

Confronto tra stima di parametri di posizione e velocità ottenuti da serie temporali continue o a blocchi

Maurizio Barbarella, Stefano Gandolfi

(*) DICAM-ARCES, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna
Tel. 051 2093106, Fax 051 2093114, e-mail: nome.congome@unibo.it

Riassunto

La posizione delle stazioni che realizzano il Frame di un Sistema Geodetico è ottenuta da centri di calcolo che in continuo (con cadenza giornaliera o settimanale) acquisiscono dati grezzi e calcolano soluzioni. Questo è quanto realizzato da IGS e EUREF per la gestione dei sistemi ITRS e ETRS89. L'Italia ha recentemente adottato il Sistema Geodetico Europeo ETRS89 e ha realizzato il Frame di riferimento nazionale denominato RDN (Rete Dinamica Nazionale). Per la definizione del sistema l'IGM e diversi centri di calcolo (tra cui l'Università di Bologna) hanno calcolato autonomamente la soluzione utilizzando quattro settimane di dati ogni sei mesi circa. Successivamente l'IGM ha acquisito dati dalle stazioni di RDN non in modo continuo ma per dataset della durata di 4 settimane a sei mesi di distanza l'uno dall'altro. La ricerca in oggetto, basandosi su un campione di circa 8 anni di dati di una rete di 13 Stazioni Permanenti della rete IGS-EPN (quella utilizzata per l'inquadratura della rete RDN), intende analizzare le differenze tra risultati medi di posizione e velocità ottenuti da una soluzione a blocchi rispetto ad una soluzione continua sia in termini di stima dei parametri sia in termini di accuratezza associata. Viene inoltre valutata la affidabilità della stima delle velocità in relazione alla durata del dataset.

Abstract

The position of the stations that realize the Frame of a Geodetic System is obtained by Computing Centers that continuously (every day) acquire raw data from the Stations and compute solutions. This task is carried out by IGS and EUREF which realize and manage the Geodetic Systems ITRS and ETRS89 and periodically update the System's frames Italy has recently adopted the European Geodetic System ETRS89 and has created the national densification frame, called RDN (Rete Dinamica Nazionale). For the definition of the RDN frame, various computing centers (including the University of Bologna) have independently calculated the solution using four weeks of data, in agreement with IGM. Then IGM has acquired data from RDN stations not continuously but through data samples of four weeks about every 6 months. This paper intends to analyze the differences between the results obtained from a discontinuous dataset (like that considered by IGM) with respect a continuous and seamless data sample. The research in question is based on a sample of about 8 years of data from a network of 13 permanent stations network EPN-IGS (the one used for the classification of the network RDN). The same dataset is used to assess the influence of the duration of the of time series on the reliability of the estimate of the velocity of points.

1. Il problema affrontato

Nell'elaborazione delle osservazioni acquisite da Stazioni Permanenti una fase molto impegnativa riguarda la organizzazione dei dati in un archivio ben organizzato che costituisce il dato di input al o ai software scelti per il calcolo. Nel caso di una rete articolata composta di numerose stazioni anche la semplice acquisizione dei dati grezzi completi può risultare un problema complesso,

soprattutto se i ricevitori sono di marche diverse, se le stazioni appartengono a diversi soggetti, se non è possibile organizzare il flusso regolare e automatizzato dei file giornalieri registrati dalla Stazione verso il centro di calcolo. Problemi di questo tipo sono stati incontrati dall'IGM quando ha selezionato una novantina di Stazioni Permanenti (SP) italiane per costituire una Rete che fungesse da frame del nuovo Sistema Geodetico Italiano, la R.D.N. [Relazione RDN]: le stazioni sono state scelte in modo da avere una distribuzione omogenea su tutto il territorio nazionale, da essere sufficientemente affidabili sia strutturalmente che per la strumentazione installata che per affidabilità della gestione. Tuttavia non è stato possibile almeno nei primi anni organizzare un flusso continuo e automatico dei dati, per cui l'IGM ha concentrato gli sforzi per acquisire uno spezzone di registrazioni della durata di 28 giorni, tramite i quali ha calcolato la posizione d'impianto dei vertici della rete, inquadrata su circa una dozzina di S.P. delle reti IGS e EUREF. Successivamente all'impianto, il monitoraggio delle posizioni e delle caratteristiche specifiche delle singole stazioni è stato effettuato ripetendo i calcoli a distanza di sei mesi, sempre su uno spezzone continuo di 4 settimane; questa procedura è stata seguita dal 2008 fino ad ora pur continuando il processo di automazione del flusso dati che sembra potersi considerare ormai completato. E' interessante capire se l'elaborazione di spezzoni temporali di durata Δt acquisiti a distanza di tempo T equivalga sostanzialmente alla elaborazione dei dati completi senza soluzione di continuità, e questo sia in termini di posizione che di velocità; infatti il calcolo ripetuto nel tempo della posizione dei punti di una rete, oltre a tenere sotto controllo le caratteristiche di stabilità delle singole stazioni, ha il vantaggio di fornire indicazioni sulla loro velocità nel sistema adottato per il calcolo. E' importante sottolineare che per la definizione di un frame geodetico pienamente operativo occorre conoscere la posizione dei vertici a una certa data (epoca) ma anche la velocità (dati corredati da matrice di varianza covarianza), in modo da aggiornare la posizione della stazione ad un tempo successivo ipotizzando un movimento uniforme. In questo lavoro gli autori si pongono due obiettivi. Uno riguarda il confronto dei risultati ottenuti col passare del tempo tra elaborazione eseguite per spezzoni temporali discontinui regolarmente intervallati (com'è avvenuto per RDN) e quelli ottenuti con dati senza soluzione di continuità. Un secondo problema riguarda il tempo necessario ad ottenere stime attendibili per le velocità delle stazioni: per quanto riscontrabile in letteratura, tre anni di funzionamento (in continuo) vengono generalmente considerati indispensabili allo scopo; sembra utile svolgere una analisi in questa direzione anche nel contesto nazionale. Per approfondire i due punti si analizza una rete i cui dati sono disponibili per un lungo periodo di tempo e che danno garanzie di accurati controlli effettuati ad alto livello tecnico scientifico; la scelta è caduta su Stazioni Permanenti delle reti IGS o EUREF.[Boucher, Altamimi., 2007].

2. Formazione del campione dati usato nelle elaborazioni

Per l'analisi si è scelto una rete campione costituita da Stazioni Permanenti delle Reti internazionali IGS e EUREF ben documentate da anni e quindi tali da consentire una agevole acquisizione di dati affidabili. Per quanto attiene la collocazione geografica della rete, sono state scelte le stesse 13 Stazioni usate per effettuare l'inquadramento di RDN perché lo studio del loro comportamento consente di prefigurare quello (ovviamente medio) delle stazioni di RDN, al di là del comportamento specifico di ciascuna di esse. Per quanto concerne la collocazione temporale, l'archivio è stato creato con i dati disponibili a partire dal 2002; le valutazioni sono state concentrate negli stessi periodi per i quali sono state effettuate le elaborazioni per RDN (dalle ultime due settimane del 2007 ad oggi) [Barbarella., Gandolfi , 2010.]. Questo significa che per studiare le differenze introdotte dall'uso di spezzoni temporali disgiunti rispetto alla elaborazione sull'intero intervallo senza soluzione di continuità, sono stati considerati gli intervalli temporali riportati in tabella 1. Per 'epoca' s'intende il riferimento temporale dello spezzone, collocato a circa la sua metà :

N°	Epoca	da	a	n°	n°
1	2008.0	357/2007	019/2008	98	2595
2	2008.5	167/2008	194/2008	73	1928
3	2009.0	356/2008	017/2009	89	2260
4	2009.5	165/2009	192/2009	97	2454
5	2010.0	354/2009	016/2010	87	2189

Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. – Spezzoni temporali di dati acquisiti per RDN.

Per la realizzazione del dataset in oggetto, sono state messe a punto procedure batch in ambiente linux sia per il download dei dati delle stazioni permanente sia per il download delle orbite precise. L'archivio è stato suddiviso in anni e giorni seguendo le architetture standard di archiviazione dei dati nei principali repository mondiali.

Una volta organizzato l'archivio dati è stata anche realizzata una procedura automatizzata per la esecuzione dei calcoli della posizione dei punti.

3. Modalità di elaborazione dei dati

Per l'analisi che si intendeva effettuare, il calcolo della posizione dei punti della rete è stato utilizzato il software Gipsy [Zumberge,1997] in modalità Precise Point Positioning e senza risoluzione delle ambiguità iniziali di fase che risulta particolarmente efficiente soprattutto in termini di velocità di esecuzione e produce risultati *equivalenti* ad altri software di tipo scientifico, quali Bernese e Gamit soprattutto per quanto attiene la stima dei parametri di posizione e velocità media dei siti [Kierulf, 2008]. Il calcolo ha fornito soluzioni giornaliere per le 13 Stazioni analizzate su tutto il periodo, soluzioni consistenti nelle stime della posizione del punto e della relativa matrice di varianza 3x3: avendo con Gipsy seguito l'approccio indifferenziato, ciascun punto della rete è calcolato indipendentemente dagli altri e quindi non sono calcolate le covarianze tra le stazioni. Avendo quindi a disposizione le soluzioni giornaliere su tutto il periodo 2002 – 2010 è possibile analizzare campioni parziali relativi a determinati intervalli temporali, in relazione a ciascuno dei quali è stata effettuata una analisi standard, separatamente per ciascuna coordinata, basata su un protocollo e su codici ampiamente testati e consistente essenzialmente in :

- Stima dei parametri di regressione lineare dei dati (coordinate stimate giornalmente) ricompresi nel campione, mediante minimi quadrati pesati tramite l'inverso della varianza ottenuta per la coordinata stimata da Gipsy,
- eliminazione iterativa di singole soluzioni giornaliere che sono considerate outliers alla luce di parametri statistici predefiniti,
- stima definitiva del fit per ciascuna coordinata separatamente e ottenimento dei coefficienti della regressione lineare finale e dei parametri statistici associati alla loro stima.

La procedura accennata è stata applicata a tutti i campioni (nel seguito indicati con A, B,..E) sia che fossero costituiti da spezzoni discontinui che contenessero dati senza soluzione di continuità nel periodo considerato. Per l'intervallo temporale più breve considerato (spezzone di quattro settimane) si è stimata la media pesata anziché il trend lineare. Si osserva che il coefficiente angolare della regressione lineare ottenuto per la serie temporale delle coordinate è interpretabile come velocità media del punto stimata per il periodo analizzato (nel seguito espressa in mm/anno), per la quale è calcolato anche lo s.q.m. . Tramite i valori stimati dei coefficienti di regressione è possibile estrapolare il valore previsto per ciascuna coordinata ad un'epoca successiva con associata la corrispondente indeterminazione.

4. Analisi dei campioni costituiti da spezzoni disgiunti

Per analizzare le differenze risultanti dall'uso di spezzoni disgiunti di dati rispetto alla serie completa che ricopre il medesimo intervallo, sono stati elaborati cinque campioni di dati costituiti rispettivamente da 1,2,3,4,5 spezzoni (ciascuno di 28 giorni, corrispondenti ai tempi di acquisizione di RDN) e i cinque campioni corrispondenti costituiti da tutti i dati compresi dell'inizio del primo spezzone alla fine dell'ultimo considerato; la tabella illustra i campioni "paralleli" considerati e posti a confronti, e la relativa consistenza.

Campione DATI	Per Spezzoni		In Continuo		
	contiene	gg	da	A	gg
A	1	28	357/2007	019/2008	28
B	1 e 2	56	357/2007	194/2008	202
C	1,2,3	84	357/2007	017/2009	390
D	1,2,3,4	112	357/2007	192/2009	565
E	1,2,3,4,5	140	357/2007	016/2010	754

Tabella 1 – Campioni analizzati e loro consistenza.

Per valutare le differenze introdotte dall'uso di spezzoni discreti intervallati di circa sei mesi rispetto alla serie temporale che copre con continuità lo stesso intervallo, si è scelto di confrontare il dato che si ottiene proiettando le stime delle corrispondenti regressioni, a una data corrispondente a sei mesi dopo il termine del campione, secondo quanto illustrato in tabella 2; si vuole cioè rispondere alla domanda: le previsioni a sei mesi (quando inizierà il prossimo spezzone), di quanto differiscono nei due casi?

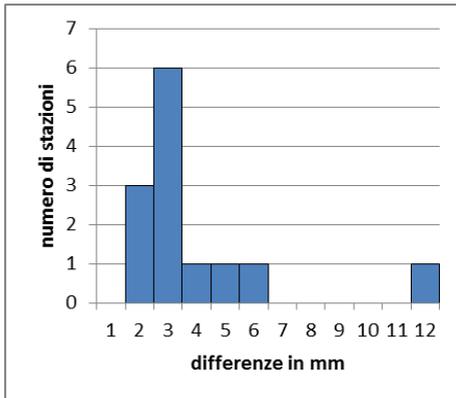
Campioni	B	C	D	E
Termine dati, gg.	194/2008	017/2009	192/2009	016/2010
Proiezione	2009.0	2009.5	2010.0	2010.5

Tabella 3 – Ultimo dato presente nel campione e data di proiezione della stima di posizione.

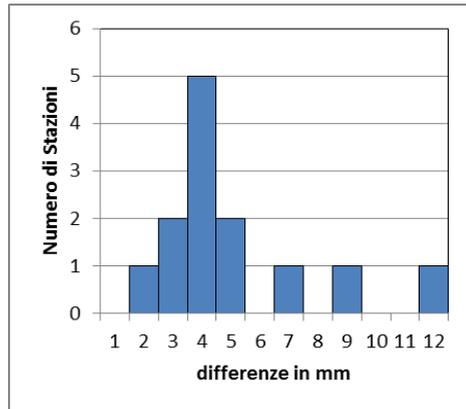
La differenza delle coordinate geocentriche (ΔX , ΔY , ΔZ) che si ottengono dalla elaborazione dei due campioni corrispondenti allo stesso periodo può essere sinteticamente riassunta dai grafici della sottostante figura 1, nei quali sono riportati gli istogrammi del modulo dello spostamento globale per ciascun punto, $\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ in mm ottenuti per i quattro casi B,C,D,E considerati. Per ciascuna coordinata il comportamento è indicato dai parametri statistici in Tabella 4.

(mm)	ΔX		ΔY		ΔZ		Spostamento Δ	
	media	s.q.m.	Media	s.q.m.	media	s.q.m.	media	s.q.m.
B	-0.9	2.7	0.4	1.8	-0.9	2.0	2.6	3.0
C	-0.2	2.9	-0.1	1.5	-0.2	3.1	3.5	2.6
D	0.3	1.3	0.2	0.9	0.4	1.4	1.8	1.0
E	0.4	1.5	-0.1	0.8	0.5	1.3	1.9	1.0

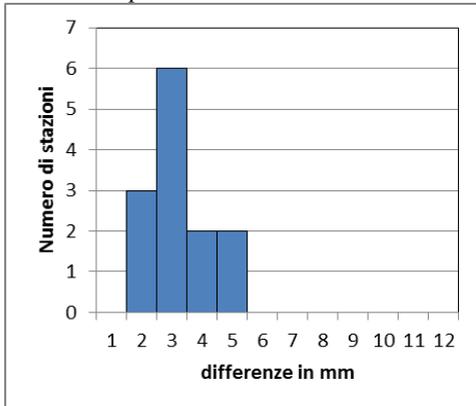
Tabella 4 – Parametri statistici della differenza di coordinate stimate, in X,Y,Z e totale.



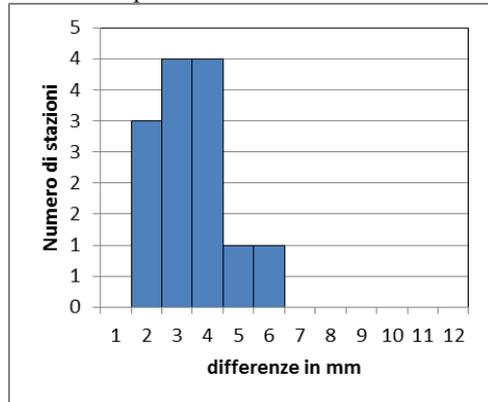
Caso B : 2 spezzoni



Caso C : 3 spezzoni



Caso D : 4 spezzoni



Caso E : 5 spezzoni

Figura 1 – Istogramma della differenza di posizione per il punto stimata per i vari campioni.

Con 2-3 spezzoni si assiste ad un comportamento abbastanza differenziato tra i vari punti, con una stazione che presenta una differenza di posizione di 1 cm, decisamente importante.

Nei casi D ed E ovvero con 4 e 5 spezzoni che coprono (in modo continuo e no) rispettivamente 2 e 2.5 anni, le differenze dovute all'uso di spezzoni di un mese sono limitate in media ma soprattutto il comportamento è più omogeneo tra i punti, anche se esistono stazioni che presentano ancora differenze di 5-6 mm nella posizione prevista. L'uso di spezzoni introduce variazioni modeste ma apprezzabili, che si riducono col passare del tempo; quello che però si perde definitivamente è la possibilità di apprezzare variazioni annuali della serie temporale e quindi la possibilità di una modellizzazione più fine.

5. Stima delle velocità

L'altro problema affrontato riguarda l'attendibilità della stima della velocità dei punti stimata in relazione alla lunghezza della serie temporale. A questo scopo sono state calcolate le differenze tra le stime delle velocità di ciascuna coordinata delle stazioni ottenute con gli spezzoni parziali e il corrispondente valore relativo all'intero campione di dati, ottenendo i risultati sintetizzati nelle figure seguenti. Considerata la media dei valori sulle stazioni si osserva soprattutto per le componenti Est e Nord (sistemi geodetici locali con origini nei punti di stazione) una rapida

convergenza a zero: in ordinata la media della differenza di velocità rispetto al campione completo in mm/anno, in ascissa la durata del campione, in mesi.

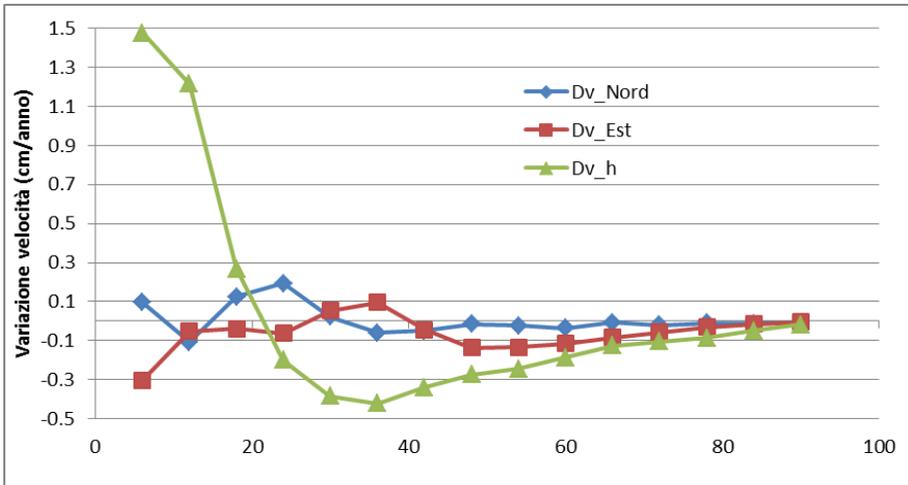
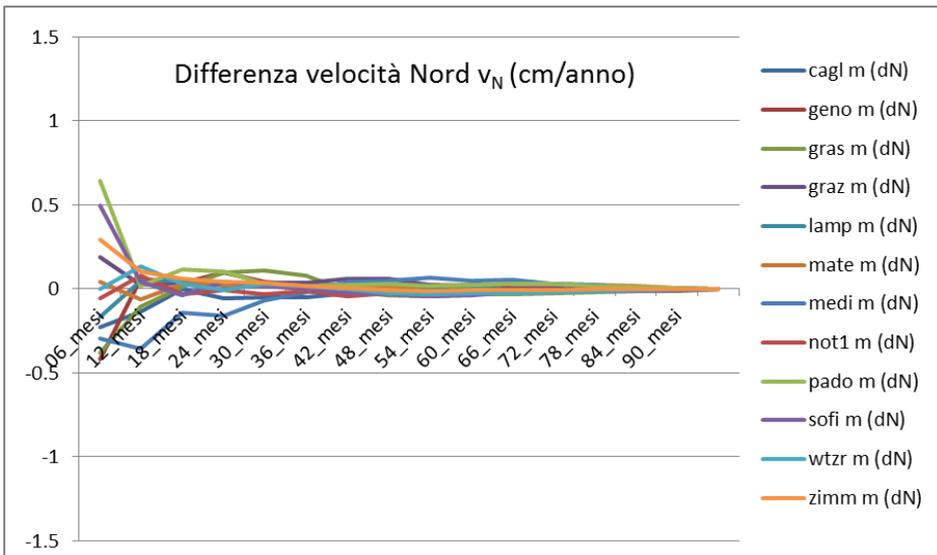


Figura 2 – Media delle differenze di velocità in relazione alla lunghezza del campione analizzato.

Ovviamente non tutte le stazioni si comportano allo stesso modo: negli istogrammi succievi si riporta la dispersione del difetto di troncamento per alcune durate del campione dati usato.



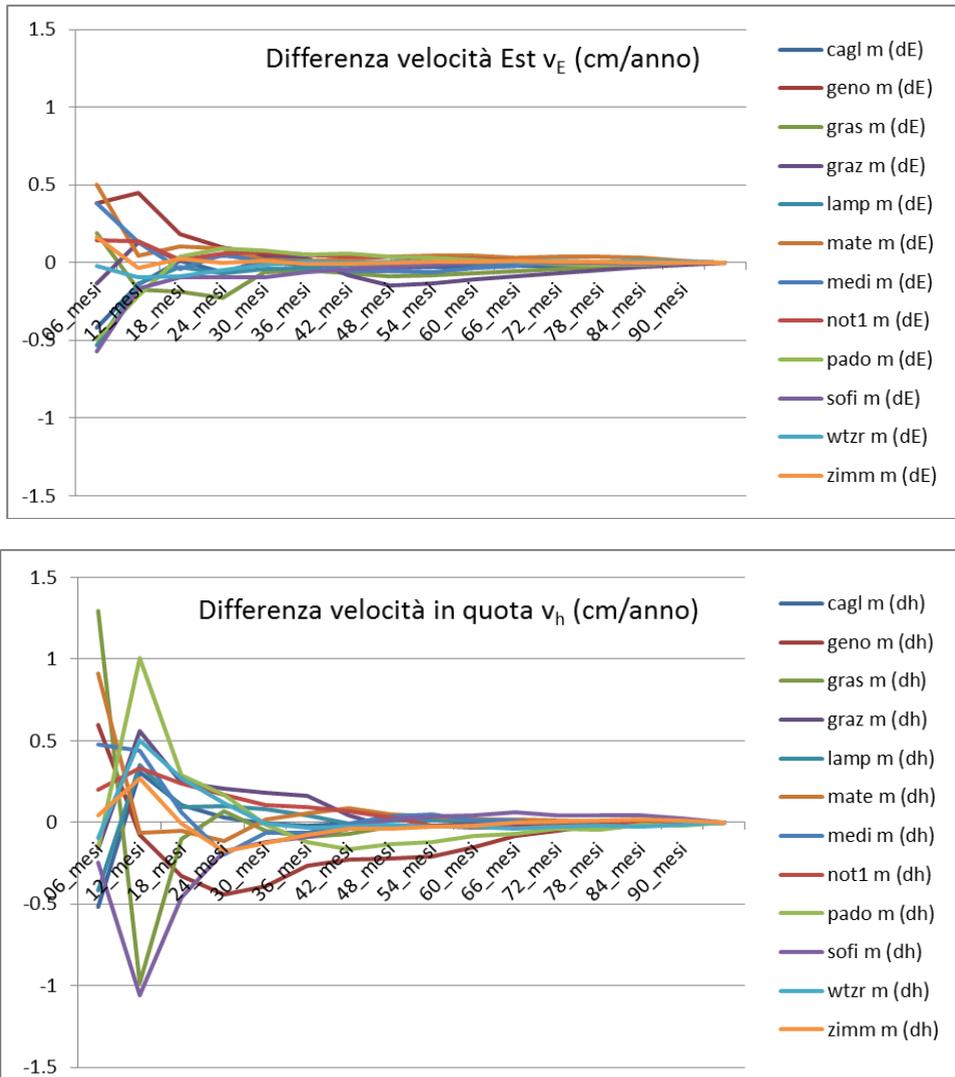


Figura 3 – Differenze di velocità di ciascuna stazione in relazione alla lunghezza del campione analizzato.

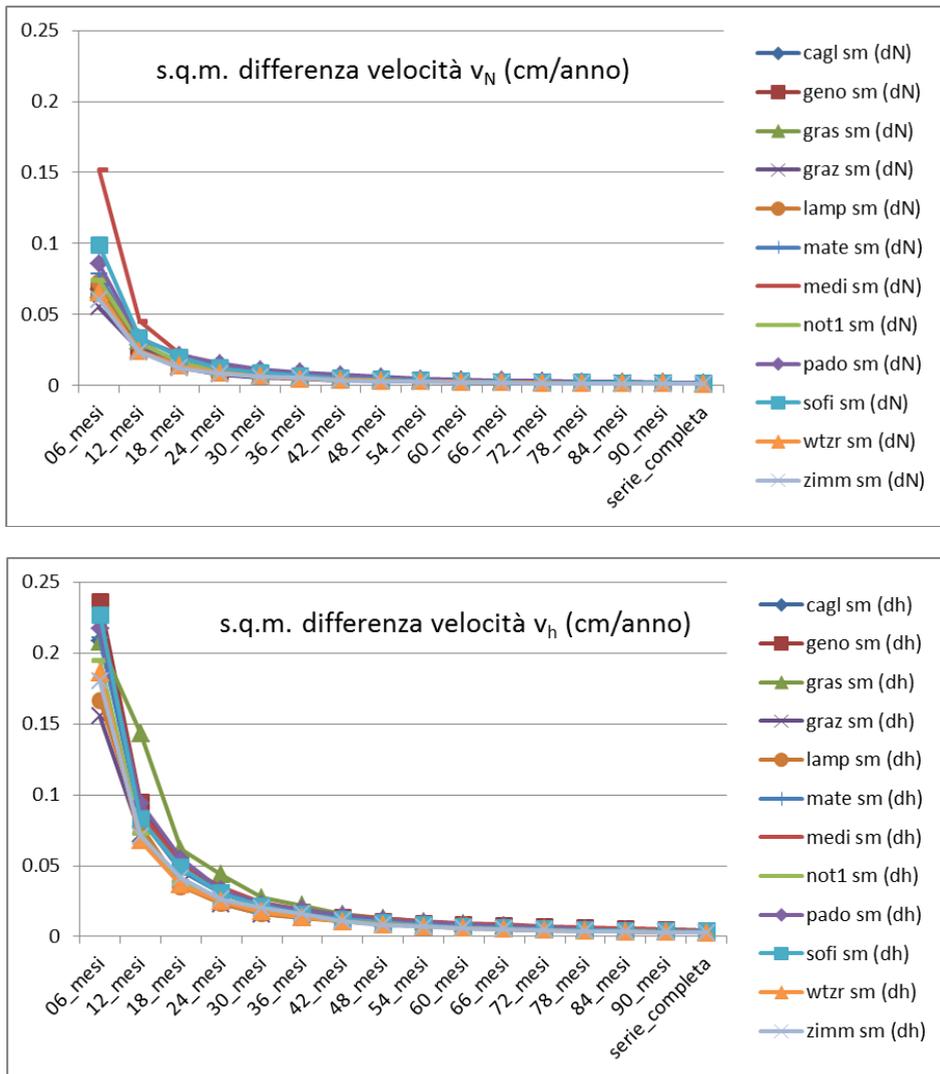


Figura 4 – Valore dello s.q.m. della stima di velocità delle stazioni per i campioni analizzati.

Si osserva che l'indeterminazione associata alla stima delle velocità del campione completo, soprattutto per le componenti planimetriche, risulta assai piccola, inferiore al decimo di millimetro. Anche prendendo come limite di significatività il triplo dello s.q.m. della velocità finale, la differenza tra stima del campione ridotto e quello finale rimane superiore a quel limite anche per spezzoni lunghi una ottantina di mesi e quasi in un terzo dei casi non diviene mai inferiore. Col tempo la stima si raffina sempre più, dal punto di vista dei parametri formali e il campione utilizzato non ha durata ancora sufficiente a capire se un intervallo più ridotto è equivalente.

6. Conclusioni

Il comportamento d'insieme della Rete RDN, al di là delle caratteristiche specifiche locali di ogni singola stazione, è ben descritto da quello delle 13 Stazioni Permanenti di IGS e EUREF che sono

usate per inquadrare RDN nel contesto mondiale dei sistemi ITRS e ETRS89. Analizzando il comportamento di tali stazioni si ritiene di non allontanarsi troppo da quelli che sono i comportamenti di RDN. Otto anni di dati delle 13 stazioni sono stati usati per capire quanto una soluzione ottenuta su due spezzoni di 28 giorni ogni anno si può discostare da quella calcolata su un campione completo. I primi risultati mostrano che i risultati migliorano con il passare del tempo e che dopo 2-3 anni la posizione previste a sei mesi dopo la fine del campione (cioè quando inizia la successiva acquisizione) differiscono di alcuni mm (fino a 6 per una stazione), quindi piccole ma non trascurabili. Ovviamente con dati discontinui viene meno la possibilità di apprezzare variazioni annuali della serie temporale e quindi la possibilità di una modellizzazione più fine. Si ritiene importante che per un Frame nazionale sia importante associare alle posizioni ad una certa data, anche una indicazione delle velocità. Per avere un'idea, al di là di quanto riportato in letteratura, se i dati disponibili su RDN siano sufficienti a definire una attendibile stima della velocità, il campione trattato è stato suddiviso in sottocampioni di diversa lunghezza e le stime di ciascuno di essi per le velocità sono state confrontate con quella ottenuta col campione completo, oltre 8 anni. Considerando sensibili le differenze di velocità superiori a 1 mm/anno (dal punto di vista pratico), si riscontra che si raggiunge questo limite dopo 3 – 3.5 anni per le componenti planimetriche, ma dopo 5 -5.5 anni per la quota.

Questi primi risultati potranno essere approfonditi anche considerando migliori modelli per l'errore presente nelle serie temporali

Bibliografia

Relazione RDN sito IGMI: <http://87.30.244.175/rdn/rdn.php>

Boucher C. and Altamimi Z., (2007): *Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS Campaign*, (Available on line at: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>) *Guidelines for European Permanent Network Analysis* .
http://www.epncb.oma.be/organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf

Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L. (2010). *Confronto degli spostamenti e velocità di una rete di stazioni permanenti ottenuta con due software di calcolo*. Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA, 9 – 12 novembre 2010, Fiera di Brescia

Zumberge J.F., Helfin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., 1997. Precise point positioning for efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, 102, 5005–5017.

Kierulf H.P., Plag H.-P., Bingley R.M., Teferle N., Demir C., Cingoz A., Yildiz H., Garate J., Davila J.M., Silva C.G., Zdunek R., Jaworski L., Martinez-Benjamin J.J., Orus P., Aragon A., 2008. Comparison of GPS analysis strategies for high-accuracy vertical land motion. *Physics and Chemistry of the Earth*, doi:10.1016/j.pce.2006.11.003, 33, 194–204.

Caporali A., Turturici F., Maseroli R., Farolfi G., (2009), Preliminary results of the computation of the new italia Permanent Network RDN of GPS stations., *Bullettin of Geodesy and Geomatics*, LXVIII, 2009, 2, 147-162.

Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A., (2010), The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages, (Accettato ed in corso di stampa sul BGG)