21.5	10:50:12	41.78	15.72	22	
10/05 2.4	18:36:45	40.65 ± 0.05	15.40 ± 0.06	14 ± 7	18:36:47	40.78	15.33	9.4	18:36:47	40.78	15.33	9	
22/05 1.9	08:41:19	41.94 ± 0.11	15.36 ± 0.08	5 ± 18	08:41:19	41.91	15.37	10.0	--	--	--	--	
26/05 2.5	03:34:55	41.83 ± 0.18	14.37 ± 0.04	10	03:34:55	41.93	14.44	9.5	03:34:55	41.93	14.44	10	
30/05 2.2	22:19:28	41.08 ± 0.17	16.24 ± 0.19	29 ± 16	22:19:27	40.96	16.16	19.8	22:19:27	40.96	16.16	20	

Tabella 7. Eventi localizzati automaticamente e che non hanno necessitato di revisione manuale.

5.1. Scolv: revisione manuale in Seiscomp 3

Una volta che un evento sismico è automaticamente localizzato da Seiscomp3, è possibile utilizzare il tool grafico scolv per visualizzare la localizzazione, sia in termini geografici, essendo rappresentato l'epicentro su mappa, che in termini fisici, essendo riportate le informazioni relative all'evento.

In fig. 13, si nota infatti, sulla sinistra la mappa del Gargano, con in rosso l'epicentro riconosciuto; l'ellisse in viola, corrisponde all'incertezza di cui è affetta la posizione epicentrale. Sulla destra, sono visibili tutte le informazioni fisiche, ovvero il tempo origine, la profondità, la latitudine con relativo errore (espresso in km), la longitudine con relativo errore (espresso in km), il numero di fasi che hanno contribuito alla localizzazione, l'R.M.S. (Root Mean Square) medio, il gap azimutale e la minima distanza delle stazioni dalla sorgente riconosciuta. Inoltre, vengono riportati, un codice alfa-numerico associato all'evento, l'agenzia (nel nostro caso UNIBA), il metodo utilizzato (LOCSAT) e il modello di velocità usato per l'inversione dei tempi di arrivo (IASPEI91). Un'ulteriore informazione osservabile, tramite l'uso di questo modulo è il grafico all'estrema destra, che riporta i residui in funzione della distanza sorgente-ricevitore. Nella figura, in basso, si osservano le informazioni sulle stazioni utilizzate,; stato (A= automatico, M=manuale), tipo di fase riconosciuta (P o S), rete sismica (RM), codice di stazione (es. OT01), componente, residuo, distanza angolare dall'evento, azimuth e tempo origine.

Come è visibile dalla figura 13, il caso rappresentato è relativo ad una localizzazione automatica, ovvero localizzazione che segue il processo di picking automatico (fig. 14). Il picking automatico viene effettuato, sulla base dell'algoritmo STA (Short Term Average)/LTA(Long Term Average): tale algoritmo calcola la media a corto periodo e la divide per la media a lungo periodo; nel momento in cui tale rapporto eccede un certo valore di soglia, precedentemente configurato, viene riconosciuta una fase sismica. In fig. 14, è rappresentato il picking automatico da cui è stata ottenuta la precedente localizzazione: le linee rosse indicano i punti in cui è stato superato il valore prestabilito di STA/LTA, ovvero i punti coincidenti al primo impulso di ogni segnale sismico.

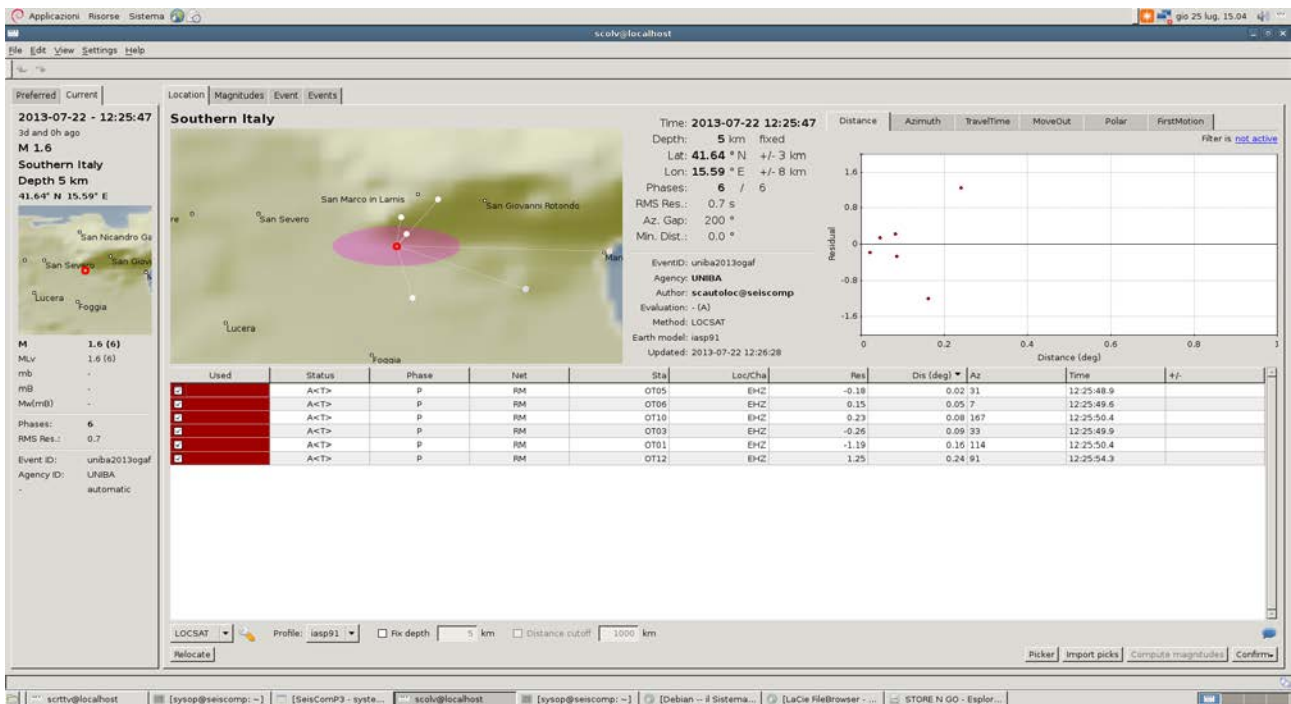


Figura 13. Localizzazione automatica dell'evento: "Italia meridionale, 22/07/2013, ore (UTC) 12:25:47". Il grafico rappresenta l'andamento dei residui al crescere della distanza sorgente-ricevitore.

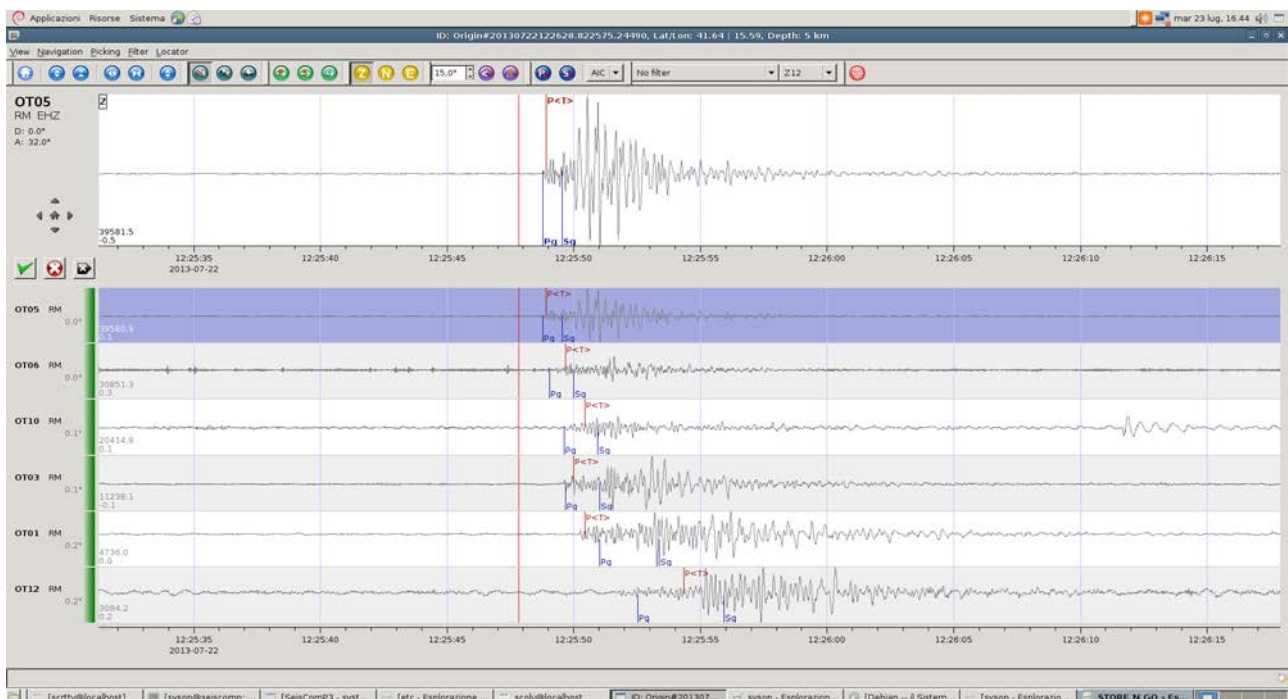


Figura 14. Picking automatico, relativo all'evento: "Italia meridionale, 22/07/2013, ore (UTC) 12:25:47".

Realizzata la localizzazione, oltre alla visualizzazione dei parametri precedentemente descritti, è possibile, in aggiunta osservare l'andamento dei residui in funzione dell'azimuth e l'andamento dei travel-times in funzione della distanza sorgente-ricevitore, come mostrato nella fig. 15 e fig.16.

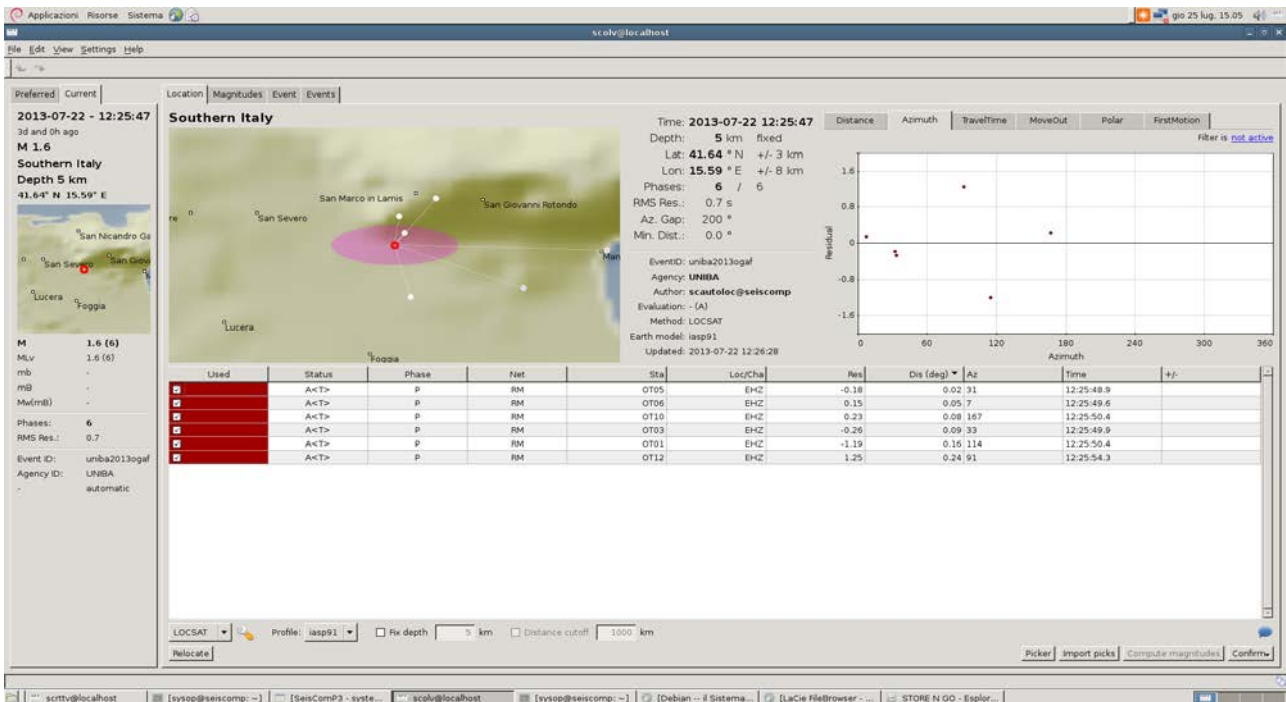


Figura 15. Localizzazione automatica dell'evento: "Italia meridionale, 22/07/2013, ore (UTC) 12:25:47". Il grafico rappresenta l'andamento dei residui al crescere dell'azimuth.

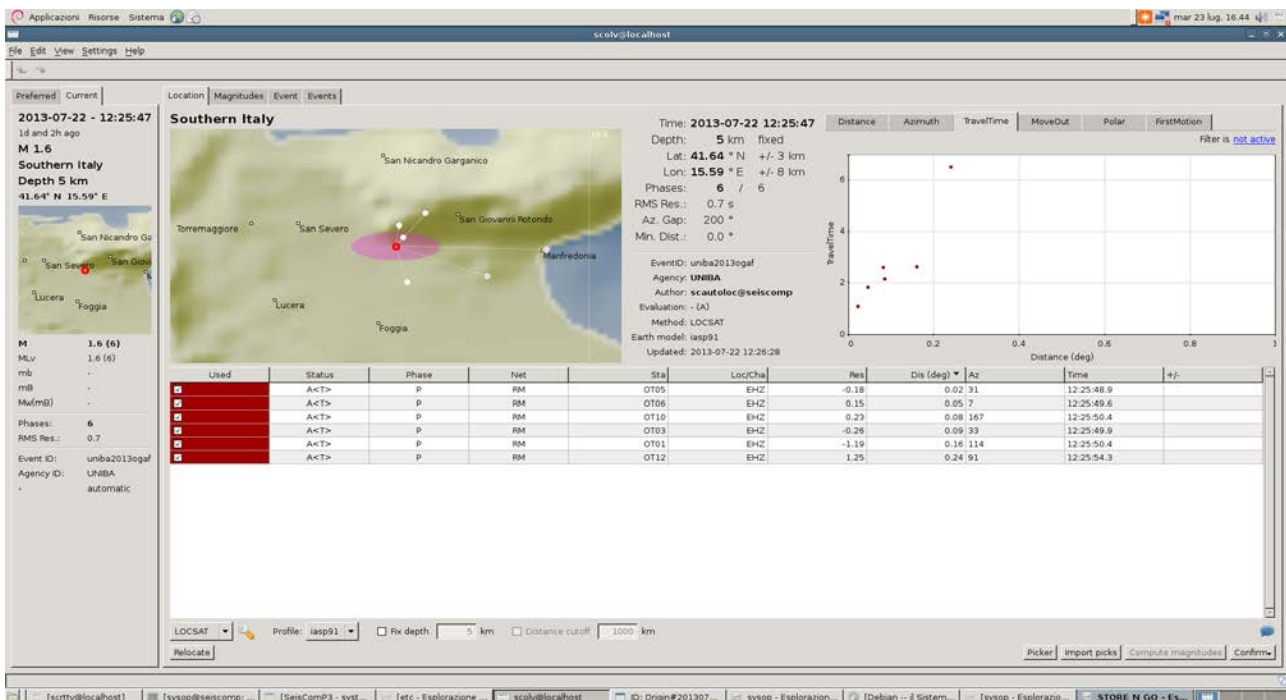


Figura 16. Localizzazione automatica dell'evento: "Italia meridionale, 22/07/2013, ore (UTC) 12:25:47". Il grafico rappresenta l'andamento dei travel times in funzione della distanza sorgente-ricevitore.

Poiché la localizzazione automatica segue il picking automatico, che riguarda esclusivamente il riconoscimento delle fasi P, la localizzazione necessita di una revisione manuale, in cui aggiungere le informazioni relative alle fasi S dei sismogrammi. Tale procedura va effettuata soprattutto per quanto riguarda eventi distanti, essendo essi discriminati dalle informazioni sulle fasi S. Inoltre, sviluppare una revisione manuale, prevede anche un affinamento dei picking P.

Le fasi S vengono riconosciute sulle componenti orizzontali, in corrispondenza di un cambiamento di frequenza e di ampiezza, come illustrato in fig. 17.

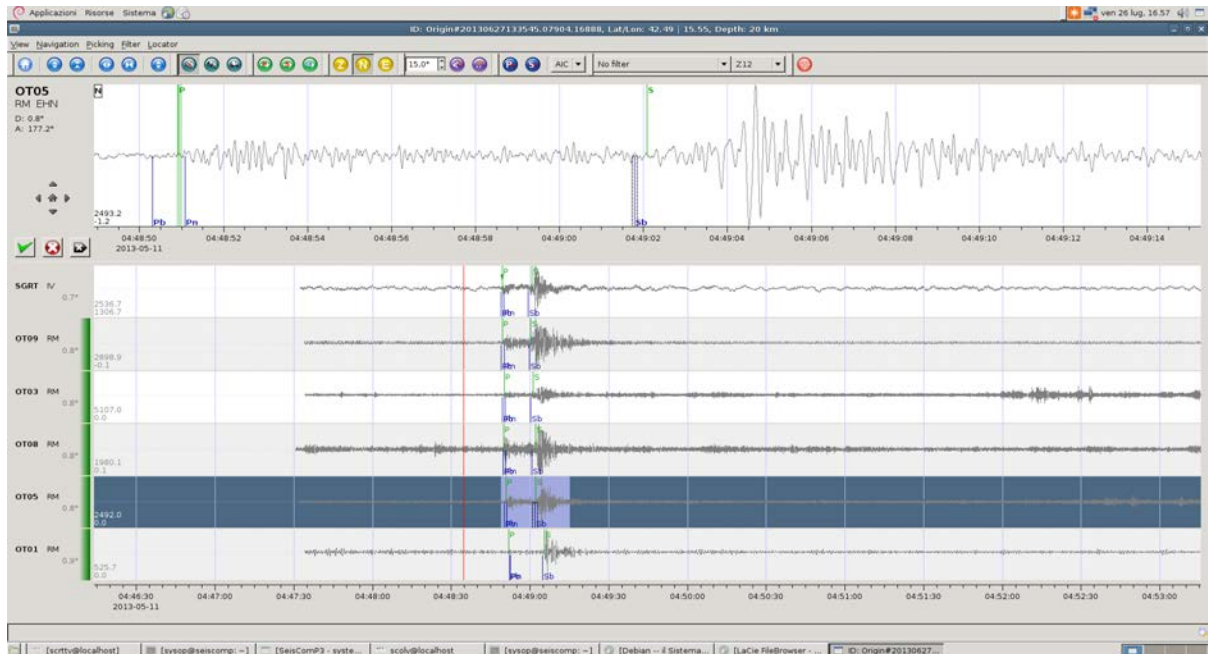


Figura 17. Picking manuale delle fasi S. Zoom attorno la fase S, riconosciuta sulla componente Nord (in questo caso).

Le linee verdi corrispondono alle fasi manualmente identificate a seguito di un'attenta osservazione del sismogramma. Inoltre, sia nella fase di riconoscimento delle fasi S che di affinamento delle fasi P, è possibile associare ai picking degli intervalli di incertezza nel riconoscimento della fase come mostrato in fig. 18.

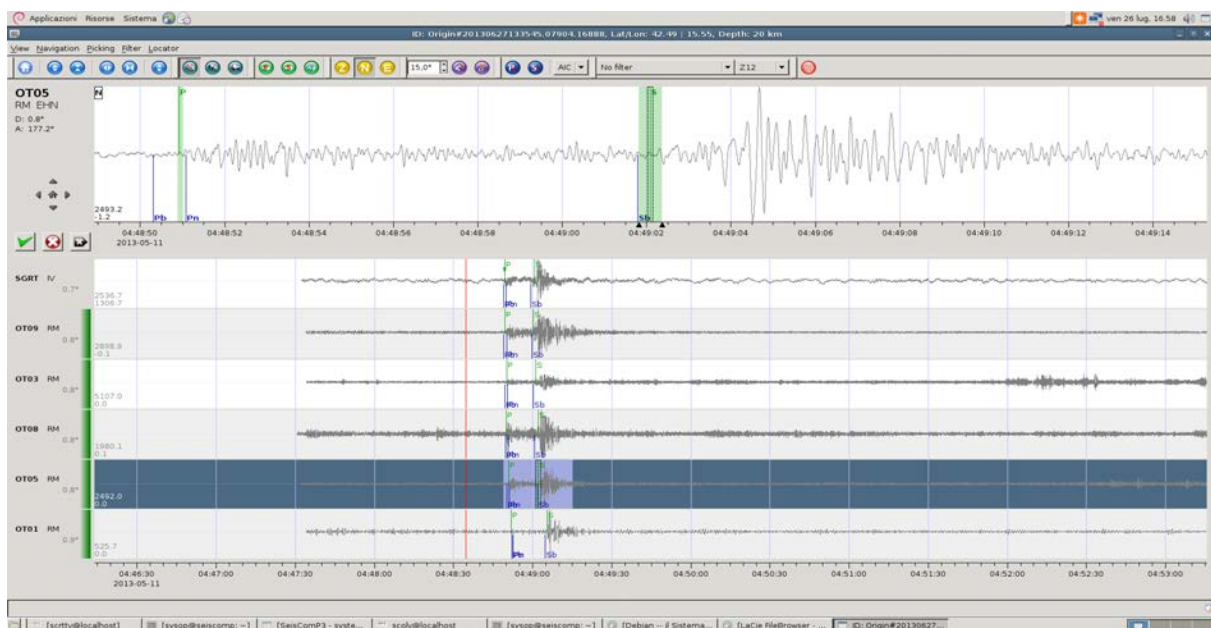


Figura 18. Picking manuale delle fasi S, sulla componente Nord. L'intervallo verde corrisponde al range di incertezza.

Per quanto riguarda il raffinamento delle fasi P, la procedura è analoga al caso delle fasi S: dapprima si effettua uno zoom, in questo caso, attorno al primo impulso, si riconosce il picking P, lo si etichetta con la linea verde e, nel caso in cui ci sia un certo grado di incertezza, si indica un certo intervallo di variabilità.

In seguito alla fase di picking manuale, si può effettuare la localizzazione manuale, come illustrato in fig. 19. Talvolta non è possibile effettuare la ri-localizzazione di un evento a causa di un numero insufficiente di fasi sismiche o di una profondità indistinguibile: in questi casi, si ovvia al problema ricontrollando l'associazione delle fasi sismiche e/o fissando la profondità caratteristica dell'evento ad un certo valore teoricamente ragionevole.

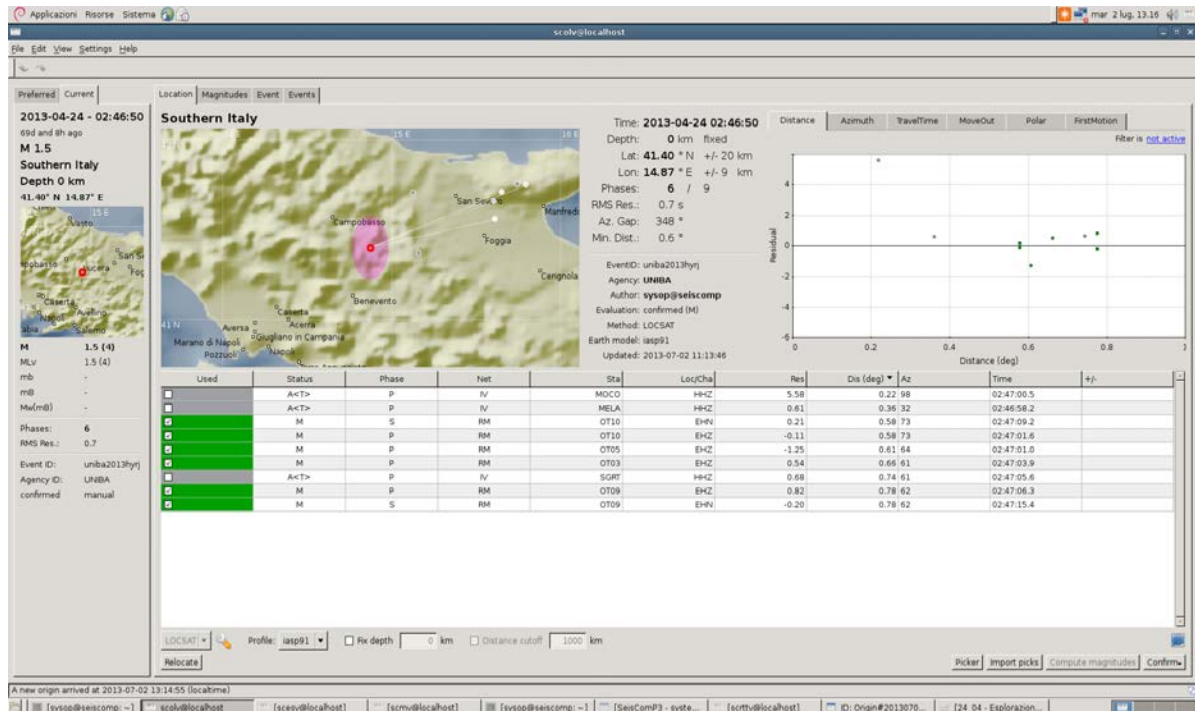


Figura 19. Localizzazione manuale dell'evento: "Italia meridionale, 24/04/2013, ore (UTC) 02:46:50".

Una volta determinata la localizzazione, la scheda *magnitude* visualizza la magnitudo determinata (fig. 20).

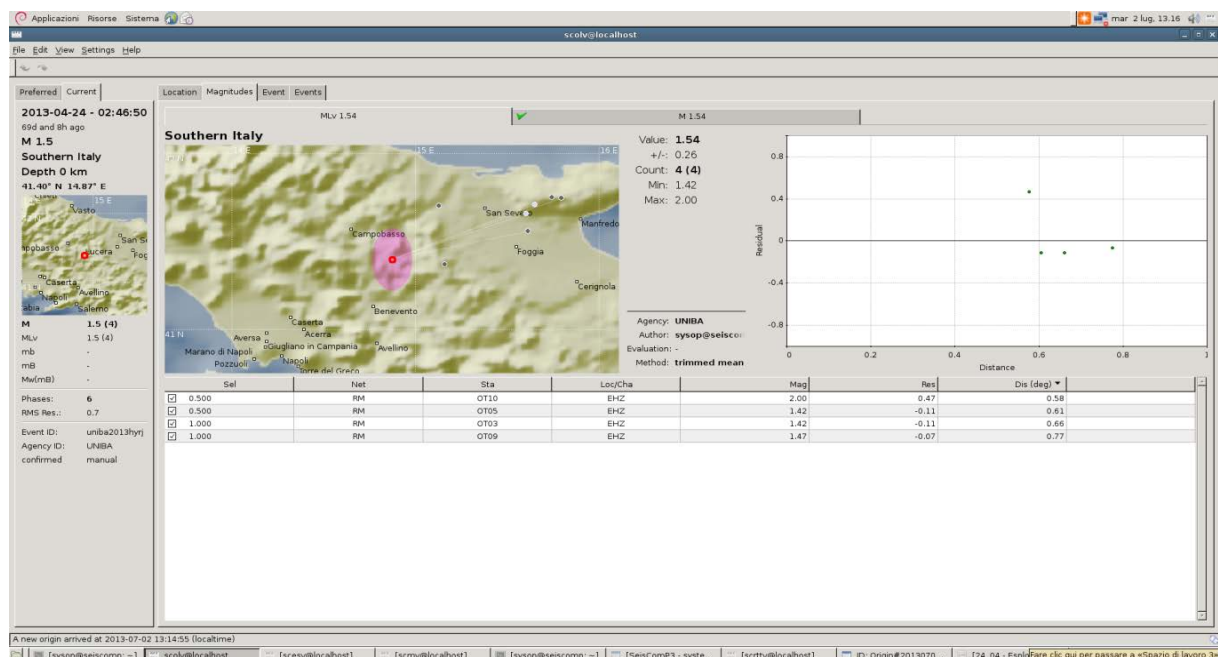


Figura 20. Determinazione della magnitudo dell'evento: "Italia meridionale, 24/04/2013, ore (UTC) 02:46:50".

Inoltre va illustrata un'ulteriore possibilità che offre il sistema, ovvero quello di filtrare le tracce per rendere più agevole il riconoscimento delle fasi. In fig. 20 e fig. 21 sono rappresentate le schermate relative alle forme d'onda prima e dopo l'applicazione di un filtro passa-banda (3-6 Hz) del 3° ordine.

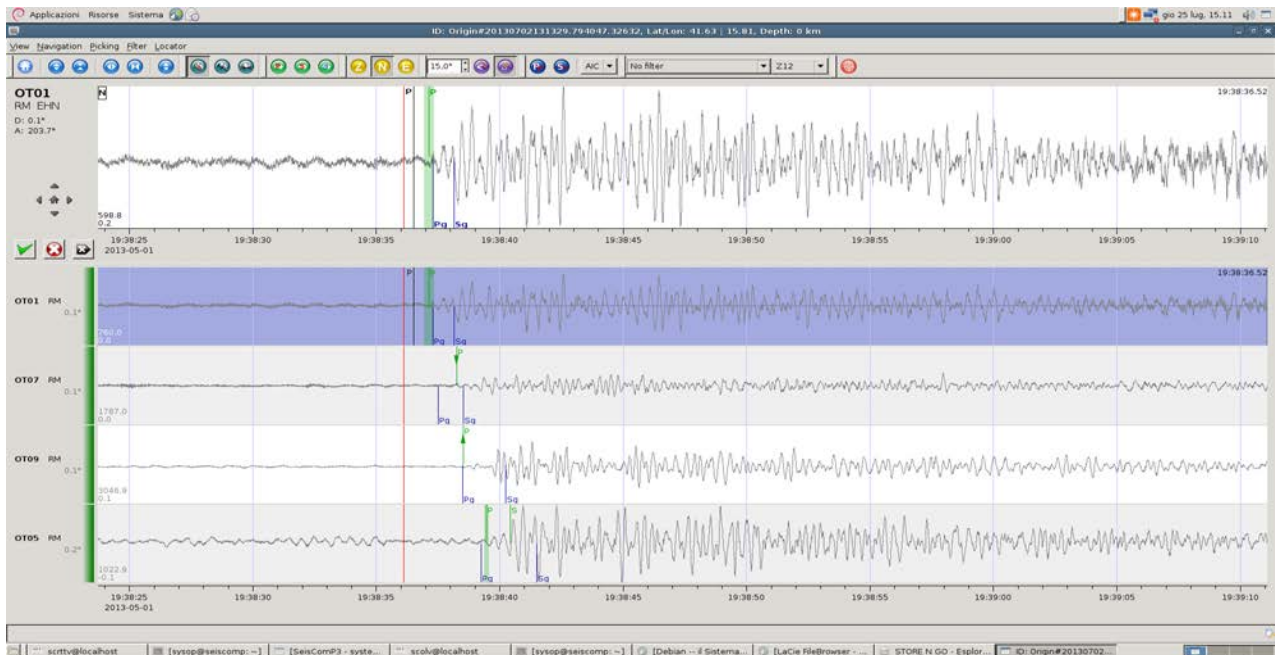


Figura 21. Forme d'onda non filtrate, relative all'evento "Italia meridionale, 11/05/2013, ore (UTC) 04:48:34".

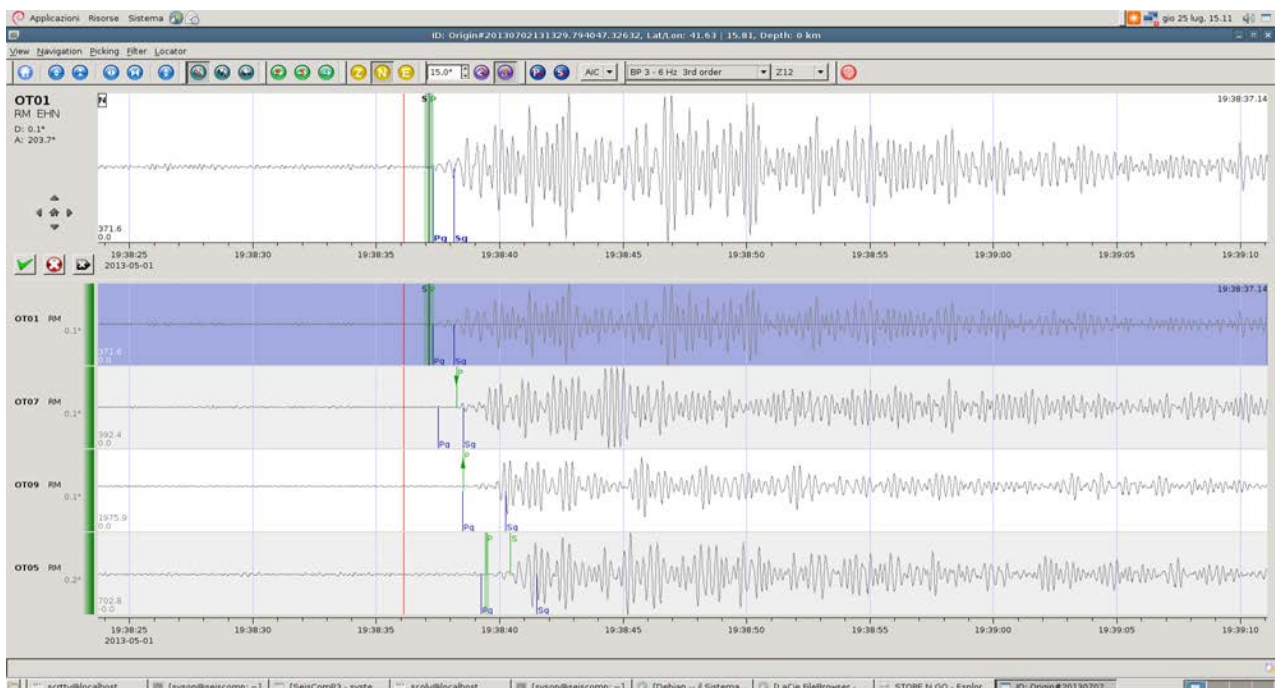


Figura 22. Forme d'onda filtrate (BP 3-6Hz), relative all'evento "Italia meridionale, 11/05/2013, ore (UTC) 04:48:34".

L'importanza di tutte le operazioni che riguardano la revisione manuale di un evento sismico, è riassunta nelle seguenti figure (fig. 23 e 24), in cui si evince chiaramente che a seguito di un'analisi manuale la localizzazione dell'evento sismico risulta essere completamente spostata geograficamente: la revisione

manuale è infatti stata articolata in una prima fase di re-picking, in cui sono state perfezionate le fasi P e riconosciute le fasi S, e in una seconda fase di inversione dei tempi di arrivo. Disponendo nella revisione manuale, anche delle informazioni relative alle fasi S, la localizzazione ottenuta risulta essere più affidabile, dal momento che prende in considerazione anche la durata dell'evento sismico. Tale valutazione è ulteriormente validata dal fatto che nel caso di localizzazione automatica, l'evento risulta essere caratterizzato da una magnitudo pari a 0.4 e risulta essere situato nella regione garganica: caratteristiche che non appartengono ad alcuno evento dei cataloghi INGV ed EMSC; nella localizzazione manuale l'evento è caratterizzato da una magnitudo pari a 3.3 ed è situato in Grecia: caratteristiche corrispondenti ad un evento riportato nel catalogo EMSC. Risulta quindi opportuno effettuare un'analisi a posteriori degli eventi per poterne assicurare una maggiore affidabilità.

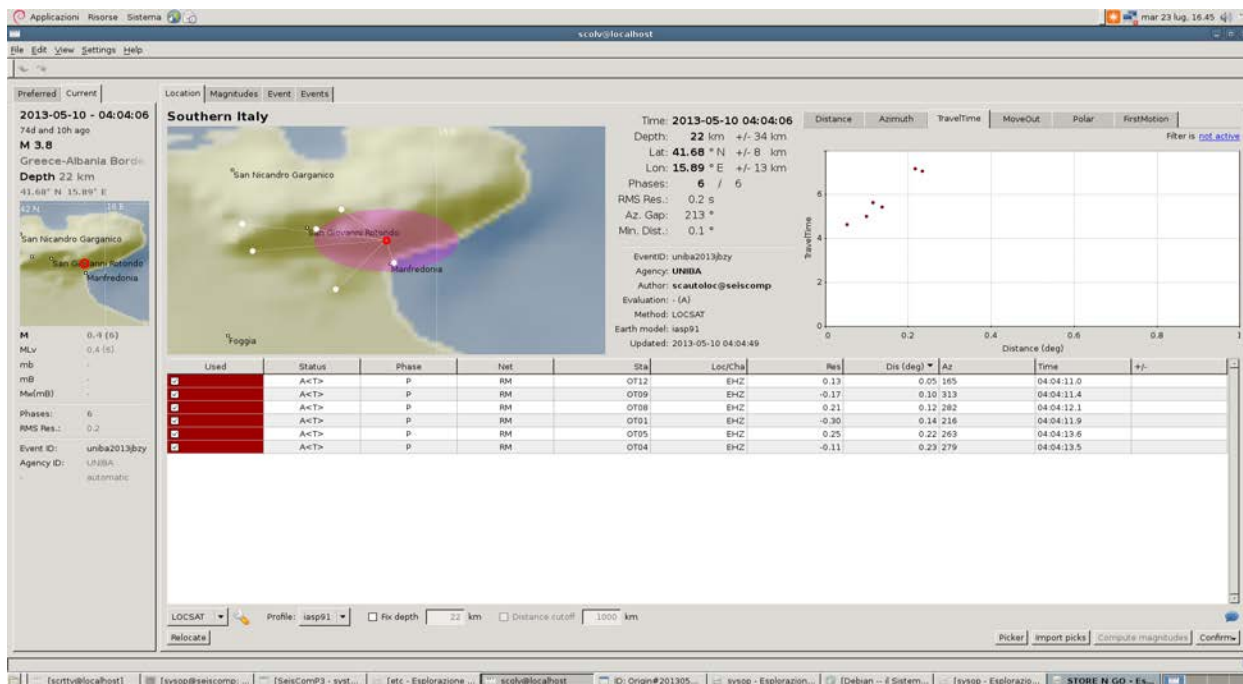


Figura 23. Localizzazione automatica dell'evento: "Italia meridionale, 10/05/2013, ore (UTC) 04:04:06".

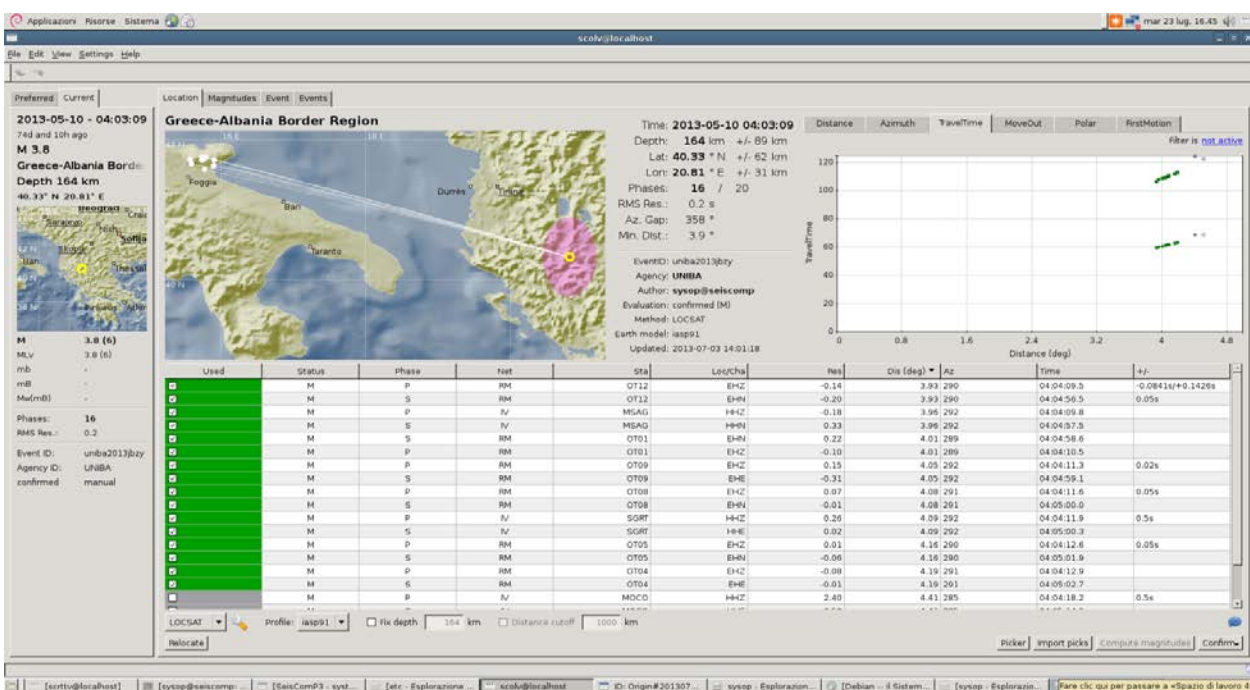


Figura 24. Localizzazione manuale dell'evento: "Italia meridionale, 10/05/2013, ore (UTC) 04:04:06".

6. Sala di Monitoraggio

La sala di monitoraggio, realizzata per il progetto ha sede presso il campus dell'Università di Bari "Aldo Moro". Essa è dotata di:

- 2 computer dedicati all'acquisizione dati: un server su cui è installato OnCell Centrale Manager e un altro su cui è installato Seiscomp3;
- 15 monitor dedicati alla visualizzazione delle tracce sismiche: in particolare, su 12 monitor, è possibile osservare, in tempo reale, le 3 componenti, che caratterizzano il segnale sismico, ovvero la componente verticale (Z), sulla quale si distinguono le fasi P, e le due componenti orizzontali (E) e (N), sulle quali si distinguono le fasi S; 2 monitor sono dedicati alla visualizzazione delle componenti verticali di tutte le stazioni OTRIONS; 1 monitor è di controllo;
- 4 monitor (grandi) di visualizzazione: due dedicati al software SWARM, che consente di visualizzare la posizione geografica delle stazioni su mappa e contemporaneamente gli helicorder relativi alle suddette stazioni; 2 monitor dedicati alla visualizzazione globale delle componenti verticali delle stazioni OTRIONS tramite software SEISGRAM;
- 4 server dedicati all'elaborazione dati.

Le Fig. 25 e 26 mostrano la sala di monitoraggio presso l'Università di Bari.

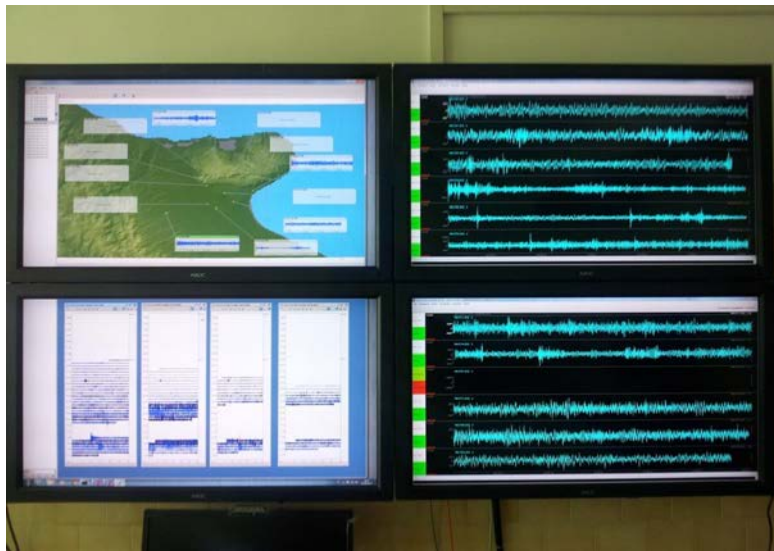


Figura 25. Sala di Monitoraggio presso l'Università di Bari: software SWARM sulla parte sinistra e SEISGRAM sulla parte destra.



Figura 26. Forme d'onda in tempo reale: ogni monitor visualizza le tracce sismiche delle 3 componenti di ogni stazione OTRIONS.

Conclusioni

In questo report, è stata descritta la rete sismica installata sul promontorio del Gargano da Aprile 2013: in particolare, è stato illustrato il sistema di trasferimento dati, dalle stazioni al laboratorio sismico, realizzato all'Università di Bari ed è stato esposto il sistema di archiviazione e processamento dati. In particolare, il sistema di archiviazione e processamento è basato sull'utilizzo del software Seiscomp3, di cui sono stati descritti componenti e strumenti, che consentono di fornire informazioni dettagliate sugli eventi sismici registrati dalla rete. Il software Seiscomp3, essendo stato creato per la detezione di eventi telesismici, dispone di una configurazione di default, adatta alla gestione di dati con caratteristiche diverse, rispetto ai dati gestiti dalla rete OTRIONS. Per questo motivo, è stata eseguita una regionalizzazione del software, che permettesse di lavorare su dati locali. La regionalizzazione si è articolata nel cambiamento di alcuni parametri del software e nell'inserimento sia di un metodo di localizzazione parallelo a quello di default (NonLinLoc), che nell'aggiunta di modelli di velocità, che contenessero informazioni dettagliate riguardo gli strati più superficiali della crosta. Una volta installata la rete e accertato il suo corretto funzionamento, è stato possibile constatare che a seguito delle modifiche descritte, si riscontra un certo margine di miglioramento nella localizzazione degli eventi sismici. Essendo la rete in continua evoluzione, lo stato attuale del sistema non è quello definitivo, nel senso che costantemente vengono eseguiti ulteriori test e modifiche, inerenti al giusto riconoscimento delle profondità ipocentrali e alla giusta determinazione delle magnitudo. A tal proposito, verranno condotti dapprima studi teorici di calibrazione della magnitudo, per poi inserire nel software i parametri più opportuni.

Bibliografia

- Bratt, S.R., Bache, T.C. (1988). *Locating events with a sparse network of regional arrays*, BSSA
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley Professional ISBN 978-0201157673.
- Kennett, B. (1991). *Seismic velocity gradients in the upper mantle*. Geophysical Research Letters 18: doi: 10.1029/91GL01340. issn: 0094-8276.
- Lee, W.H.K., Lahr, J.C., 1972. *Hypo71: a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern for local earthquakes*. OpenFile Report 75-311, US Geological Survey.
- Lomax A., J. Virieux, P. Volant and C. Berge (2000). *Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations*. In Advances in Seismic Event Location, C.H. Thurber and N. Rabinowitz (Editors), Kluwer, 101-134.
- Whitley, D. (1994). *A genetic algorithm tutorial*. Statistics and Computing 4 (2): 65-85. doi:10.1007/BF00175354
- Seiscomp 3 on line documentation* - <http://www.seiscomp3.org/doc/seattle/2014.084/>

APPENDICE A - Approccio linearizzato e approccio globale

Localizzare un terremoto equivale a determinarne tempo origine e posizione ipocentrale. Indichiamo con t_0 il tempo origine e con $\mathbf{h} = (x_h, y_h, z_h)$ l'ipocentro. In corrispondenza dell'ipocentro, si definisce l'epicentro come proiezione dell'ipocentro in superficie, ovvero come $\mathbf{e} = (x_h, y_h, 0)$. Se si misurano i tempi di arrivo di delle onde P ed S ad un certo numero di stazioni, la relazione che sussiste tra tali tempi è la funzione di velocità v delle onde sismiche è del tipo:

$$d_i = t_0 + f(v, x_h, y_h, z_h) \quad (1)$$

dove t_0 è l'incognito tempo origine f è una funzione non lineare dei parametri incogniti v, x_h, y_h, z_h . Risolvere il problema inverso corrisponde a stimare i parametri incogniti v, x_h, y_h, z_h, t_0 che riproducono meglio i dati osservati.

Dipendendo dalla forma matematica della relazione funzionale (non lineare) che collega i dati ai parametri del modello, la soluzione potrebbe non essere univoca. Inoltre, poichè i dati sono affetti errore, può risultare critica la scelta della funzione di misfit tra dati e parametri del modello per la ricerca dei parametri di best-fit.

L'approccio linearizzato consiste nello sviluppare le relazioni funzionali, non lineari, in serie di Taylor al primo ordine attorno a un punto dello spazio dei parametri del modello assegnato. Indicando con m_0 tale modello iniziale il modello perturbato è dato da:

$$m = m_0 + \Delta m \quad (2)$$

In tal modo le equazioni che collegano i dati ai parametri del modello diventano lineari, ossia del tipo:

$$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{G}(\Delta \mathbf{m}) \quad (3)$$

dove \mathbf{G} è un sistema di equazioni non lineari nei parametri m , la soluzione può essere quindi determinata usando ad esempio il metodo dei minimi quadrati.

Il vantaggio di questo approccio è che la soluzione può essere ricavata iterativamente (metodo di Geiger) ma il limite di tale soluzione è che essa dipende dalla scelta del punto iniziale m_0 rispetto al quale è stata eseguita la perturbazione.

Anche nel caso più semplice in cui il mezzo di propagazione è elastico e omogeneo la relazione funzionale è non lineare. Si ha infatti:

$$d_i = t_0 + \frac{1}{c} \sqrt{(x_h - x_i)^2 + (y_h - y_i)^2 + (z_h - z_i)^2} \quad (4)$$

dove d_i sono i tempi di arrivo, t_0 è il tempo origine, c è la velocità di propagazione (in questo caso costante), (x_h, y_h, z_h) sono le coordinate ipocentrali, (x_i, y_i, z_i) sono le coordinate della stazione i -esima. Tale problema non è lineare, tuttavia può essere linearizzato espandendo in serie di Taylor al primo ordine i dati

intorno al modello iniziale m_0 . Con tale linearizzazione, il problema può essere espresso in termini matriciali come:

$$\Delta \mathbf{d}_0 = \mathbf{G} \Delta \mathbf{m} \quad (5)$$

dove $\Delta \mathbf{d}_0$ è il vettore formato dalle differenze tra dati osservati e dati teorici, \mathbf{G} è la matrice di sistema e $\Delta \mathbf{m}$ è il vettore formato dalle perturbazioni sui parametri. Il sistema precedente è un sistema di equazioni lineari. Ora essendo il numero di dati maggiore del numero dei parametri, il problema inverso è sovradeterminato: la matrice \mathbf{G} è non quadrata, per cui si adotta la tecnica dei minimi quadrati, la cui soluzione è

$$\Delta \mathbf{m} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \Delta \mathbf{d} \quad (6)$$

Questa soluzione rappresenta la soluzione "migliore", nel senso che minimizza lo scarto quadratico tra dati osservati e dati predetti di un dato modello. Usando una soluzione di prova, si può determinare la perturbazione. Da tale perturbazione si definisce un successivo modello $m_1 = m_0 + \Delta m_0$ che dovrebbe

approssimare meglio i dati. La procedura si itera fino a che l'errore di predizione non diventa dello stesso ordine di grandezza dell'errore medio sui dati. Questa è la procedura adottata dal programma HYPO71 [Lee and Lahr, 1972].

Qualora il problema inverso sia fortemente non lineare, si preferisce utilizzare un approccio globale (ad es. NonLinLoc, [Lomax et al., 2000]) che consente un'esplorazione esaustiva dello spazio dei parametri, [Goldberg, 1989; Whitley, 1994]. Questo perché nei problemi non lineari lo scarto tra dati osservati e dati teorici è in genere multimodale e utilizzando l'approccio linearizzato, si potrebbe convergere verso un minimo relativo della funzione di misfit. Sebbene tale approccio non richieda la definizione di una soluzione iniziale, dall'altro necessita di tempi di calcolo più lunghi rispetto ad un'esplorazione locale.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia