

## Caratteristiche delle stazioni GNSS permanenti italiane

Cenni N. (\*\*), Baldi P. (\*\*), Barbarella M. (\*), Belardinelli M.E. (\*\*), Gandolfi S. (\*),  
Loddo F. (\*\*\*), Mantovani E. (\*\*\*\*), Poluzzi L. (\*), Tavasci L. (\*), Viti M. (\*\*\*\*)

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) – Università di Bologna

(\*\*) Dipartimento di Fisica ed Astronomia – Università di Bologna

(\*\*\*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Bologna

(\*\*\*\*) Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente – Università di Siena

### Introduzione

Il controllo ed il monitoraggio del territorio italiano richiede informazioni sempre più precise ed accurate sia nello spazio che nel tempo. Le stazioni permanenti GNSS rappresentano un importante strumento a disposizione per questo tipo di attività ed il suo crescente numero registrato negli ultimi 15 anni rendono i risultati ottenibili con questa tecnica, importanti sia dal punto di vista della risoluzione spaziale che temporale. Attualmente sul territorio nazionale sono presenti più di 600 stazioni GNSS permanenti (Figura 1).

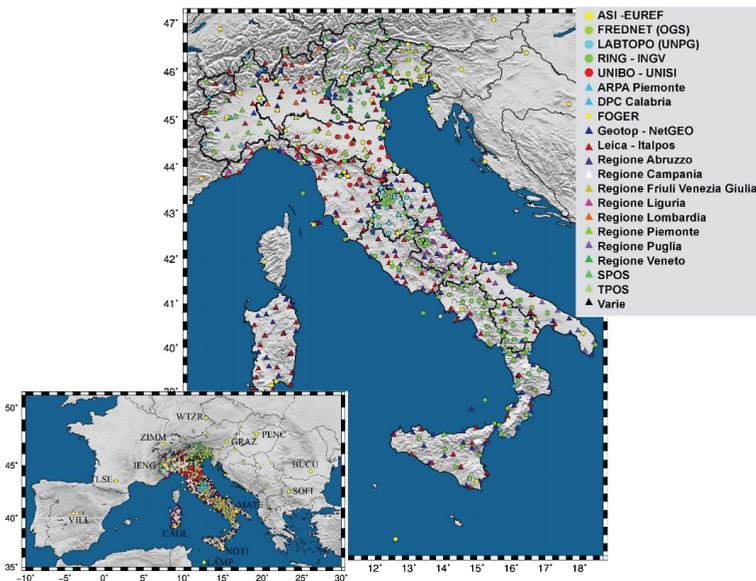


Figura 1 - Distribuzione delle 632 stazioni GNSS permanenti considerate in questo lavoro. Il simbolo cerchio indica la posizione delle stazioni istituite da università ed enti di ricerca per monitorare e studiare i movimenti presenti nella penisola (stazioni scientifiche). Il simbolo triangolo indica le stazioni installate da enti privati o pubblici come supporto indispensabile per le attività professionali di posizionamento in tempo reale (stazioni tecniche). Il colore dei diversi simboli indica, secondo la legenda riportata in alto, l'istituto che attualmente gestisce la stazione. Nell'insero in basso è riportata la posizione delle 13 stazioni utilizzate per inserire le soluzioni giornaliere nel sistema di riferimento ITRF2008 (Altamimi et al. 2012).

E' possibile notare dalla Figura 1 che la distribuzione delle stazione non risulta spazialmente omogenea sul territorio nazionale. Le ragioni che hanno portato a ubicare le diverse stazioni nell'attuale posizione sono da ricercare nei motivi per cui sono state create. Alcune di queste sono state installate da istituti pubblici quali Università ed Enti di ricerca per lo studio di fenomeni geologici e geofisici, come ad esempio i movimenti tettonici o quelli dovuti a processi regionali/locali quali la subsidenza o per esigenze di tipo geodetico quali il mantenimento o la materializzazione dei sistemi di riferimento. Per semplicità definiremo questo tipo di stazioni come scientifiche. Tra le 632 stazioni considerate in questo lavoro solo 218 sono da considerarsi istituite e gestite per scopi di carattere scientifico. I rimanenti 414 siti sono stati istituiti da Enti privati o pubblici come Regioni, Provincie a supporto del posizionamento in tempo reale per scopi di natura tecnica (aggiornamento catastale, cartografico, etc..). Viste le diverse finalità per cui le stazioni sono state create, l'attuale quadro complessivo delle stazioni presenti sul territorio italiano presenta aree in cui l'inter-distanza tra i diversi siti è di pochi chilometri, come ad esempio in quelle a maggior industrializzazione come la Pianura Padana, mentre in altre zone le stazioni distano tra loro diverse decine di chilometri (Figura 1). Il numero delle stazioni GNSS permanenti sviluppate come supporto al posizionamento in tempo reale, che per semplicità potremmo definire tecniche, è aumentato in modo considerevole a partire dal 2006, anno in cui ha iniziato a diffondersi tale metodologia. Questo è il motivo per cui se si confronta il periodo di funzionamento delle stazioni scientifiche con quello delle nate per scopi tecnici nell'intervallo di tempo dal 01/01/2001 al 31/12/2014; notiamo come queste ultime presentano, in media, un periodo di funzionamento inferiore rispetto a quello delle stazioni scientifiche (Figura 2a).

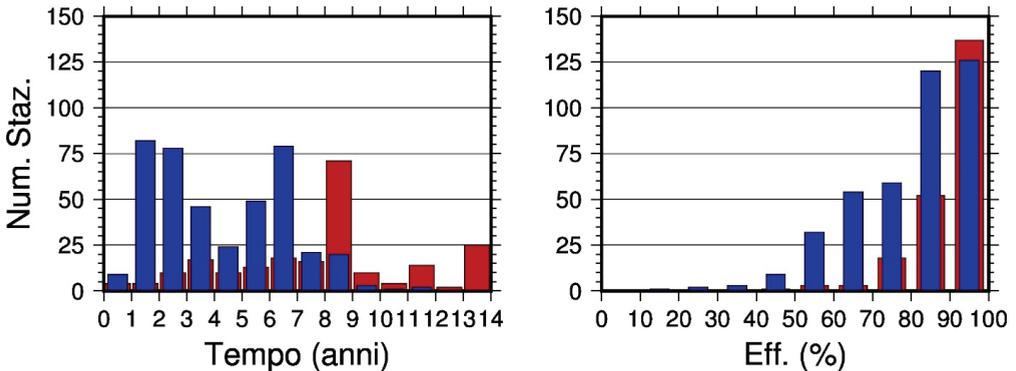


Figura 2 - a) Periodo di osservazione dei siti scientifici (rosso) e non scientifici (blu), stimato nell'intervallo temporale 01/01/2001 – 31 dicembre 2014. b) Efficienza delle stazioni scientifiche (rosso) e tecniche (blu). Campione costituito da 632 stazioni, tra cui 218 installate per scopi scientifici e 414 per finalità tecniche.

A partire quindi dalla consistenza dei dati a disposizione, la Figura 2b mostra il confronto tra l'efficienza (definita come rapporto tra il numero di file giornalieri registrati ed il numero di giorni intercorso tra la prima e l'ultima osservazione) delle stazioni scientifiche e quelle installate per scopi tecnici. E' possibile notare che i valori sono molto simili tra loro, anche se le stazioni non scientifiche sembrano mostrare un'efficienza leggermente inferiore alle altre. Questa differenza è di fatto solo apparente ed in larga parte dovuta alla perdita di osservazioni occorsa durante il periodo iniziale di funzionamento di queste installazioni in cui l'ente gestore eseguiva diversi tipi di prove e le specifiche tecniche per lo sviluppo della tecnica del posizionamento in tempo reale non erano consolidate. L'incremento del numero di stazioni permanenti, sia scientifiche che tecniche, che si è registrato a partire dall'anno 2006 è ben visibile nella Figura 3, dove è illustrato l'andamento nel tempo a partire dall'anno 2001 del numero di stazioni attive in ogni anno solare fino al fine del 2014. Nell'eseguire questa stima si è inteso considerare come attive quelle stazioni i cui gestori hanno messo a disposizione della comunità scientifica le loro osservazioni. Inoltre, durante il

calcolo è stata considerata anche l'eventualità che un sito cessi la sua attività, inserendo nella procedura un'opzione che permette di non considerare le stazioni dopo la data dell'ultima osservazione disponibile. E' possibile notare come il numero di stazioni scientifiche abbia avuto un notevole incremento nel periodo di tempo dal 2006 al 2008, mentre quello delle stazioni tecniche è caratterizzato da due intervalli di tempo in cui la crescita è maggiormente significativa. Il primo localizzato a partire dall'anno 2006 fino al 2009, anni in cui le infrastrutture per il posizionamento in tempo reale si andavano consolidando, mentre il secondo tra il 2012 e il 2013 è dovuto principalmente alla possibilità di utilizzare le osservazioni di numerose stazioni GNSS appartenenti ad alcuni importanti enti privati, che hanno deciso di mettere a disposizione della comunità scientifica i dati geodetici dei loro siti a partire da quegli anni. La realtà probabilmente vede quindi l'incremento tutto concentrato nella finestra 2006-2009.

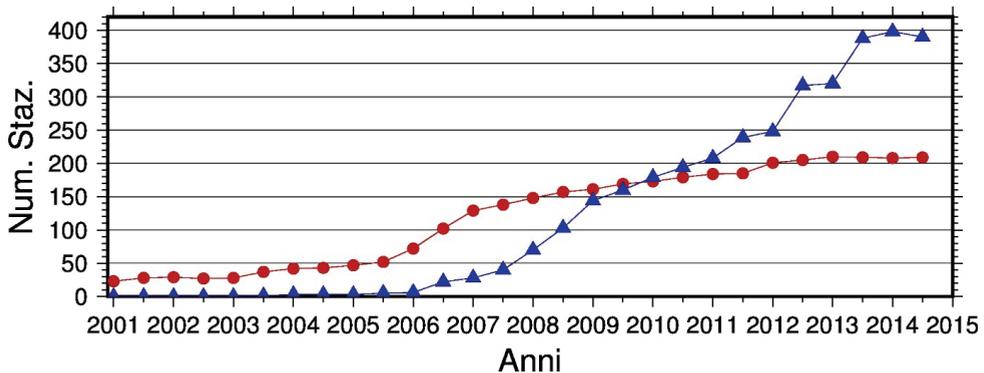


Figura 3 - Numero di stazioni attive nel periodo di tempo dal 01/01/2001 al 31/12/2014. Con i cerchi rossi è indicato il numero di stazioni scientifiche, con i triangoli blu quello dei siti tecnici. Si intendono attive quelle stazioni i cui gestori hanno messo a disposizione della comunità scientifica le osservazioni delle loro stazioni.

Uno dei principali problemi nell'utilizzo delle osservazioni acquisite dai siti di tipo tecnico per studi di carattere scientifico è rappresentato dalle modalità con cui sono stati scelti i luoghi dove queste stazioni dovevano essere realizzate e le prescrizioni utilizzate per realizzarle. Se per stazioni GNSS permanenti realizzate per scopi di natura scientifica, la scelta del sito ed il tipo di monumentazione doveva (e deve tuttora) seguire standard consolidati e stringenti quelle stazioni installate per applicazioni tecniche non presentano problematiche di questa natura e quindi hanno visto come criterio preferito per l'installazione la presenza di *facilities* quali la presenza di alimentazione, collegamento ad internet e facile monumentazione. Tale aspetto si è concretizzato quasi sempre con installazioni sulle sommità di edifici in centri urbani. Non solo, le installazioni di Stazioni permanenti GNSS per applicazioni di natura tecnica solitamente sono eseguite riducendo al massimo i costi ed anche il supporto antenna è rappresentato da una staffa ancorata al muro di un edificio. Diversamente quelle scientifiche sono solitamente attrezzate con supporti particolari che consentono un buon accoppiamento supporto antenna e roccia/edificio. Quando le stazioni di tipo scientifico sono state installate su edificio, solitamente il supporto antenna è stata inserito nell'intersezione di due muri portanti mediante supporti particolari e sono stati scelti edifici costruiti da almeno 20 anni e privi di lesioni evidenti. Fattori come luogo di installazione e supporto dell'antenna possono, almeno a livello teorico, influire significativamente sulla qualità di osservazioni che una stazione GNSS acquisisce, introducendo segnali e rumori che potrebbero rendere questi dati inutilizzabili per studi di carattere scientifico.

In particolare, il sito dove viene installata la stazione e/o il non corretto accoppiamento tra questo e il supporto dell'antenna potrebbero produrre dei segnali stagionali e non che verrebbero registrati dalle osservazioni geodetiche. Questi segnali andranno a combinarsi con quelli di origine geologica e geofisica che si vorrebbero studiare. Per questo motivo prima di utilizzare le stazioni tecniche per

scopi scientifici e/o geodetici è necessario verificare se le procedure di installazione utilizzate per realizzare questi siti non introducano segnali che ne pregiudicano il loro utilizzo in questo ambito. Alcuni autori (Baldi et al., 2009, 2011) elaborando le osservazioni di numerosi siti tecnici insieme a quelle di quelli scientifici hanno però dimostrato che le caratteristiche delle serie temporali della posizione delle stazioni tecniche sono in generale molto simili a quelle dei siti scientifici; e che le eventuali differenze sono confinate solo ad alcune stazioni e imputabili alle condizioni particolari in cui operano. I risultati ottenuti in questi ed altri lavori hanno dimostrato che le osservazioni provenienti dai stazioni permanenti nate per scopi tecnici possono essere utilizzate per studi di carattere scientifico. Per questo motivo diversi gruppi di ricerca (Cenni et al., 2012, 2013; D'Agostino et al., 2014; Devoti et al., 2011, 2012; Mantovani et al. 2015a e b; Serpelloni et al., 2013) hanno utilizzato le osservazioni delle stazioni non scientifiche insieme a quelle dei siti scientifici. Tale scelta ha permesso di ricostruire un quadro cinematico più dettagliato e studiare i processi geodinamici presenti nell'area ed altri fenomeni geofisici a scala regionale e locale. Partendo dalle ricerche i cui risultati sono presenti in letteratura (Baldi et al., 2009, 2011; Gandolfi et al., 2014), in questo lavoro si è voluto mostrare quali sono le “eventuali” differenze tra le serie temporali di posizione delle stazioni scientifiche rispetto a quelle che non rispondono a quei requisiti così stringenti. Per realizzare questa ricerca si è considerato il *dataset* di osservazioni giornaliere delle 632 stazioni GNSS permanenti di Figura 1. Nei paragrafi successivi verranno descritte brevemente le modalità con cui sono stati elaborati i dati e i risultati preliminari ottenuti.

### Analisi dati

Le osservazioni giornaliere con passo di campionamento a 30 secondi delle 632 stazioni GNSS permanenti considerate in questo studio sono state analizzate utilizzando il programma scientifico GAMIT/GLOBK, versione 10.4 e successive (Herring et al., 2015a e b). L'analisi è stata eseguita su tutte le osservazioni disponibili a partire dal 01/01/2001 fino al 31/12/2014. La rete, seguendo la procedura di elaborazione distribuita (Dong et al., 1998), è stata suddivisa in 43 sotto-reti (*cluster*), contenenti ciascuno le osservazioni delle seguenti 8 stazioni: BRAS, CAGL, GRAZ, IENG, MATE, NOT1, WTZR e ZIMM (Figura 1). Il calcolo di ciascun *cluster* è stato eseguito tenendo fissi i valori precisi delle effemeridi dei satelliti e dei parametri di orientamento terrestre forniti dagli enti preposti, ed imponendo vincoli deboli (100 metri) alle coordinate a priori di tutte le stazioni. La soluzione giornaliera di tutta la rete viene stimata combinando tra loro le soluzioni dei 43 cluster utilizzando il programma GLOBK e successivamente allineata al sistema di riferimento ITRF2008 (Altamimi et al., 2012) mediante una rototraslazione, utilizzando le coordinate e le velocità delle seguenti 13 stazioni IGS: BUCU, CAGL, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, NOT1, PENC, SOFI, TLSE, VILL, WTZR e ZIMM (inserto Figura 1). Al termine della procedura di elaborazione delle osservazioni sono state ottenute le serie temporali di ciascuna stazione nelle tre componenti geocentriche ma successivamente trasformate nei sistemi geodetici locali di ciascun sito. Queste serie temporali sono state analizzate utilizzando una procedura che ha permesso di stimare i parametri di velocità media, le eventuali periodicità, possibili segnali non periodici e le caratteristiche del rumore presente. Parte di questo metodo è stato già proposto in letteratura da alcuni autori (Cenni et al. 2012, 2013; Gandolfi et al., 2015). Durante la prima fase dell'analisi dati le serie temporali giornaliere delle componenti della posizione sono analizzate in modo indipendente dalle altre per cercare di individuare ed eliminare dati anomali (*outlier* e *blunder*) secondo il metodo utilizzato in alcuni lavori presenti in letteratura (Cenni et al., 2012; Gandolfi et al. 2015). Questa procedura di filtraggio ha portato all'eliminazione di circa il 2% - 3% dei dati dalle serie delle stazioni scientifiche e il 2% - 4% delle osservazioni da quelle tecniche come è possibile vedere dalla Figura 4. Possiamo notare come i risultati ottenuti analizzando separatamente i due tipi di installazione sono molto simili tra loro, questo risultato dimostra come la diversa tipologia di stazione e/o gestione non influisce significativamente sul numero di *outlier* e *blunder* presenti nelle serie temporali.

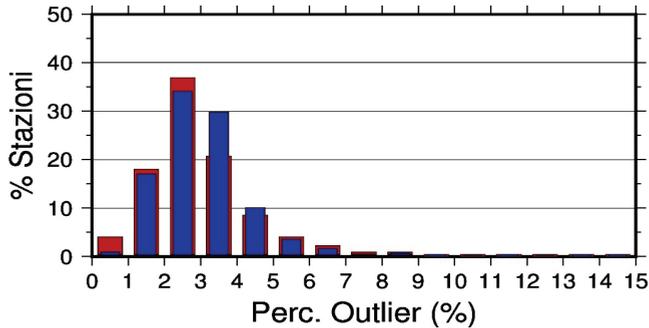


Figura 4 - Percentuale di dati eliminati dalle serie temporali come outlier o blunder rispetto al numero totale di osservazioni disponibile al termine della fase di elaborazione. Le barre rosse indicano la percentuale di outlier + blunder eliminati dalle serie temporali delle stazioni scientifiche, mentre le blu si riferiscono ai siti di tipo commerciale. In ordinata sono riportate le percentuali delle stazioni in funzione al numero di stazioni scientifiche (218) e tecniche (414) considerate in questo lavoro.

Dopo questa prima fase le serie temporali così ripulite sono state utilizzate per ristimare i valori di velocità e le eventuali discontinuità. Successivamente, è stato stimato un nuovo andamento teorico della serie e sottratto al dato reale ottenendo così una nuova serie temporale di residui rispetto al modello. Quest'ultima è stata analizzata per stimare i segnali periodici più significativi utilizzando una procedura proposta in ambito astronomico da Lomb e Scargle (Lomb 1976; Scargle 1982), che consente di analizzare serie temporali con dati non campionati regolarmente. Lo spettro di potenza ottenuto dall'analisi con il metodo 'Lomb – Scargle' viene analizzato per cercare i due segnali aventi potenza massima e periodo inferiore o uguale alla metà dell'intervallo di tempo analizzato. I periodi di questi due segnali sono utilizzati nell'ultima fase dell'analisi, dove utilizzando sempre un metodo ai minimi quadrati pesato sono stati calcolati contemporaneamente il valore della velocità, la dimensione delle discontinuità in corrispondenza di interventi sulla strumentazione noti e/o di eventi sismici e l'ampiezza dei due segnali periodici aventi potenza massima. Al termine di questo calcolo è stata nuovamente calcolata una serie temporale teorica utilizzando questa volta anche l'ampiezza e il periodo dei segnali stagionali e sottratta al dato reale ottenendo così una serie temporale dei residui. Quest'ultima fase della procedura a partire dall'analisi spettrale viene applicata alle sole stazioni che al 31/12/2014 presentavano almeno 2.5 anni di osservazione con un'efficienza superiore al 50%. La procedura di analisi qui descritta è stata applicata in modo indipendente sulle serie temporali delle tre componenti, nord, est e quota della posizione di ciascuna stazione considerata nel lavoro.

Le serie dei residui sono state successivamente analizzate per calcolare il valore dello scarto quadratico medio pesato e i parametri necessari per caratterizzare il rumore presente in esse. Le informazioni ottenute da questo tipo di analisi come: il numero di osservazioni scartate, la periodicità e l'ampiezza dei segnali stagionali e le caratteristiche del rumore presente nelle serie temporali permettono di caratterizzare ogni singola stazione e il sito ove è installata.

### Discussione e Conclusioni

Uno dei parametri più interessanti per caratterizzare una serie temporale è il valore dello scarto quadratico medio pesato (WRMS). Questa informazione ottenibile in modo relativamente semplice, risulta molto utile per caratterizzare le serie temporali dei residui delle componenti della posizione di una stazione GNSS permanente. In particolare, se viene stimato considerando serie temporali in cui è possibile siano presenti segnali stagionali e non, rappresenta un buon indicatore di quanto possono essere significative le ampiezze di tali segnali. Inoltre, può essere utilizzato per stimare in modo preliminare la precisione con cui è possibile calcolare la velocità. Per questo motivo in questo lavoro è stato confrontato il valore dello scarto quadratico medio pesato ottenuto analizzando le osservazioni delle stazioni scientifiche con quello ottenuto analizzando i dati delle

stazioni realizzate per scopi di natura tecnica.. L'analisi è stata eseguita utilizzando tutte le stazioni aventi un periodo di osservazione di almeno 1 anno al 31/12/2014. In particolare, sono state analizzate le serie temporali di 204 stazioni scientifiche e 412 siti a carattere tecnico. Il valore dello scarto quadratico medio pesato utilizzato nell'analisi è quello stimato a partire dalle serie temporali dei residui ottenute eliminando l'andamento temporale e le eventuali discontinuità, questo significa che nelle serie utilizzate per il calcolo del WRMS sono ancora presenti i segnali stagionali

L'andamento dei valori del WRMS illustrati in Figura 5 ottenuti analizzando i dati forniti dai stazioni tecniche è molto simile a quello ottenuto considerando le osservazioni acquisite dai siti scientifici. Questo risultato indica che le diverse prescrizioni utilizzate per realizzare le stazioni e il differente uso e tipo di gestione non sembrano influire sulla rumorosità generale delle serie temporali dei siti nati per scopi tecnici . In particolare, i segnali stagionali presenti nelle serie di questi ultimi siti sembrano abbiano un'ampiezza paragonabile a quelle dei segnali presenti nelle serie dei siti scientifici. Questo perché i risultati presentati in figura 5 sono stati ottenuti analizzando le serie temporali in cui sono ancora presenti i segnali periodici.

E' possibile inoltre notare come in media, per quanto riguarda le componenti orizzontali, i valori di WRSM sono di pochi millimetri, mentre come era logico attendersi sono circa il doppio quelli relativi alla componente quota. Questi valori relativamente bassi stanno ad indicare una bassa rumorosità naturale dei siti e che i modelli utilizzati nel programma per l'elaborazione dati non hanno inserito segnali importanti derivanti da una cattiva modellazione dei vari fenomeni fisici considerati.

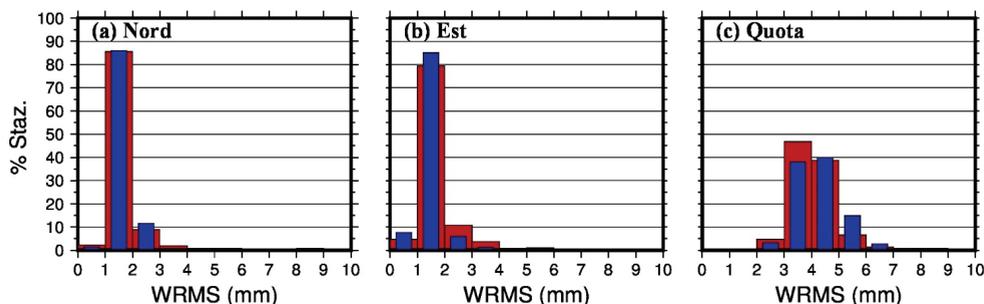


Figura 5 - Confronto tra i valori dello scarto quadratico medio pesato (WRMS) in mm tra le stazioni di tipo scientifico (istogramma rosso) e quelle di carattere commerciale (istogramma blu). In questa analisi sono state incluse solo le stazioni con almeno 1 anno di osservazione e le serie dei residui utilizzate per il calcolo sono state ottenute eliminando l'andamento nel tempo e gli eventuali salti in corrispondenza di eventi sismici e/o interventi sulla strumentazione. In ordinata è rappresentata la percentuale di stazioni che sono caratterizzata da un dato valore di WRMS rispetto al numero massimo di stazioni esaminate, che sono 214 per quanto riguarda i siti scientifici e 402 per le stazioni tecniche . a) Componente Nord della posizione della stazione. b) Componente Est. c) Componente Quota.

Il risultato ottenuto in questo lavoro dimostra che le prescrizioni utilizzate per realizzare i siti a carattere tecnico non introducono mediamente segnali stagionali e non sono in grado di precludere l'utilizzo delle osservazioni di questi siti per scopi scientifici o geodetici. Come nel caso delle installazioni scientifiche, anche per quanto riguarda quelle tecniche si hanno alcuni siti caratterizzati da segnali periodici importanti, che però sono legati alle situazioni particolari del luogo ove sono installati o alle modalità di costruzione utilizzate. Questo risultato non rappresenta che il primo passo verso la caratterizzazione delle stazioni permanenti italiane allo scopo di migliorare la precisione con cui si possono ricavare i diversi parametri che le caratterizzano ed aumentarne l'efficacia nel controllo e monitoraggio del territorio. In particolare, il passo successivo è rappresentato dal confronto tra i risultati qui illustrati ottenuti con il programma Gamit/Globk e quelli ricavati analizzando le medesime osservazioni con un programma differente come il Gipsy/OASIS. Di sicuro interesse sarà l'analisi delle ampiezze e delle periodicità dei segnali stagionali presenti nelle serie temporali e la loro possibile correlazione con il tipo di stazione e soprattutto con la tipologia del supporto dell'antenna utilizzato. Le serie temporali ottenute dai due

programmi di analisi dati e quella ricavata dalla loro differenza potranno anche essere analizzate utilizzando metodi che consentono di individuare possibili segnali comuni, come ad esempio la principal component analysis (PCA).

### Ringraziamenti

Si ringraziano le seguenti istituzioni pubbliche e private: ASI, Arpa Piemonte, Dipartimento della Protezione Civile della Calabria, EUREF, OGS - FREDNET, Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria (LABTOPO), FOGER, Geotop – NetGEO, INGV – RING, Leica – Italpos, Regione Abruzzo, Regione Campania Regione Emilia Romagna, Regione Friuli Venezia Giulia, Regione Liguria, Regione Lombardia, Regione Piemonte, Regione Puglia, Regione Veneto, Provincia Autonoma di Bolzano e Provincia Autonoma di Trento per aver gentilmente messo a disposizione della comunità scientifica le osservazioni delle stazioni permanenti da loro gestite. Le figure sono state realizzate con il programma Generic Mapping Tools (Wessel e Smith, 1995).

### Bibliografia

- Altamimi, Z., Métivier, L. and Collilieux, X. (2012) “ITRF2008 Plate Motion Model”. *Journal of Geophysical Research*, 117, Article ID: B07402. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JB008930>.
- Baldi, P., Casula, G., Cenni, N., Loddo, F., Pesci, A. (2009). “GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy)”. *Earth Planet. Sci. Lett.* 288 (1/2): 204–212, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2009.09.023>.
- Baldi, P., Casula, G., Cenni, N., Loddo, F., Pesci, A., Bacchetti, M. (2011). “Vertical and horizontal crustal movements in Central and Northern Italy”. *Boll. Soc. Geol. It.*, 52 (4): 667–685.
- D’Agostino N., England P., Hunstad I., Selvaggi G. (2014). “Gravitational potential energy and active deformation in the Apennines”. *Earth and Planetary Science Letters* 397: 121-132
- Devoti R., Esposito A., Pietranattonio G., Pisani A.R., Riguzzi F., (2011). “Evidence of large scale deformation patterns from GPS data in the Italian subduction boundary”. *Earth Planet. Sci. Lett.* 31: 230–241.
- Devoti R., L. Anderlini, M. Anzidei, A. Esposito, A. Galvani, G. Pietranattonio, A.R. Pisani, F. Riguzzi, V. Sepe and E. Serpelloni (2012). “The coseismic and postseismic deformation of the L’Aquila, 2009 earthquake from repeated GPS measurements”. *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, Vol. 131, No. 3, pp 348-358, doi: 10.3301/IJG.2012.15.
- Dong D., Herring T.A. King R.W. (1998). “Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data”. *J. Geod.*, 72, 200-214.
- Gandolfi S., Tavasci L., Poluzzi L., (2015). “High accuracy Precise Point Positioning strategy for regional networks”, *GPS Solution*, DOI 10.1007/s10291-015-0459-z
- Herring, T.A., King, R.W., McClusky, S.C., (2015a). “GAMIT Reference Manual, GPS Analysis at MIT, Release 10.6”. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Herring, T.A., King, R.W., McClusky, S.C., 2015b. “Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, GLOBK Reference Manual, Release 10.6”. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Tamburelli C., Cenni N., Baglione M., D’Intinosante V. (2015a). “Present Tectonic Setting and Spatio-Temporal Distribution of Seismicity in the Apennine Belt”. *International Journal of Geosciences*, 6, 429-454. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.64034>.
- Mantovani E., Viti M., Cenni N., Babbucci D., Tamburelli C., Baglione M., D’Intinosante V. (2015b). “Seismotectonics and present seismic hazard in the Tuscany-Romagna-Marche-Umbria Apennines (Italy)”, *J. Geodyn.*, 89, 1–14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2015.05.001>.
- Serpelloni, E., C. Faccenna, G. Spada, D. Dong and S.D.P. Williams (2013). Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: new evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary, *J. Geophys. Res.*, 118, 1–21, doi:10.1002/2013JB010102.
- Wessel P. and Smith W.H.F.; 1998: New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Trans. AGU*, 79, 579.