

Rapporti tecnici

INGV

**Installazione e test di riflettori radar
per misure di deformazione superficiale
con tecniche DINSAR in banda X**

327



Direttore Responsabile

Stefano GRESTA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV - RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Antonio GUARNIERI (INGV-BO)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)



Rapporti tecnici INGV

INSTALLAZIONE E TEST DI RIFLETTORI RADAR PER MISURE DI DEFORMAZIONE SUPERFICIALE CON TECNICHE DINSAR IN BANDA X

Antonio Montuori, Christian Bignami, Sergio Falcone, Salvatore Stramondo,
Maria Fabrizia Buongiorno

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

327

Indice

1. Introduzione.....	7
2. Specifiche tecniche.....	7
3. Modalità d’installazione.....	9
4. Test area e siti dimostratori.....	11
4.1. Cosenza.....	11
4.2. Reggio Calabria.....	13
5. Risultati preliminari.....	14
6. Conclusioni.....	19
Ringraziamenti.....	19
Bibliografia.....	19

1. Introduzione

Il riflettore radar (anche noto con il termine inglese “Corner Reflector”, CR) è un manufatto metallico passivo (ovvero non alimentato da corrente elettrica) di semplice costruzione che, mediante un opportuno orientamento delle sue pareti, ha un’elevata capacità di riflettere le onde radar nella stessa direzione di provenienza (vedi Figura 1) [Marinkovic et al., 2007]. Grazie alle sue caratteristiche geometriche, il CR si comporta come un bersaglio radar artificiale, ben visibile all’interno di una immagine radar, caratterizzato da un elevato contributo di retrodiffusione (o backscattering) e da un’elevata stabilità temporale del segnale elettromagnetico retrodiffuso [Marinkovic et al., 2007]. Il loro utilizzo è di particolare importanza in molte applicazioni del telerilevamento ambientale, quali la calibrazione radiometrica, la georeferenziazione di misure SAR (Radar ad Apertura Sintetica), nonché la stima delle mappe di deformazioni del suolo mediante tecniche di Interferometria Differenziale SAR (DInSAR) [Hanssen, 2001]. Grazie alle dimensioni ridotte, alla facile installazione e alla loro bassa tecnologia di creazione e messa in opera, i CR rappresentano un valido strumento a supporto dell’interferometria SAR per la generazione di mappe di velocità e serie temporali di deformazione del suolo [Sarabandi et al., 1995; 1996].

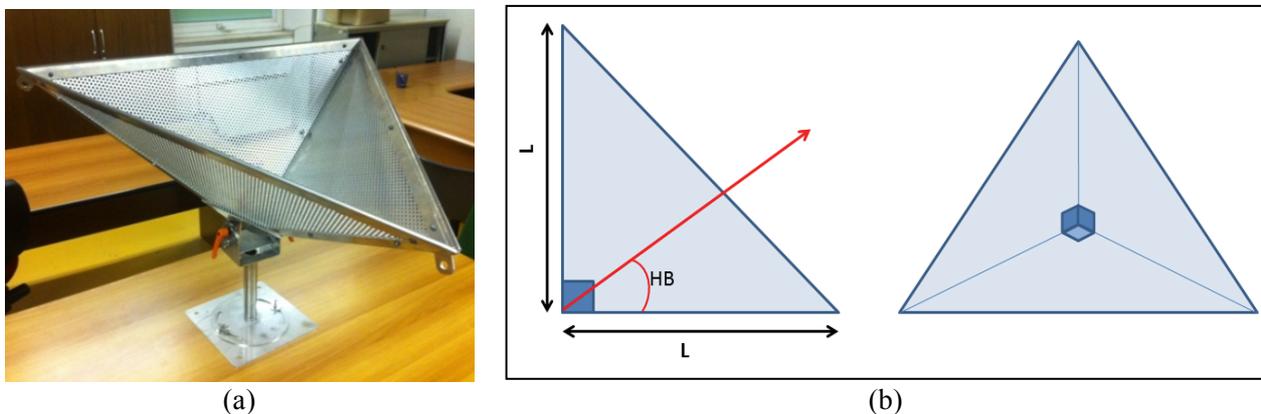


Figura 1. (a) Foto di un CR. (b) Vista laterale e frontale di un CR, con relative dimensioni.

Nel presente lavoro sono illustrate due modalità di installazione dei CR per supportare le misure satellitari SAR di deformazione superficiale di ambienti urbani e strutture murarie, localizzate in aree soggette a rischio sismo-idrogeologico. Alcuni risultati preliminari saranno di seguito illustrati per le aree urbane di Cosenza e Reggio Calabria al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- Testare le potenzialità dei CR a supporto di misure SAR in banda X;
- Fornire punti di riferimento stabili, coerenti e ad alta riflettività radar, per misure di deformazione DInSAR in ambienti urbani.

Il lavoro è stato organizzato come segue. Nella sezione 2 sono definite le specifiche tecniche dei CR utilizzati a supporto di un sistema satellitare SAR in banda X. Nella sezione 3 sono illustrate le modalità di installazione dei CR, per ambienti naturali ed antropici. Nella sezione 4 sono illustrate le aree urbane ed i siti di interesse identificati per la sperimentazione e l’installazione della rete di CR. Nella sezione 5 sono illustrati alcuni risultati preliminari relativi all’uso dei CR per misure DInSAR di deformazione superficiale in banda X. Infine, alcune considerazioni conclusive sono riportate in sezione 6.

2. Specifiche tecniche

I CR sono strutture metalliche tridimensionali, la cui realizzazione viene definita sulla base dei requisiti minimi di un sistema di telerilevamento satellitare SAR di riferimento. In base alla loro forma e dimensione, tali dispositivi permettono di ottenere bersagli radar artificiali con determinate sezione radar trasversali (RCS, Radar Cross Section), di valore tale da essere ben identificabili all’interno delle immagini

SAR [Sarabandi et al., 1995; 1996]. La RCS massima può essere calcolata in accordo alla seguente equazione:

$$\sigma_{max} = \frac{4\pi L^4}{3\lambda^2} \quad (1)$$

dove L è il lato del CR e λ è la lunghezza d'onda del segnale elettromagnetico adoperato. Un CR deve essere dimensionato in base alla RCS necessaria a fornire un segnale dominante rispetto agli oggetti circostanti. Maggiore è la sua dimensione, maggiore sarà la potenza retro-riflessa.

I CR utilizzati per questo lavoro sono strutture a forma di triedro, le cui dimensioni (60cm x 60cm x 60cm) sono state definite con specifico riferimento ai sensori SAR montati a bordo della Costellazione Italiana COSMO-SkyMed, che lavorano nello spettro di frequenze della banda X (9.6 GHz), (vedi Tabella 1 e Tabella 2). In particolare, la lunghezza del cateto di ciascun triangolo rettangolo che compone il CR (L) è pari a 0,6m, mentre l'angolo di massima riflessione del segnale radar rispetto alla faccia triangolare posta alla base del CR (definito Horizontal Boresight o HB) è pari a 35,26° (vedi Figura 1b e Tabella 2). Le tre facce triangolari che compongono il CR sono realizzate in alluminio forato, così da garantirne leggerezza e bassa resistenza al vento. Inoltre, le tre facce sono collegate tra loro mediante barre di alluminio a forma di L, con l'aggiunta di alcuni profili supplementari (sempre in alluminio) per rafforzarne la struttura ed ottenere così un equipaggiamento meccanico più stabile. I riflettori sono infine dotati di una base quadrata in alluminio (25cm x 25cm) ed un sistema di puntamento regolabile, grazie al quale è possibile modificare l'orientamento del CR sia in azimuth che in elevazione, in modo da essere facilmente orientati lungo la linea di vista (LOS) di qualsiasi sensore SAR e/o in qualsiasi modalità di acquisizione. Si noti che in funzione dell'orientamento in azimuth e dell'elevazione, la RCS si discosta dal suo valore massimo, come mostrato nel grafico di Figura 2. In particolare, considerando L=0,6m, si ottiene un valore massimo di RCS pari a 603m² (27,805dB), vedi Tabella 2.

Tabella 1. Specifiche Tecniche COSMO-SkyMed SAR.

Modalità di Acquisizione	StripMap HImage
Banda	Banda X – 9.6 Ghz
Lunghezza d'onda λ (cm)	3cm
Polarizzazione	VV
Angolo di incidenza θ (°)	20-60°
Angolo di azimuth ϕ (°)	14° Ovest
Risoluzione Spaziale (m)	3 m x 3 m
Copertura Spaziale (km)	40 km x 40 km
Orbita	Ascendente
Revisit-time (giorni)	4-5 giorni

Tabella 2. Specifiche Tecniche CR.

L (m)	0,6
Horizontal Boresight HB (°)	35,26
Elevazione di Puntamento E (°)	90°- θ - HB
Max RCS (m ²)	603
Max RCS (dB)	27,805

In Figura 2, viene illustrato l'andamento della RCS (in dB) fornita da un CR al variare dell'angolo di elevazione (E).

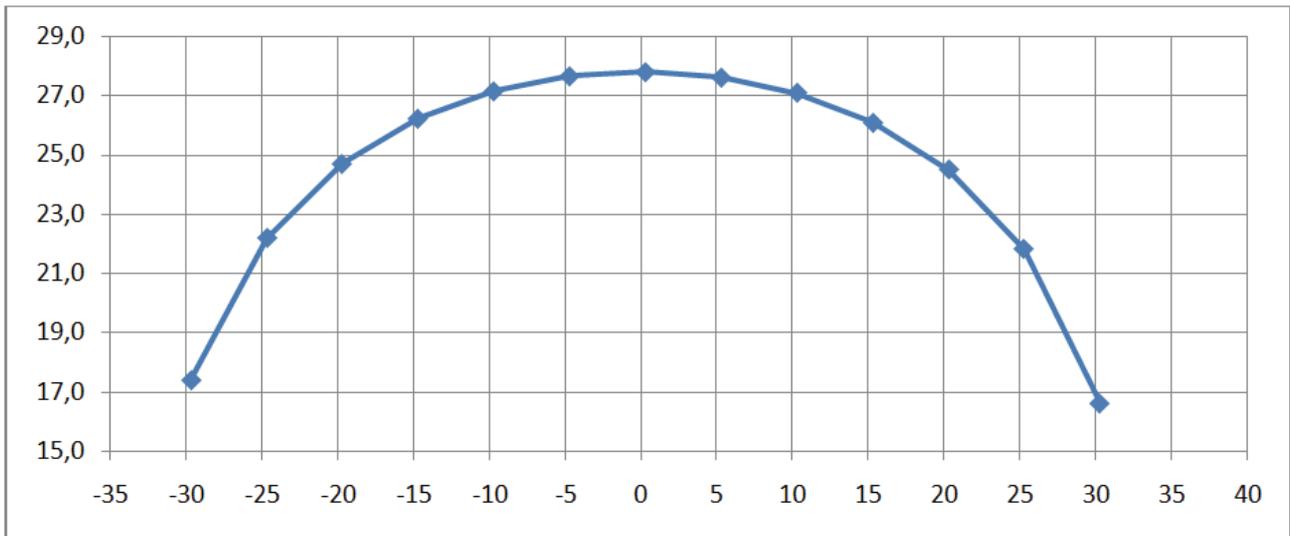


Figura 1. Andamento della RCS (in dB) ottenuta da un CR (asse verticale) al variare dell'angolo di elevazione rispetto all'angolo di massima riflessione (boresight) del CR. Una variazione del tutto analoga può essere osservata variando l'angolo di azimuth.

3. Modalità d'installazione

L'installazione dei CR può essere realizzata secondo diverse modalità, definite in funzione dell'area di monitoraggio, quali ambienti naturali ed antropici:

- Installazione Invasiva (per ambienti naturali/terreno in aree non urbane, (vedi Figura 3): (a) una buca viene scavata nel suolo con una profondità di circa 50-60 cm (larghezza di circa 50cm x 50cm); (b) quattro barre in acciaio filettate (con diametro di 10mm) sono fissate alla base del CR per avere quattro pilastri da inserire nella buca; (c) la buca viene riempita con cemento e sabbia si procede con il posizionamento finale della base del CR; (d) se il CR è di medio-grandi dimensioni ($L \geq 1m$), a valle dell'orientazione del CR, si procede al fissaggio al suolo dell'intera struttura mediante l'uso di tiranti.

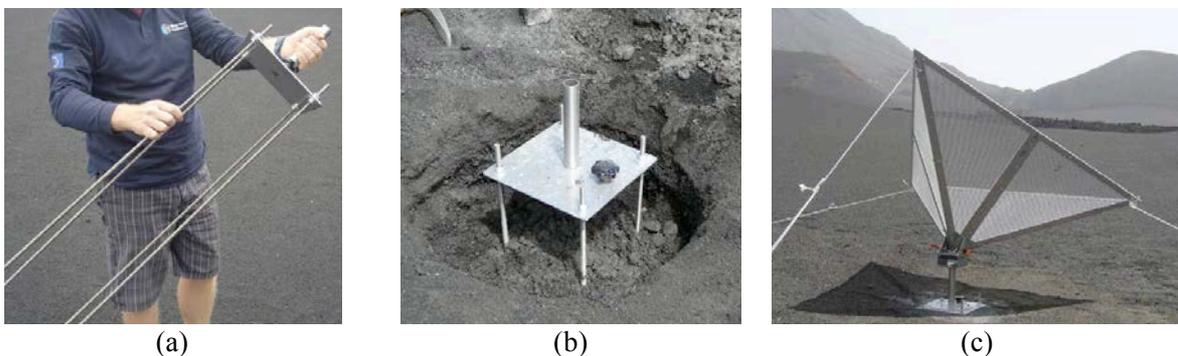


Figura 2. Installazione invasiva di un CR in ambiente non urbano [Bignami et al., 2013]. (a) Barre in acciaio per il fissaggio della base del CR. (b) Foro d'installazione della base del CR. (c) Fissaggio finale del CR mediante l'uso di tiranti.

- Installazione parzialmente invasiva (su strutture murarie, vedi Figura 4): (a) la base del CR viene fissata al suolo attraverso 4 bulloni con diametro di circa 10 mm e profondità di 95 mm; (b) i bulloni sono fissate al suolo attraverso l'uso di ancoranti chimici; (c) una volta bloccata la base, si orienta il CR e si procede al fissaggio dell'intera struttura mediante l'uso di 3 tiranti opportunamente fissati al suolo. Questa modalità di installazione garantisce la parziale invasività del CR sulla superficie di fissaggio (i fori possono essere nuovamente riempiti una volta rimossa la struttura del riflettore) e garantisce l'assenza di infiltrazioni nella struttura muraria.

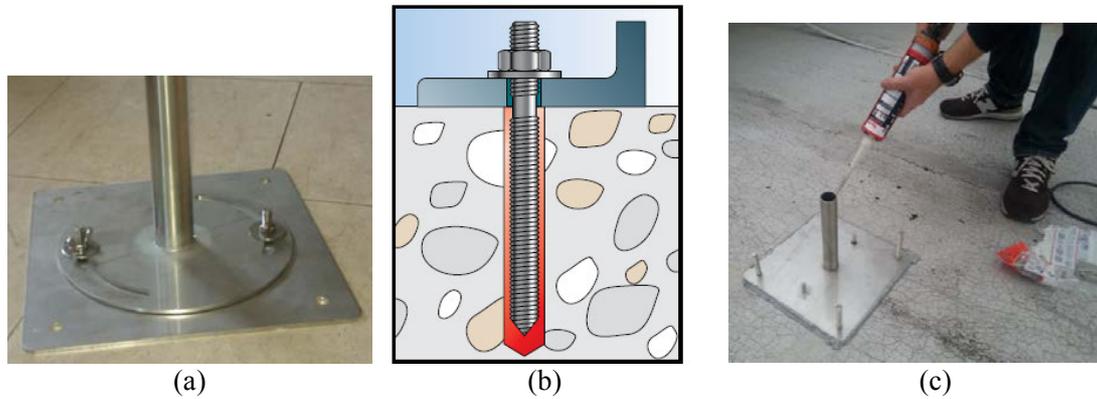


Figura 3. Installazione parzialmente invasiva di un CR in ambiente urbano e strutture murarie. (a) Base di un CR. (b) Bullone fissato al suolo con tasselli chimici. (c) Fissaggio della base del CR, mediante l'uso di barre filettate e ancorante chimico.

- Installazione non invasiva (per ambienti urbani e strutture murarie, vedi Figura 5): (a) la base del CR viene fissata ad un blocco di cemento removibile (di dimensioni e peso variabili in base al tipo di installazione richiesta e comunque fissato con del collante alla superficie di appoggio) attraverso 4 bulloni con diametro di circa 10 mm e profondità di 95 mm; (b) si orienta il CR e si procede al fissaggio al suolo dell'intera struttura mediante l'uso di 3 tiranti. Questa modalità di installazione garantisce la non invasività del CR sulla superficie di fissaggio, in quanto i blocchi di cemento possono essere rimossi a seguito della disinstallazione del CR.



Figura 4. Installazione non invasiva di un CR in ambiente urbano e strutture murarie. (a) Base di un CR. (b) Blocco di cemento su cui fissare la base del CR.

Per i siti selezionati in questo lavoro, sono state implementate le due modalità di installazione dei CR per ambienti urbani e strutture murarie, rispettivamente “Installazione parzialmente invasiva” ed “Installazione non invasiva”.

4. Test area e siti dimostratori

Per testare le potenzialità dei CR a supporto di misure satellitari DInSAR di deformazione superficiale, sono state selezionate due aree urbane di interesse soggette a rischio sismo-idrogeologico. Con riferimento al territorio Nazionale Italiano, la Regione Calabria occupa un ruolo di grande rilevanza sia da un punto di vista scientifico che applicativo. Infatti, da un lato va considerato l'elevato rischio sismo-idrogeologico di questa regione, come dimostrato dalla serie storica e dalla densità spaziale di terremoti registrati negli ultimi decenni [Chiarabba et al., 2005]. Dall'altro bisogna tener conto dell'elevata vulnerabilità del patrimonio urbanistico-ambientale, la cui importanza deriva da un insieme di valori (storici, architettonici, monumentali, socio-ambientali) strettamente connessi al problema della sicurezza e dell'ordine pubblico. In virtù di queste considerazioni, la Calabria si è dimostrata essere un interessante caso di studio per la stima delle deformazioni con tecniche interferometriche da misure satellitari e conseguentemente un sito favorevole per la sperimentazione di una rete di CR. In questo contesto territoriale, sono state selezionate due aree urbane di interesse, rispettivamente Cosenza e Reggio Calabria, al fine di valutare la metodologia di indagine non invasiva proposta in questo lavoro.

Per ciascuna area urbana di interesse, è stata effettuata una ricerca dei siti di installazione mediante l'analisi di immagini ottiche e SAR ad alta risoluzione spaziale, nonché la verifica in loco dei siti identificati. In dettaglio, sono state analizzate alcune immagini SAR COSMO-SkyMed acquisite, in modalità StripMap HImage, considerando punti di installazione ricadenti all'interno di un'area di copertura di circa 40km x 40km, in conformità alle specifiche tecniche del dato SAR di riferimento (vedi Tabella 1). Per ciascun delle aree identificate, sono stati presi in considerazione siti in prossimità di stazioni GPS, al fine di avere un'informazione di posizione dettagliata dei CR e punti di aggancio delle mappe di deformazione. Infine, per ciascuno dei siti di interesse, sono state individuate le posizioni ottimali di installazione dei CR, ovvero posizioni lontane da:

- Spigoli e pareti, per evitare fenomeni di “shadowing” e “layover” tipici delle immagini SAR;
- Superfici altamente riflettenti, per garantire l'esatta localizzazione e visualizzazione dei CR nelle immagini SAR.

4.1. Cosenza

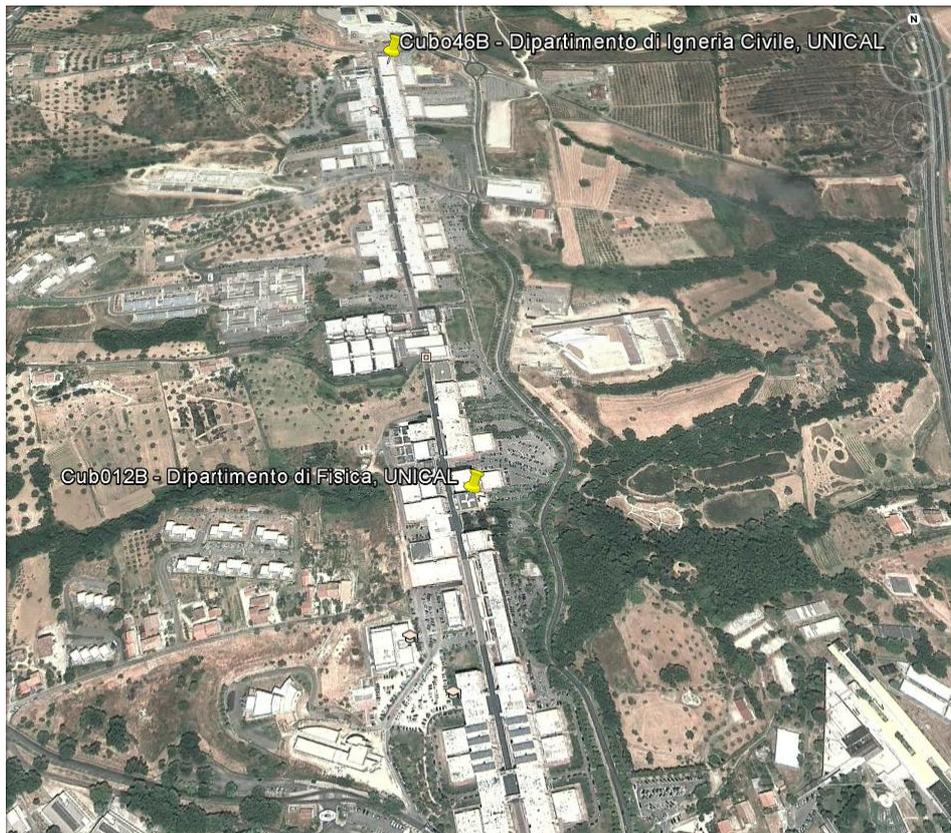
Per quanto riguarda l'area urbana di Cosenza, sono stati individuati due siti di interesse per l'installazione di due CR, rispettivamente gli edifici denominati Cubo 12B e Cubo 46B dell'Università della Calabria (UniCal), rispettivamente (vedi Figura 6 a, b, c). Sul tetto del Cubo 46B è inoltre presente una stazione GPS.

La modalità di installazione dei CR in corrispondenza dei siti selezionati è stata realizzata in maniera “parzialmente invasiva”, secondo quanto indicato nella sezione precedente (vedi Figura 4). Tale modalità è stata concordata con i responsabili dell'Area Risorse Mobiliari ed Immobiliari (ARMI) dell'UniCal, al fine di non arrecare danno ai siti selezionati.

La campagna di installazione dei due CR sui tetti dei Cubi 12B e 46B dell'UniCal è iniziata il 15 ed il 17 Aprile 2014, rispettivamente. Di seguito, si riportano le modalità di messa in opera dei due CR (vedi Figura 6 d, e):

- Il CR è stato orientato mediante l'uso di una bussola magnetica in direzione perpendicolare alla linea di vista (o LOS) dei sensori SAR COSMO-SkyMed in orbita ascendente. In particolare l'angolo di orientamento del CR (pari a 17.4° Ovest rispetto al Nord magnetico) è stato definito prendendo in considerazione il percorso orbitale SAR rispetto al Nord geografico ($\sim 14^\circ$) ed il valore locale di declinazione magnetica ($DM \approx -3.4^\circ$) (vedi Tabella 3). Quest'ultimo consente di valutare quanto il Nord geografico si discosti localmente dal Nord magnetico terrestre;
- Il CR è stato inclinato secondo uno specifico angolo di Elevazione ($E=20.74^\circ$), mediante l'uso di una livella elettronica (con precisione di $+/-1^\circ$). Tale angolo è stato valutato rispetto al piano orizzontale e ottenuto come angolo complementare alla somma dell'angolo di incidenza SAR ($\theta=34^\circ$) e dell'angolo HB di massima RCS del CR ($HB=35.26^\circ$) (vedi Tabella 2 e Tabella 3).

Le operazioni d'installazione dei CR sui tetti dei Cubi 12B (vedi Figura 6 d) e 46B (vedi Figura 6 e) dell'UNICAL sono terminate con successo il 15 ed il 17 Aprile 2014, rispettivamente.



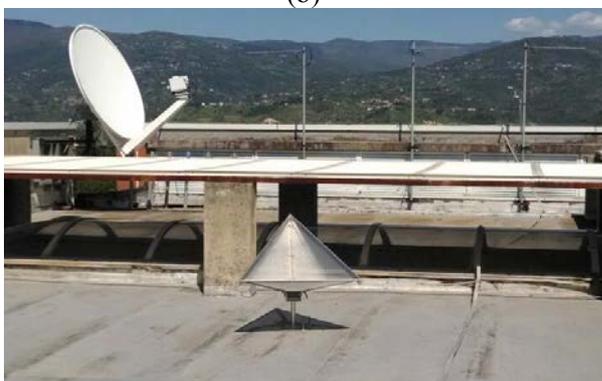
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5. Siti di installazione dei riflettori radar per il comune di Cosenza (immagine Google Earth©). (a) Sito dimostratore dell'Università della Calabria (UniCal). (b) Visuale del tetto relativo al Cubo 12B dell'UniCal. (c) Visuale del tetto relativo al Cubo 46B dell'UniCal. (d) Installazione del CR presso il Cubo 12B. (e) Installazione del CR presso il Cubo 46B.

Tabella 3. Parametri di installazione dei CR per il sito dimostratore di Cosenza.

ID	Città	Lat	Long	Data di installazione	E (°)	DM (°)	Θ (°)	HB (°)
CR_Cubo12B	Cosenza	39°21'35" N	16°13'35" E	15/04/2014 20:30:00	20.74°	3.4°	34°	35.26°
CR_Cubo46B	Cosenza	39°22'N	16°13'32	17/04/2014 12:30:00	20.74°	3.4°	34°	35.26°

4.2. Reggio Calabria

Per quanto riguarda l'area urbana di Reggio Calabria, è stato individuato un sito potenziale per l'installazione di un CR, in corrispondenza del quale è disponibile una stazione GPS. Il sito di interesse è il tetto dell'Istituto Tecnico Statale per Geometri "A. Righi" (vedi Figura 7 a, b).

La modalità di installazione del CR in corrispondenza del sito selezionato è stata realizzata in maniera "non invasiva", secondo quanto indicato nella sezione precedente (vedi Figura 5). Tale modalità è stata opportunamente concordata con i responsabili dell'Istituto Tecnico A. Righi, al fine di non arrecare danno al sito selezionato.

La campagna di installazione del CR è iniziata il 16Aprile 2014. Di seguito si riportano le principali fasi di montaggio del CR (vedi Figura 7 c):

- Il CR è stato orientato mediante l'uso di una bussola magnetica in direzione perpendicolare alla LOS dei sensori SAR COSMO-SkyMed in orbita ascendente. In particolare l'angolo di orientamento del CR è pari a 17.4° Ovest rispetto al Nord magnetico (vedi Tabella 4);
- Il CR è stato inclinato secondo uno specifico angolo di elevazione, mediante l'uso di una livella elettronica. Tale angolo (pari a 25.44°) è stato valutato rispetto al piano orizzontale e ottenuto come angolo complementare alla somma dell'angolo di incidenza SAR ($\theta=29.3^\circ$) e dell'angolo HB di massima RCS del CR (35.26°) (vedi Tabella 2 e Tabella 4).

Le operazioni d'installazione sono terminate con successo il 16 Aprile 2014 (vedi Figura 7 c).



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Sito di interesse per l'installazione di un CR presso il comune di Reggio Calabria, l'Istituto Tecnico Statale per Geometri "A. Righi". (a) Vista dall'alto del tetto dell'Istituto Tecnico. (b) Panoramica del tetto dell'Istituto, dove è posizionata una stazione GPS. (c) Installazione del CR presso il tetto del sito selezionato.

Tabella 4. Parametri di installazione del CR per il sito dimostratore di Reggio Calabria.

ID	Città	Lat	Long	Data	E (°)	DM (°)	Θ (°)	HB (°)
CR_Righi	Reggio Calabria	38°6'29''N	15°39'3.3''E	16/04/2014 13:30:00	25.44°	3.4°	29.3°	35.26°

5. Risultati preliminari

In questa sezione, sono descritti ed analizzati alcuni risultati preliminari volti a :(i) valutare la corretta installazione dei CR per i siti dimostratori della Regione Calabria, (ii) verificare l'elevato contributo di retrodiffusione (o backscattering) di ciascun CR rispetto all'ambiente circostante e (iii) valutarne la corrispondente visibilità radar all'interno di una immagine SAR. A tal proposito, sono state selezionate ed opportunamente acquisite 6 misure SAR COSMO-SkyMed in banda X, 3 per ciascun sito dimostratore, rispettivamente 1 antecedente ed 2 successive all'installazione dei CR. In particolare, per quanto riguarda l'area urbana di Cosenza, le immagini SAR sono state acquisite il 2 Gennaio, il 29 Luglio ed il 30 Agosto 2014. Per quanto riguarda invece l'area urbana di Reggio Calabria, le immagini SAR sono state acquisite il 29 Dicembre 2013, il 6 ed il 22 Maggio 2014. Per entrambi i siti dimostratori, i dati sono stati acquisiti su orbita ascendente in formato "Single Look Complex" ed in modalità StripMap HImage, con una risoluzione spaziale di 3 m lungo le direzione di azimuth e range ed una copertura spaziale di circa 40 x 40km. I dati sono stati opportunamente elaborati in ambiente di calcolo ENVI-SARscape-IDL©, mediante la seguente procedura di calcolo:

- Coregistrazione: tale processo consente di sovrapporre perfettamente (a livello sub-pixel) due o più immagini SAR, aventi la stessa geometria di acquisizione, nella geometria "slant range";
- Correzione radiometrica: tale metodo consente di estrarre il contenuto informativo di ciascuna immagine SAR in termini di coefficiente di backscattering (BS);
- Geocodifica: tale procedura consente di proiettare ciascuna immagine SAR su un dato sistema di riferimento geografico, attribuendo a ciascun pixel dell'immagine due coordinate geografiche. In particolare, in questo lavoro, la georeferenziazione dei dati SAR è stata realizzata attraverso l'ausilio del modello digitale di elevazione (DEM) fornito dalla missione Shuttle Radar

Topographic Mission (SRTM, [Farr et al., 2007]), opportunamente ricampionato alla risoluzione spaziale del dato SAR.

Di seguito si presentano separatamente i risultati significativi ottenuti per i siti dimostratori delle città di Cosenza e Reggio Calabria: l'UniCal e l'Istituto Tecnico Superiore A. Righi.

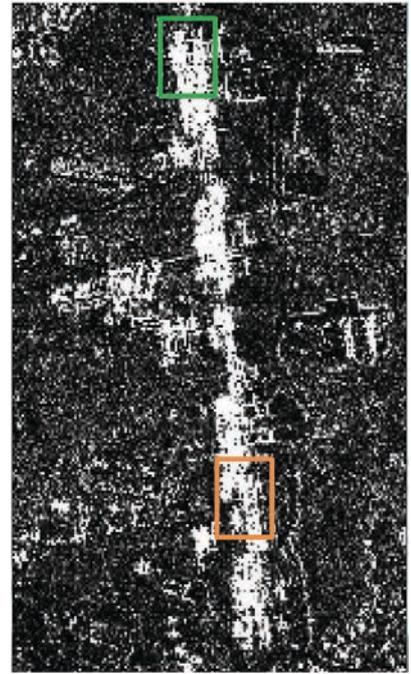
In Figura 8 a viene illustrata, in toni di grigio, l'immagine di backscattering (BS) SAR (espresso in valori lineari) associata all'area Nord-Ovest della città di Cosenza dove si colloca l'UniCal (vedi rettangolo rosso). Un ingrandimento del sito dimostratore è mostrato in Figura 8 b con l'identificazione dei Cubi 12B (rettangolo arancione) e 46B (rettangolo verde), dove sono stati installati i CR. In Figura 8 c, d sono illustrate le aree in cui si collocano i Cubi 12B e 46B dell'UniCal, rispettivamente, identificate all'interno delle acquisizioni SAR "pre" (pannello di sinistra) e "post" (pannello centrale e di destra) installazione. Il rettangolo rosso visualizzato nelle immagini di Figura 8 c, d permette di evidenziare il punto di installazione dei dispositivi metallici.

Da una prima analisi qualitativa delle immagini illustrate in Figura 8 a, b, è difficile individuare l'esatta posizione dei CR, non solo a causa degli effetti di distorsione legati alla geometria di acquisizione SAR, ma anche a causa dell'elevata eterogeneità degli elementi retrodiffusori e dei corrispondenti valori di BS per l'area osservata. Attraverso un'analisi dettagliata spazio-temporale ed un adeguato stretching delle immagini di BS, è possibile individuare ed enfatizzare l'esatta posizione dei dispositivi metallici sui tetti dei Cubi 12B e 46B dell'UniCal (vedi rettangolo rosso nelle immagini di Figura 8 c, d). Ciò risulta evidente osservando, per i suddetti punti misura, l'elevata variabilità del contributo di BS nelle immagini SAR "pre" e "post" installazione, mettendo così in evidenza il basso ed elevato valore di BS in assenza e in presenza dei CR, rispettivamente. Inoltre, analizzando le acquisizioni SAR "post" installazione (pannello centrale e pannello di destra in Figura 8 c,d), la presenza dei CR è ancor più evidente osservando la stabilità del valore di BS misurato nelle due acquisizioni SAR.

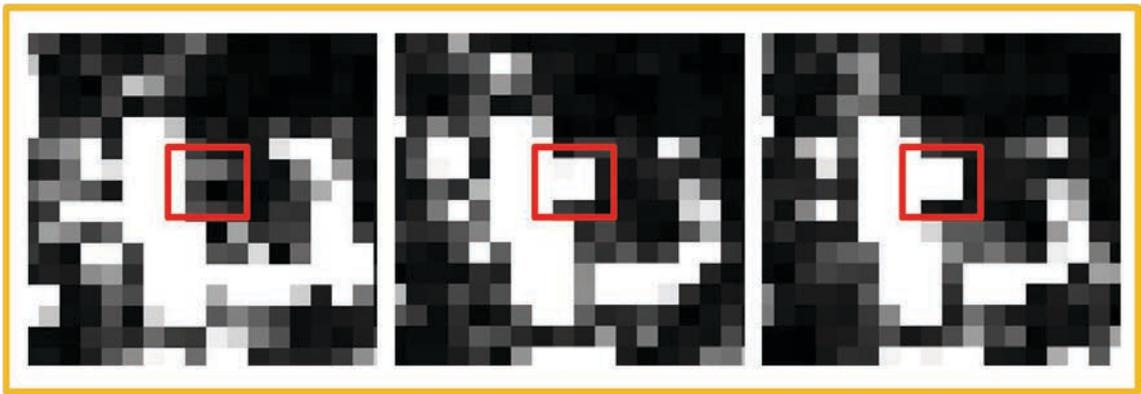
Tali risultati sono confermati da un'analisi di dettaglio, volta ad enfatizzare l'elevato contributo di retrodiffusione di ciascun CR. A tal proposito, sono stati estratti alcuni profili di BS lungo due transetti arbitrari passanti per i punti di installazione dei CR sui Cubi 12B e 46B dell'UniCal (vedi Figura 8 e, f, g, h, e Tabella 5). Analizzando il comportamento del BS nei dati SAR "pre" e "post" installazione, si possono osservare valori trascurabili di BS in corrispondenza dei punti misura adiacenti ai CR. Fanno eccezione solo alcuni scatteratori superficiali caratterizzati da uno stabile ed elevato contributo di BS nelle tre acquisizioni SAR (si confrontino i valori della curva in blu con quelli associati alle curve in rosso e verde in Figura 8 e, f, g, h). Inoltre, i risultati evidenziano l'elevato contrasto dei valori di BS misurati in corrispondenza dei CR (~20 ovvero ~15dB) (si veda l'area circolare in nero all'interno delle immagini di Figura 8 e, f, g, h). Per quanto riguarda il Cubo 12B, il valore del BS valutato in corrispondenza del CR è pari a 1.14, 24.79 e 30.53, rispettivamente prima e dopo la procedura di installazione. Analogamente, per quanto riguarda il Cubo 46B (Figura 8 g, h), il valore del BS in corrispondenza del CR è pari a 0.03, 13.94 e 20.24, rispettivamente prima e dopo l'installazione (vedi Tabella 5). I risultati dimostrano che la corretta installazione dei due CR, evidenziando visivamente e quantitativamente l'elevato contributo del BS ad essi associato, nonostante la complessità della geometria di acquisizione SAR e dello scenario osservato.



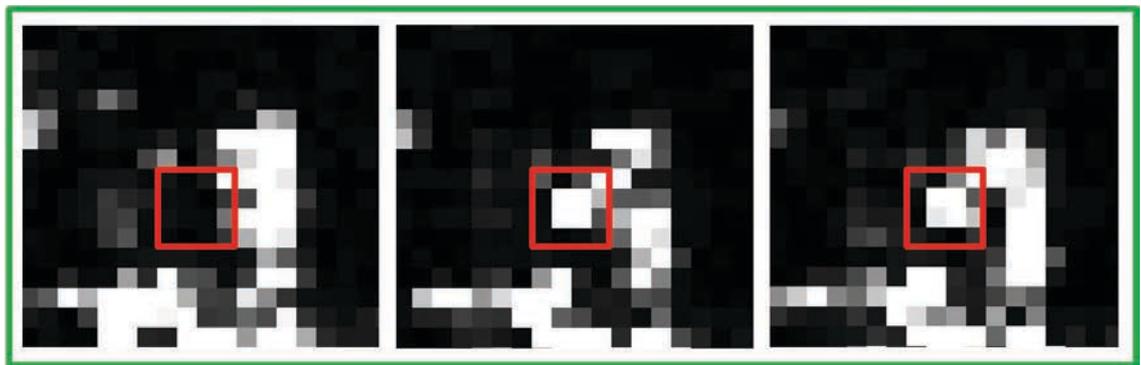
(a)



(b)



(c)



(d)

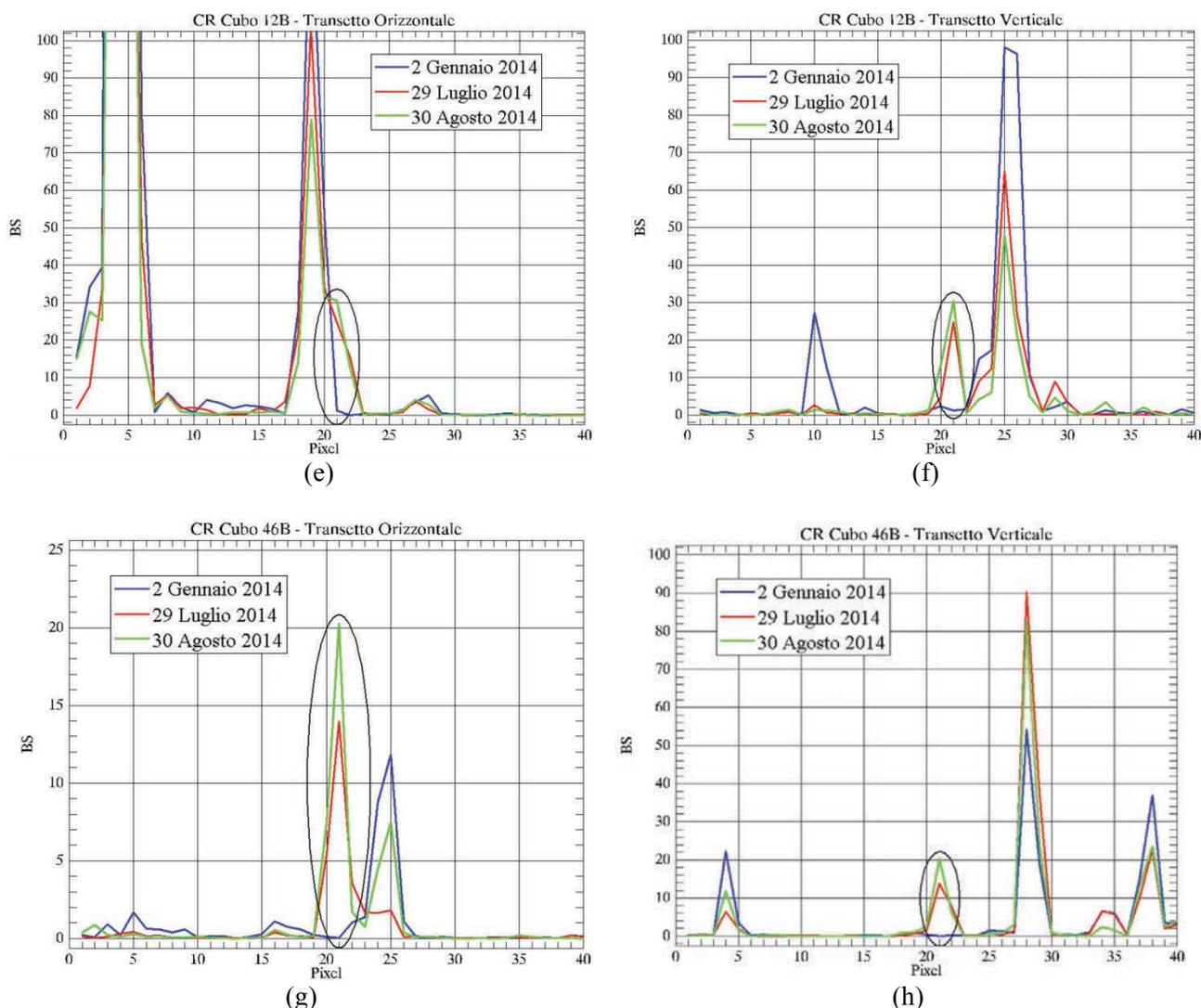


Figura 7. Risultati sperimentali ottenuti in termini di BS (espresso in valori lineari) per il sito dimostratore di Cosenza. (a) Area Nord-Ovest della città di Cosenza dove è collocato il sito dimostratore “UniCal” (rettangolo rosso). (b) Sito dimostratore dell’UniCal con l’identificazione dei Cubi 12B (rettangolo arancione) e 46B (rettangolo verde). (c-d) Aree in cui si collocano i Cubi 12B e 46B dell’UniCal, rispettivamente, identificate all’interno delle acquisizioni SAR “pre” (pannello di sinistra) e “post” (pannello centrale e di destra) installazione. (e-f-g-h) Profilo del BS valutato, per le acquisizioni SAR “pre” e “post” installazione, lungo due transetti (orizzontale e verticale) passante per i punti di installazione dei CR sui Cubi 12B (e-f) e 46B (g-h) dell’UniCal, rispettivamente.

In Figura 9 a viene illustrata, in toni di grigio, l’immagine di BS (in valori lineari) associata all’area costiera della città di Reggio Calabria dove è collocato il sito dimostratore “Istituto Tecnico Superiore A. Righi” (vedi rettangolo rosso). In Figura 9 b è mostrato un ingrandimento dell’area di interesse, opportunamente identificato all’interno delle immagini SAR “pre” (pannello di sinistra) e “post” installazione (pannello centrale e di destra). Il rettangolo giallo visualizzato in Figura 9 b permette di individuare ed evidenziare il punto esatto di installazione del dispositivi metallico.

I risultati sperimentali ottenuti per il sito dimostratore di Reggio Calabria sono in accordo con quelli ottenuti per la città di Cosenza. Da un punto di vista qualitativo, la visibilità del CR risulta possibile mediante un’analisi di dettaglio spazio-temporale ed un opportuno stretching delle immagini del BS (vedi Figura 9 b). Ciò risulta ancora più evidente dall’analisi quantitativa dei profili di BS valutati lungo due transetti arbitrari passanti per il punto di installazione del CR (vedi Figura 9 c, d e Tabella 5). Infatti, tale analisi mostra ancora una volta il valore trascurabile del BS nei punti misura adiacenti al CR, fatta eccezione per alcuni scatteratori

stabili e altamente riflettenti (si confrontino i valori della curva in blu con quelli associati alle curve in rosso e verde in Figura 9 c, d). Inoltre, si può osservare l'elevato contrasto dei valori del BS misurati in corrispondenza del CR (~ 20 ovvero ~ 15 - 20 dB), come evidenziato dall'area circolare in nero nei diagrammi di Figura 9 c, d. In particolare, il valore del BS valutato in corrispondenza del CR è pari a 0.28, 23.99 e 27.60, rispettivamente prima e dopo la procedura di installazione (vedi Tabella 5). Ancora una volta, i risultati sperimentali dimostrano l'ottima riuscita dell'installazione del CR.

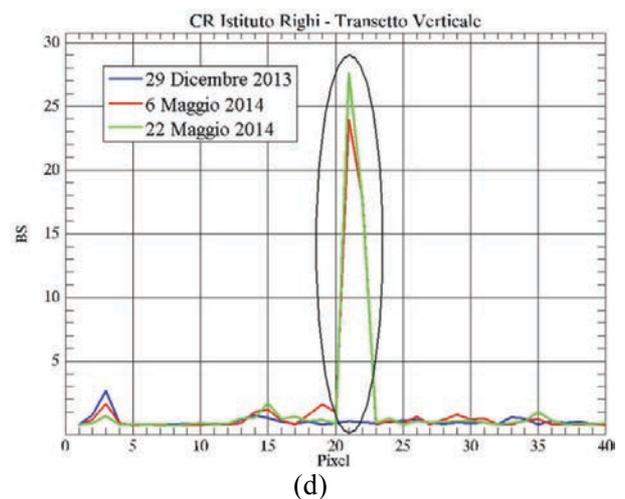
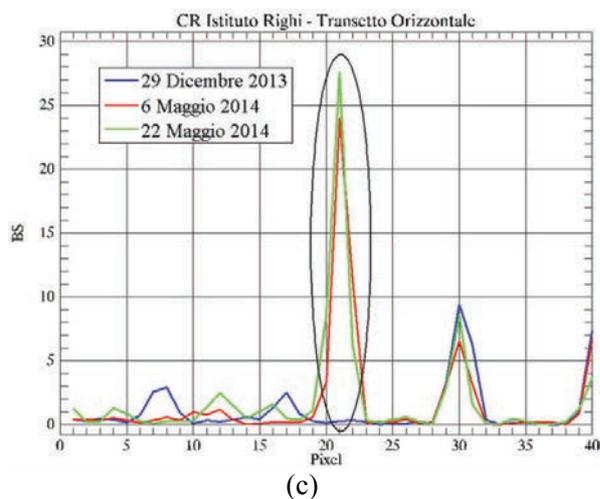
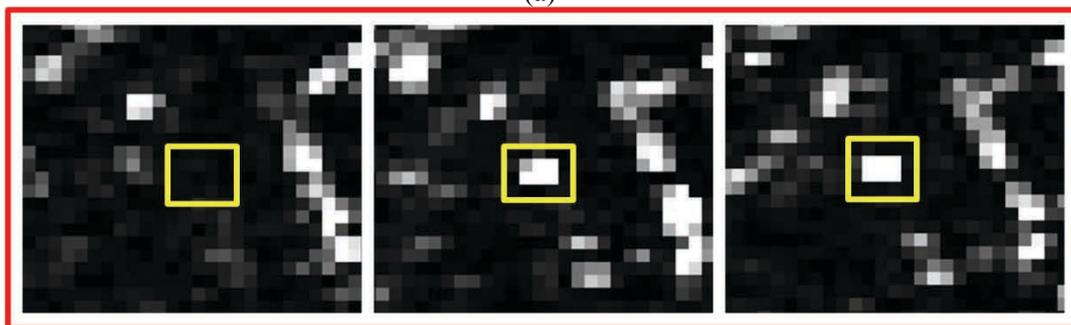
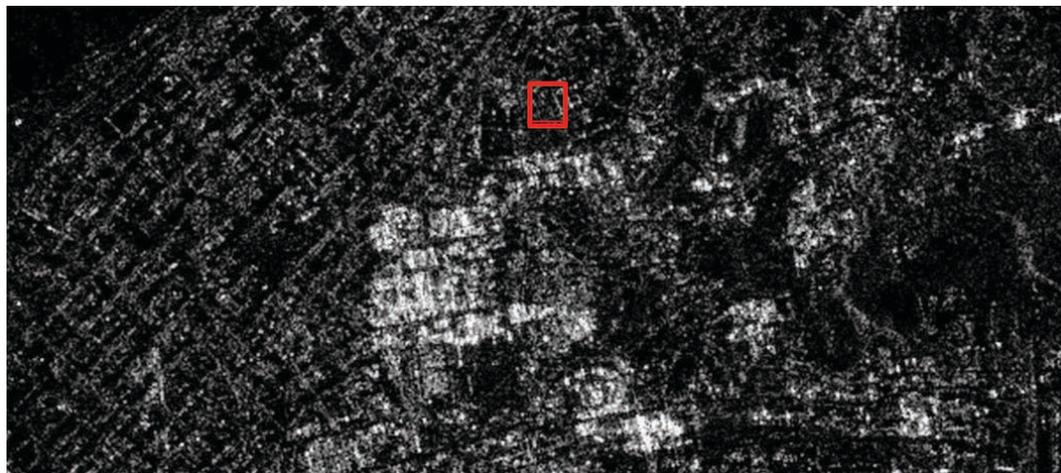


Figura 8. Risultati sperimentali ottenuti in termini di BS (espresso in valori lineari) per la città di Reggio Calabria. (a) Area costiera della città di Reggio Calabria dove è collocato il sito dimostratore “Istituto Tecnico A. Righi” (rettangolo rosso). (b) Area in cui si colloca il sito dimostratore, rispettivamente identificato all’interno delle acquisizioni SAR “pre” (pannello di sinistra) e “post” (pannello centrale e di destra) installazione. (c-d) Profilo del BS valutato, per le acquisizioni SAR “pre” e “post” installazione, lungo due transetti (orizzontale e verticale) passanti per i punti di installazione del CR.

Tabella 5. RCS (in dB) valutata per i CR installati presso Cosenza e Reggio Calabria.

Sito	RCS pre-installazione	RCS post-installazione	RCS post-installazione
Cubo 12B UniCal	1.14	24.79	30.53
Cubo 46B UniCal	0.03	13.94	20.24
Istituto Tecnico A. Righi	0.28	23.99	27.60

6. Conclusioni

In questo lavoro, sono state presentate due nuove modalità di installazione “parzialmente invasiva” e “non invasiva” dei riflettori radar per ambienti urbani e strutture murarie, al fine di supportare misure satellitari SAR di deformazione superficiale in aree urbane soggette a rischio sismo-idrogeologico. I siti di interesse, scelti come dimostratori dell’attività tecnico-scientifica qui illustrata, sono l’Università della Calabria (UniCal) per l’area urbana di Cosenza e l’Istituto Tecnico Superiore Augusto Righi per l’area urbana di Reggio Calabria. L’efficacia delle due modalità di installazione dei CR è stata valutata e dimostrata mediante l’ausilio di misure SAR COSMO-SkyMed in banda X, acquisite per i siti di interesse precedentemente e successivamente all’installazione dei riflettori radar. I risultati sperimentali hanno dimostrato la potenzialità dell’approccio proposto in un complesso ambiente urbanistico, mettendo in evidenza l’elevato contributo di retrodiffusione di ciascun CR, sia da un punto di vista spaziale che temporale.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è finanziato dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca (MIUR) nell’ambito del programma PON R&C 2007-2013 che finanzia al 100% il progetto PON “MASSIMO”- “Monitoraggio in Area Sismica di Sistemi Monumentali” (PON01_02710). Gli autori ringraziano l’Ing. Ferraro ed il Dott. Infusino dell’ufficio ARMI dell’UniCal, il Prof. Barberi ed il Prof. Guerra del Dipartimento di Fisica dell’UniCal, il Prof. Veltri ed il Prof. Artese del Dipartimento di Ingegneria Civile dell’UniCal, il Dott. Praticò ed il Prof. Guarnaccia dell’Istituto Tecnico Superiore Augusto Righi, il Dott. Fawzi Doumaz responsabile della sede INGV di Cosenza, per la disponibilità e l’assistenza fornita nel corso della sperimentazione scientifica qui illustrata.

Bibliografia

- Bignami C., Chini M., Faria B., Stramondo S. and Pace M., (2013). *Installation and data analysis of a small network of SAR corner reflectors in Fogo, Cape Verde*. Rapporti Tecnici INGV, 244.
- Chiarabba C., Jovane L., Di Stefano R., (2005). *A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings*. Tectonophysics, 395, pp. 251-268. doi:10.1016/j.tecto.2004.09.013.
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D., (2007). *The Shuttle Radar Topography Mission*. Reviews of Geophysics 45. doi:10.1029/2005RG000183.
- Hanssen R.F., (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation & Error Analysis*. Kluwer Acad. Publications, Dordrecht, Netherlands.
- Marinkovic P., Ketelaar G., van Leijen F., Hanssen R.F., (2007). *InSAR quality control: analysis of five years of corner reflector time series*. Proc. Of FRINGE 2007 Workshop, Frascati, Italy.
- Sarabandi K., Pierce L., Dobson M., Ulaby F., Stiles J., Chiu T., Deroo R., Hartikka R., Zambetti A. and Freeman A., (1995). *Polarimetric calibration of sir-c using point and distributed targets*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33, pp.858–866.
- Sarabandi K. and Chiu T.C., (1996). *Optimum corner reflectors for calibration of imaging radars*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 44 (10), pp.1348–1361. doi:10.1109/8.537329.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 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