

Caratterizzazione dei punti di misura radar in ambito urbano per lo studio delle deformazioni

Alessandro Ferretti⁽²⁾, Daniele Perissin⁽¹⁾, Claudio Prati⁽¹⁾, Fabio Rocca⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Politecnico di Milano*
Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
Email: perissin@elet.polimi.it

⁽²⁾ *Tele-Rilevamento Europa (TRE)*
Via V. Colonna 7, 20149 Milano, Italy
Email: alessandro.ferretti@treuropa.com

Riassunto

La tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS) è un'applicazione di punta nel contesto dell'interferometria SAR satellitare. Essa permette di monitorare fenomeni di deformazione millimetrici superando gli ostacoli tradizionali legati alle misure interferometriche radar da satellite, quali gli effetti atmosferici e la decorrelazione geometrica. Ciò è reso possibile grazie allo studio di un numero limitato di bersagli stabili nel tempo. Nonostante la tecnica PS sia uno strumento operativo già da alcuni anni, la natura fisica dei punti di misura osservati dal satellite è tutt'oggi oggetto di investigazione. La conoscenza della natura fisica dei PS è un passo fondamentale nell'interpretazione dei fenomeni di deformazione e per una corretta ricostruzione della topografia. Scopo del presente lavoro è mostrare i risultati del lavoro di ricerca sulla caratterizzazione dei punti di misura, ottenuti utilizzando 120 immagini acquisite dai satelliti ERS ed ENVISAT in un arco di 13 anni a partire dal 1992 relative alla zona urbana della città di Milano.

Abstract

The Permanent Scatterers (PS) technique represents the most advanced processing tool in the field of space-borne SAR interferometry to detect terrain deformations with millimeter accuracy. Such an accuracy is achieved in correspondence of privileged targets, the so called Permanent Scatterers. Even if the PS technique is an operational tool since 2000, the physical nature of the PSs is still a subject of investigation. A good knowledge of the PS nature is an essential step to further improve the interpretation of the measured ground deformation and to get a more precise topographic reconstruction. Aim of this work is to present the last results of this research program obtained by using 120 ERS and ENVISAT repeated acquisitions on the area of Milano (Italy).

1. INTRODUZIONE

La tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS) è un potente strumento operativo per monitorare deformazioni del suolo utilizzando bersagli radar coerenti presenti nell'area di interesse (fino a 700 PS/km²) e sfruttando lunghe serie di dati radar satellitari (Ferretti et al., 2001, Ferretti et al., 2000). L'aspetto più interessante di questo approccio è la capacità di ricavare misurazioni relative a singoli oggetti con precisione millimetrica. Nonostante la tecnica PS venga usata fin dalla fine degli anni novanta, la natura fisica dei PS è ancora oggetto di studio al fine di una corretta interpretazione delle misure rilevate. Ad esempio, la fase di un diedro formato dal terreno e dalla parete di un edificio non cambia in caso di lenta subsidenza dell'edificio bensì nel caso di subsidenza del terreno (Ketelaar et al., 2003). In secondo luogo, la classificazione delle strutture riflettenti che si comportano come PS permette l'identificazione a-priori dei PS osservando i particolari strutturali degli edifici. Infine, conoscendo la natura fisica dei PS, è possibile prevedere il

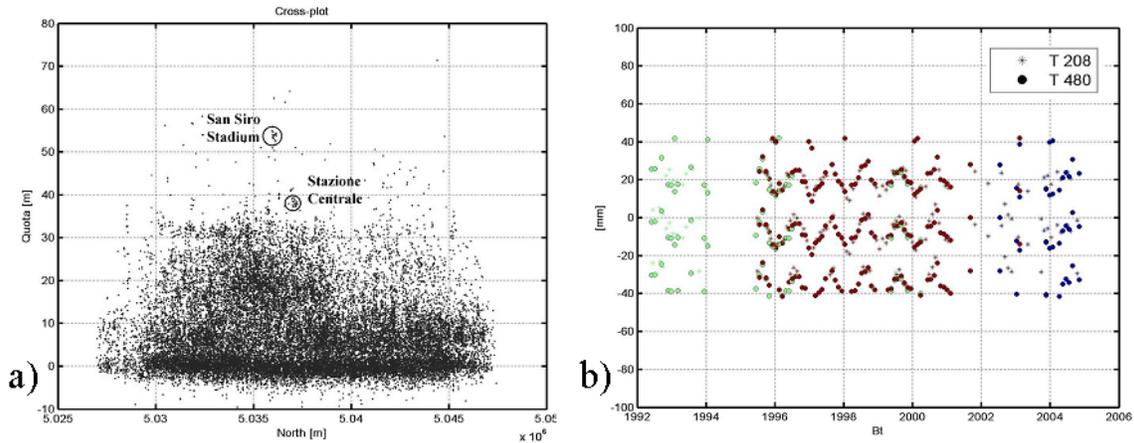


Figura 1. a) Quota [m] dei PS di Milano in funzione della coordinata Nord. b) Spostamento [mm] di un PS misurato da ERS ed Envisat da due track parallele (208 stelline, 480 pallini) con angolo di incidenza differente di 3 gradi.

loro comportamento elettromagnetico in differenti geometrie di acquisizione, frequenze e polarizzazioni, ed è possibile eseguire studi di fattibilità sull'integrazione di differenti sensori - come nel caso ERS ed Envisat (Colesanti et al., 2003, Ferretti et al., 2004). In questo articolo viene descritta la metodologia adottata per affrontare il problema della natura fisica dei PS e si riportano alcuni dei risultati ottenuti.

2. ANALISI FISICA

Il presente lavoro si basa sull'analisi di 120 immagini SAR della città di Milano. Le immagini sono state acquisite dai satelliti ERS-1, ERS-2 ed Envisat nel periodo 1992-2005. L'area elaborata si estende per $16 \times 18 \text{ Km}^2$ intorno al centro della città. Tra i vari parametri stimati per ciascun PS riportiamo i 4 più significativi: la quota rispetto al suolo, il *pattern* di radiazione, la fase dell'auto-interferogramma di una acquisizione Envisat in polarizzazione alternata e lo spostamento in funzione della temperatura d'ambiente nell'istante di acquisizione.

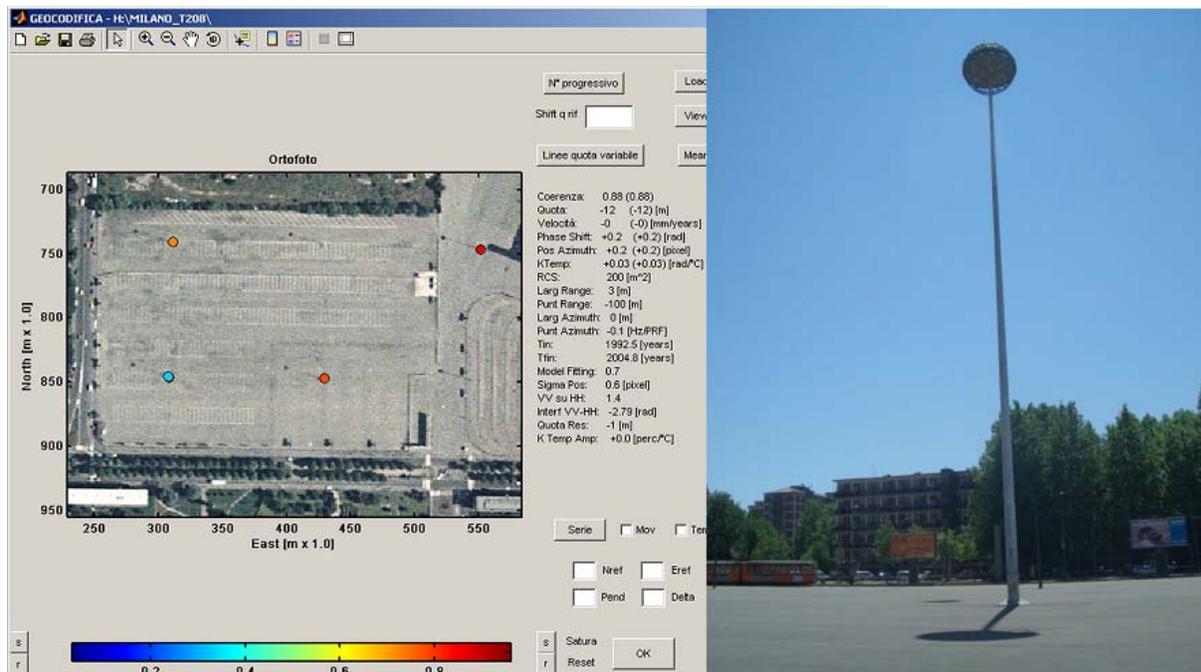


Figura 2. Pali su cemento che si comportano da diedri a simmetria cilindrica.

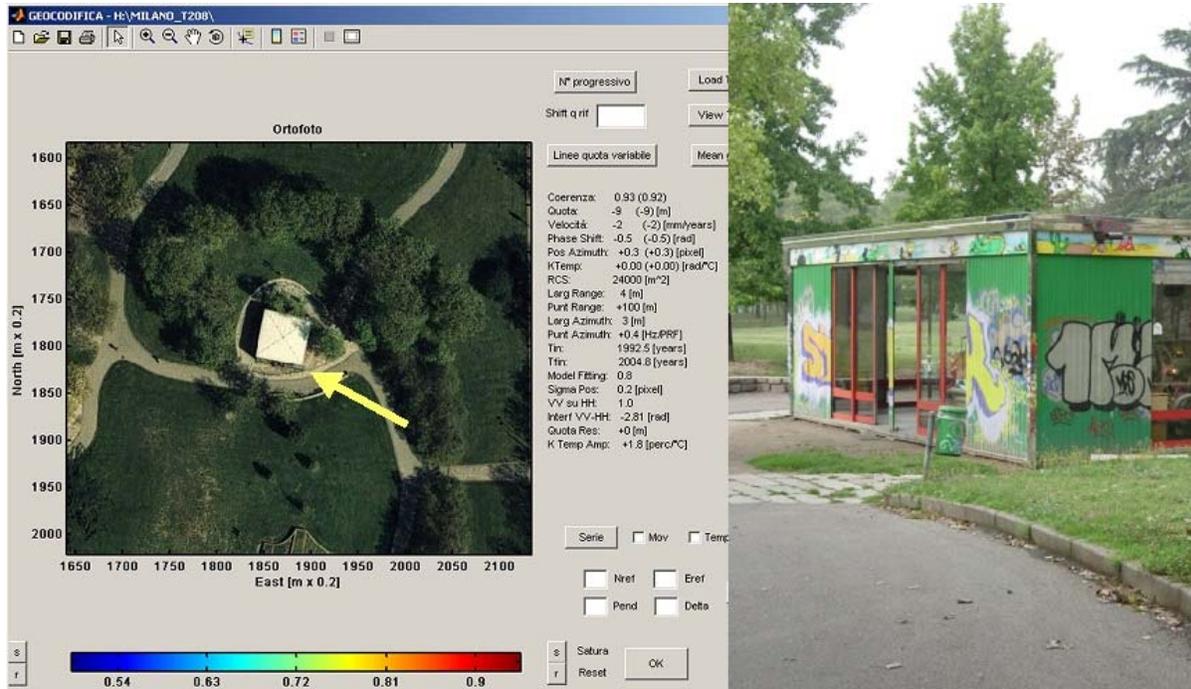


Figura 3. Struttura che si comporta da diedro.

2.1. Quota

Per associare un PS ad una struttura fisica, la sua posizione nello spazio deve essere nota con una accuratezza nell'ordine del metro nelle 3 dimensioni. Per ottenere ciò, è stata utilizzata la stima della quota dei PS che, unitamente alla velocità di spostamento lungo la linea di vista del radar, è il principale prodotto dell'analisi PS (Ferretti et al., 2001, Ferretti et al., 2000). In Figura 1a è riportata la quota (riferita al suolo) dei PS identificati a Milano, in funzione della coordinata Nord nel sistema di riferimento Gauss-Boaga. L'analisi del grafico permette di apprezzare alcuni insiemi di punti adiacenti a quote alte corrispondenti a tetti di strutture particolarmente regolari. Vale inoltre la pena notare l'aumento di densità di punti nel centro della città, dove gli edifici sono più alti e vicini tra loro. L'accuratezza raggiunta in media è vicina al metro (Rocca et al., 2004).

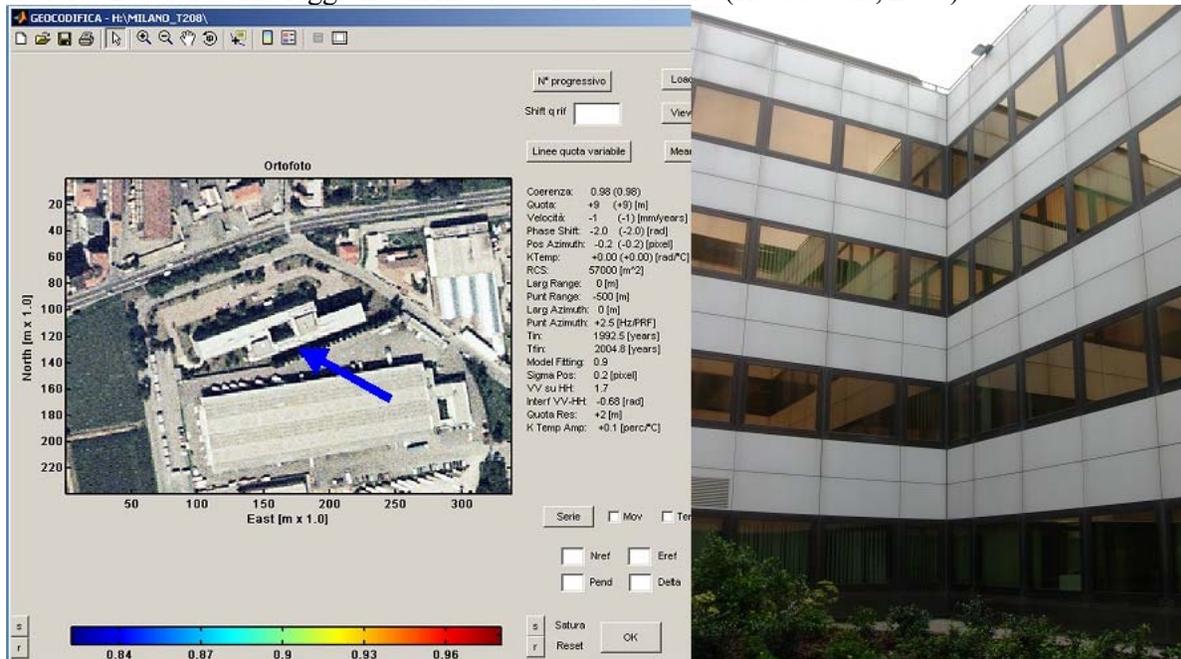


Figura 4. Cortile interno di un edificio che si comporta come un triedro.

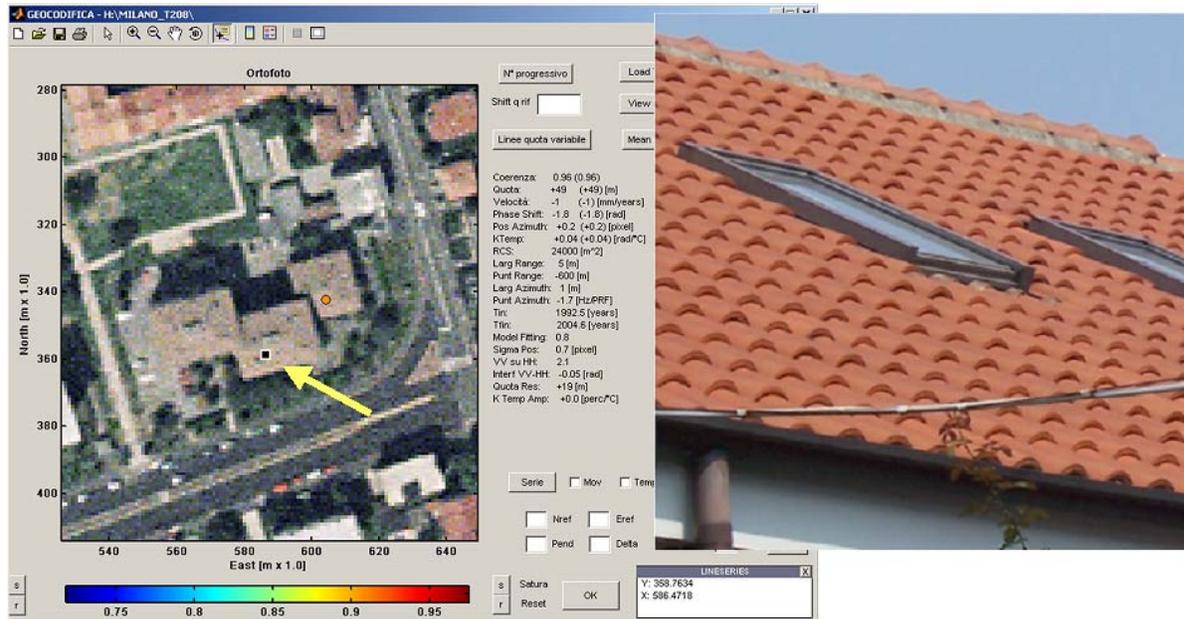


Figura 5. PS localizzato sul tetto dell'edificio riportato in foto. Dai parametri stimati si deduce essere una struttura risonante che si estende su tutta la superficie del tetto.

2.2. Analisi del pattern di radiazione

L'identificazione del pattern di radiazione di ciascun PS in funzione della geometria di acquisizione (baseline normale e Doppler centroid) è il secondo passo della caratterizzazione dei PS. Il pattern di radiazione dei PS è stato modellizzato con dei seni cardinali in entrambe le dimensioni di range ed azimuth. Ciascun PS è così identificato da 4 parametri: larghezza e orientamento in range ed azimuth. La larghezza del PS risulta inversamente proporzionale alla dimensione del lobo principale del pattern di radiazione, mentre la posizione del picco del lobo in funzione del baseline normale e del Doppler centroid dà informazione sul puntamento.

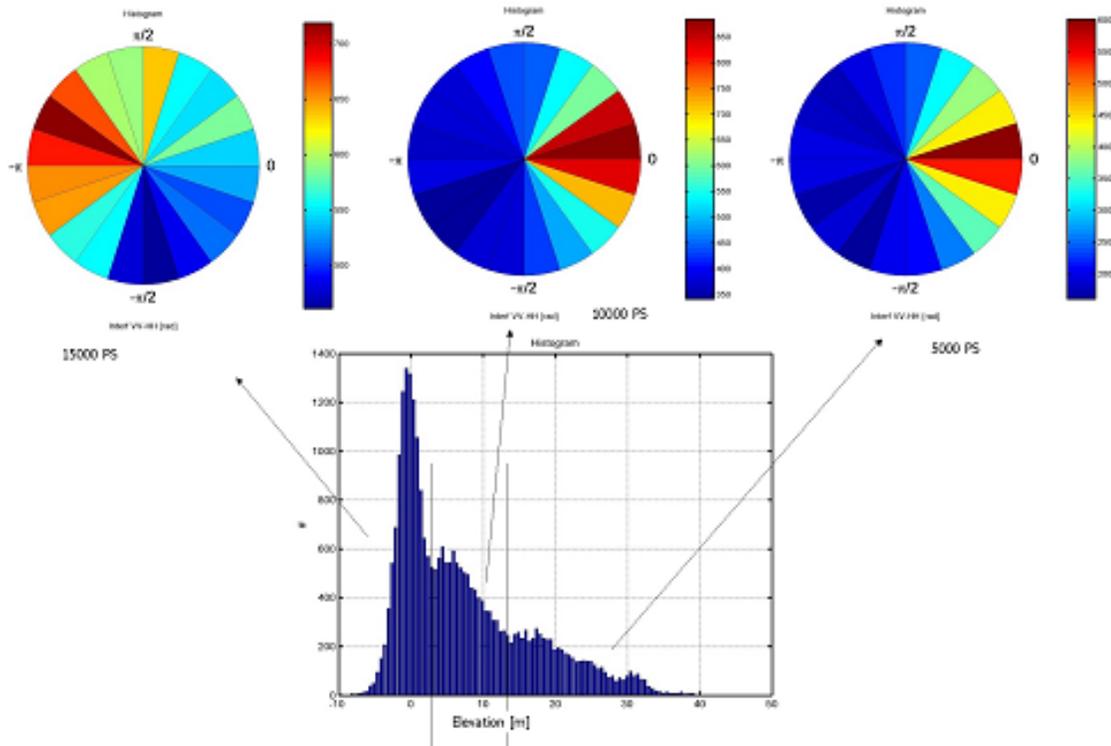


Figura 6. Istogrammi della fase dell'auto-interferogramma AP per differenti classi di quota.

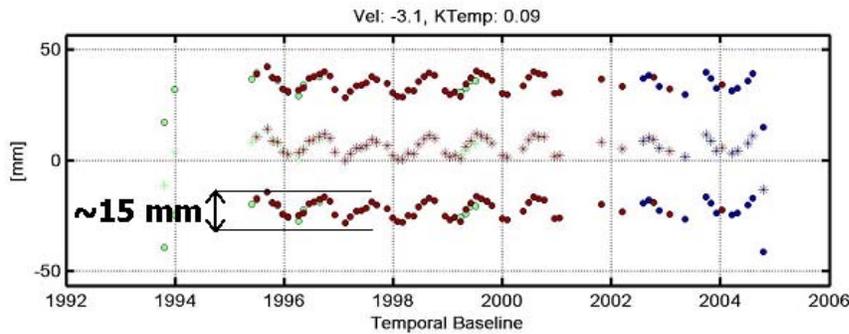


Figura 7. Spostamento [mm] in funzione del tempo del PS (triangolo) ubicato nell'incavo dell'edificio di sinistra riportato in foto, a quota 50m.

PS piccoli (Figura 2) con un pattern di radiazione ampio rimangono coerenti anche se osservati da differenti geometrie di acquisizione. Un PS con stessa localizzazione geografica in immagini acquisite con differente angolo di incidenza è mostrato in Figura 1b. I dati acquisiti da ERS ed ENVISAT da due track parallele (208 e 480) con angolo di incidenza differente di 3 gradi sono riportati insieme in funzione della data di acquisizione e mostrano coerenza particolarmente alta.

2.3. Polarizzazione alternata

Nella modalità di acquisizione in polarizzazione alternata, Envisat acquisisce simultaneamente due immagini con due differenti polarizzazioni della stessa area, con la stessa geometria di acquisizione con metà risoluzione in azimuth. Generando un interferogramma tra le due immagini (auto-interferogramma), in corrispondenza di "buoni diffusori", la fase interferometrica dipende solo dalla risposta polarimetrica del bersaglio (Inglada et al., 2004). L'auto-interferogramma può dunque essere sfruttato per distinguere rimbalzi pari (diedro in Figura 3) da rimbalzi dispari (triangolo in Figura 4). Uno specchio (o un triangolo) si comporta allo stesso modo se illuminato con polarizzazione orizzontale o verticale (fase auto-interferometrica 0), mentre un diedro ruota la fase di π radianti (Van Zyl., 1989). In figura 6 sono riportati tre istogrammi della fase auto-interferometrica per differenti classi di quote dei PS di Milano. È interessante osservare che la probabilità di avere diedri al suolo è particolarmente alta, mentre a quote maggiori dominano i rimbalzi dispari (tetti di tegole come in figura 5 o tetti metallici ondulati sono buoni retro-diffusori).

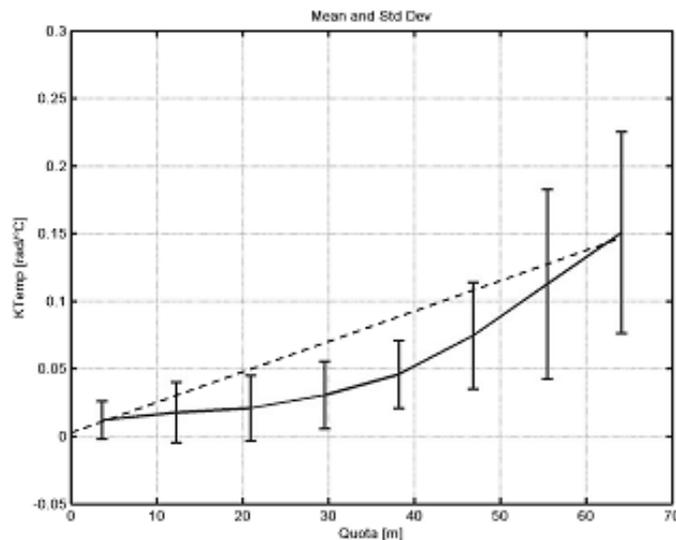


Figura 8. Dilatazione termica media in funzione della quota dei PS.

2.4. Temperature

L'ultimo parametro considerato è la correlazione tra le serie di fase temporali e le temperature nell'istante di acquisizione. Tale misura non si riferisce tanto al bersaglio in sé quanto alla struttura su cui giace. Infatti le oscillazioni di fase sono normalmente dovute alla dilatazione termica di alti edifici in calcestruzzo. Considerando il coefficiente di espansione termica del calcestruzzo, una escursione di temperatura di 30°C provoca una oscillazione di 15mm di un edificio alto 50m. Questo è il caso mostrato in figura 7, dove si riporta un esempio di serie storica dello spostamento che mostra una forte dipendenza dalla temperatura. L'ampiezza dell'oscillazione può dunque essere messa in relazione all'altezza dell'edificio, come si può vedere dalla figura 8, dove la dilatazione termica media dei PS è raffigurata in funzione della quota stimata nel sito di Milano. La linea tratteggiata indica la linea teorica del calcestruzzo.

3. CONCLUSIONI

I risultati sulla natura fisica dei PS mostrano che:

- i - La posizione dei PS può essere stimata con una accuratezza nell'ordine del metro.
- ii - Il pattern di radiazione dei PS e quindi le loro dimensioni e angolo di puntamento possono essere in prima approssimazione stimati dall'analisi delle ampiezze in funzione della geometria di acquisizione.
- iii - I diedri possono essere distinti dagli specchi e dai triedri sfruttando un'acquisizione in polarizzazione alternata.
- iv - Infine, la dilatazione termica è un indice della tipologia della struttura su cui giace il PS.

Futuri studi prevedono la combinazione di più satelliti SAR per lo studio della risposta dei bersagli sotto una più ampia varietà di parametri di acquisizione.

Riferimenti

- Ferretti, C. Prati, F. Rocca (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", IEEE TGARS, Vol. 39, no. 1.
- Ferretti, C. Prati, F. Rocca (2000), "Non-linear subsidence rate estimation using permanent scatterers in Differential SAR Interferometry", IEEE TGARS, Vol. 38, no. 5.
- Ketelaar V.B.H., Hanssen R.F. (2003), "Separation of different deformation regimes using PS-INSAR data", Proceedings of FRINGE 2003, Frascati (Italy).
- Colesanti, C.; Ferretti, A.; Perissin, D.; Prati, C.; Rocca, F. (2003), "ERS-ENVISAT permanent scatterers interferometry", Geoscience and Remote Sensing Symposium, Proceedings. 2003 IEEE International, Volume: 2, Pages:1130 - 1132 vol.2.
- Ferretti A., Perissin D., Prati C., Rocca F. (2004), "ERS-ENVISAT Permanent Scatterers" Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2004, Proceedings Anchorage (Alaska).
- Rocca, F. Ferretti, A., Prati, C.; (2004), "Requirements for a space mission for DInSAR and PS analysis based on past and present missions", Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings. 2004 IEEE International Volume 3, 20-24 Sept. 2004 Page(s): 1695 - 1698 vol.3
- Inglada J., Henry C., Souyris J-C. (2004), "Assessment of ASAR/IMS Multi-polarization Images Phase Difference in the Framework of Persistent Scatterers Interferometry", ENVISAT congress, Salzburg (Austria).
- Van Zyl. P.J. (1989), "Unsupervised Classification of Scattering Behaviour using RADAR Polarimetry data", IEEE Transactions on GRS, pp 36-45.