



*i quaderni della ricerca*

# Telerilevamento tramite Synthetic Aperture Radar

ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E PREVISIONE AMBIENTALE

## Summary

---

1	Background.....	2
2	Interferometria SAR.....	2
2.1	Produzione di Mappe di ampiezza.....	3
2.1.1	Right Ascending.....	4
2.1.2	Right Descending.....	4
2.2	Change Detection Map.....	4
2.2.1	Analisi e interpretazione dei dati elaborati tramite change detection.....	5
2.2.2	Requisiti del software di change detection.....	7
2.3	La produzione dei modelli digitali del terreno by IDC.....	7
2.3.1	La mappa di qualità.....	9
3	Case study.....	9
3.1	Los Angeles California.....	9
3.2	L'Aquila.....	12
3.3	Esperienza Agenzia Spaziale Italiana (ASI).....	12
3.4	Esperienza Agenzia Spaziale Tedesca (DLR).....	13
4	Considerazioni finali.....	14

## 1 BACKGROUND

Le attività di ricerca sono state finalizzate all'individuazione del legame probabilistico-statistico tra particolari caratteristiche estrapolate da immagini telerilevate satellitari (SAR, multispettrali ad alta risoluzione) o acquisite da sensori aviotrasportati (operanti nel visibile o in banda termica), in eventuale combinazione con informazioni di tipo puntuale (risultati di analisi chimiche, misure di proprietà fisiche), e particolari situazioni di rischio ambientale (ad esempio non esaustivo, sversamenti inquinanti in acque superficiali o presenza di discariche abusive). Allo scopo, sono stati impiegati algoritmi numerici, molti dei quali riconducibili alle machine learning, con l'obiettivo di arrivare a una:

- classificazione, quanto più possibile automatica, dei dati telerilevati acquisiti in una stessa campagna di acquisizione, a partire da ground truth;
- valutazione, quanto più possibile automatica, del rischio ambientale su nuove scene, a partire da indagini precedentemente effettuate su verità ground truth.

Il software prodotto ha permesso la realizzazione di una piattaforma modulare e brevettata di nome IDC Platform<sup>1</sup> le cui peculiarità sono descritte nei successivi paragrafi.

## 2 INTERFEROMETRIA SAR

CSI, attraverso la sua piattaforma brevettata IDC Platform, sfrutta tutte le potenzialità del segnale complesso SAR per generare delle *mappe*. In particolare, produce le mappe di ampiezza per una clusterizzazione, in prima battuta, e quindi per una classificazione degli oggetti presenti sulla scena di osservazione. Di contro, utilizza le mappe di fase, per ricostruire l'andamento altimetrico della superficie terrestre.

Per le elaborazioni del segnale SAR, CSI ha definito un suo processo operativo, articolato nei seguenti passi procedurali, percorribili sia singolarmente, sia nella loro completa sequenzialità:

- produzione di mappe di ampiezza,
- rilevazione change detection,
- produzione del DEM (Digital Elevation Model),
- produzione del DEM differenziale.

Le elaborazioni sono da intendersi come output della **IDC Platform** di proprietà CSI Ricerca & Ambiente. L'utilizzo della piattaforma consente di effettuare svariate operazioni di elaborazione e di visualizzazione delle immagini SAR, tra cui:

- l'estrazione dei dati di posizionamento satellitare;
- la visualizzazione del dato a piena risoluzione;

<sup>1</sup> Riferimento brevetto:

Numero	Data	Short description	Long description
103280002	15/12/2012	IDC Platform	Procedimento per l'elaborazione di immagini telerilevate satellitari in particolare di dati SAR





Figura 2 - Immagine Pancromatica oggetto di sperimentazione



Figura 3 - Stessa scena di osservazione in ampiezza SAR

### 2.1.1 RIGHT ASCENDING

Le immagini hanno subito un'operazione di multilook pari a 2 in direzione range e 2 in direzione azimuth. Tale operazione è stata condotta con una doppia finalità: rendere il trasferimento dell'immagine agevole (inferiore a 150 Mb), e contemporaneamente utile (un buon livello di dettaglio) ad una sovrapposizione tramite software GIS.

Per quanto concerne il formato delle immagini, si è considerato il formato Geo-Tiff; mentre il software utilizzato per l'editing delle stesse, è stato il sw open-source Qgis<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.qgis.org/it/site/>

### 2.1.2 RIGHT DESCENDING

Nel caso delle immagini satellitari acquisite in modalità Right Descending, non è stato apportato alcun fattore di multilook né in direzione range, né in quella azimuth. Quindi le immagini sono risultate a piena risoluzione senza l'apporto di alcun tipo di filtro. Anche in questo caso, il formato considerato per le immagini è stato Geo-Tiff; mentre il software da utilizzato per l'editing delle medesime, è stato Qgis.

## 2.2 CHANGE DETECTION MAP

Il processo di elaborazione interferometrica può fornire informazioni relative ai cambiamenti di posizione tra diversi punti della scena di osservazione. Questi cambiamenti si possono verificare a causa di eventi improvvisi (ad esempio un terremoto), oppure di eventi naturali lenti (movimento dei ghiacciai o frane lente) o causati, anche parzialmente, dall'attività antropica (come nel caso dell'estrazione di fluidi dal sottosuolo, che genera fenomeni di subsidenza). In tali casi, si aggiunge all'espressione della fase interferometrica  $\Delta\varphi$  un termine aggiuntivo indipendente dalla baseline di acquisizione delle coppie interferometriche:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} d$$

dove:

$d$  = distanza percorsa a causa del movimento del diffusore, proiettata sulla linea di slant range. In questo modo, dopo lo spianamento interferometrico, la fase residua conterrà pochi fattori d'altitudine (residuo topografico) e molti fattori di moto (componenti di deformazione):

$$\Delta\phi = \frac{-4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_n q}{R \sin\theta} + \frac{4\pi}{\lambda} d$$

Quindi, se è disponibile un DEM con una sufficiente precisione, il contributo di topografia nota può essere eliminato quasi totalmente da  $\Delta\phi$ , dando modo di misurare i movimenti sul terreno nel cosiddetto interferogramma differenziale.

### 2.2.1 ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ELABORATI TRAMITE CHANGE DETECTION

Ai fini dell'analisi e interpretazione dei dati elaborati tramite change detection, ci si è focalizzati ad un lavoro di ricerca finalizzato alla produzione di algoritmi che potenzialmente permettessero di migliorare le attuali tecniche di indagine attraverso la fornitura di immagini in formato Geo-Tiff. Tale formato è infatti un formato di input in grado poi di essere elaborato dagli attuali strumenti di mercato più diffusi e in uso presso CSI. In altre parole, non ci si è preoccupati di sviluppare un software di trattamento e manipolazione di immagini, ma un software di ricerca in grado di produrre immagini a valore aggiunto che successivamente possono essere processate ed elaborare anche da tool specificamente dedicati e già presenti in mercato. Questa impostazione ha permesso lo sviluppo di alcuni moduli software, come meglio dettagliato nel proseguo, che è possibile richiamare tramite un'interfaccia utente essenziale, ma funzionale allo scopo. Tutte le immagini prese in considerazione durante la sperimentazione, perfettamente sovrapponibili, sono di natura satellitare e sono immagini di ampiezza aventi dimensioni 7250 x 4500 pixel, con un fattore di multilook pari a 4, sia in azimuth che in range.

Le elaborazioni sono state effettuate scomponendo l'immagine originale in matrici 1000x1000 pixel. Ognuna di queste matrici è

stata presa singolarmente in input per effettuare le elaborazioni necessarie alla produzione di immagini a valore aggiunto in formato Geo-Tiff. Inoltre, per ottenere il risultato finale si è proceduto ad una ricomposizione dell'immagine totale a partire dalla segmentazione effettuata.

L'idea di base della ricerca condotta è stata quella di applicare alla serie storica oggetto di analisi il concetto matematico di derivata prima come espressione di variazione nel tempo dei valori dei pixel della matrice numerica generata dalle immagini di input.

Dato questo assunto, il processo di change detection map si è sostanziato nel caricamento in ambiente MatLab di matrici numeriche pari alle dimensioni delle immagini. Ogni valore della matrice corrisponde alla misura dell'intensità (ovvero dell'ampiezza) del pixel preso in considerazione.

Prendendo in considerazione ogni singolo pixel si è generato un vettore di nove elementi (perché nove sono le immagini di riferimento) che rappresentano l'evoluzione del pixel co-registrato nelle immagini prese in esame.

In seguito si è generata la curva d'interpolazione utilizzando la funzione che ne indica la variazione temporale. La funzione utilizzata è la INTERP1 di Matlab la cui sintassi è:

$$\text{interp1}(x, Y, \dots)$$

dove  $x$  è un vettore e  $Y$  è un insieme che ne rappresenta i molteplici valori e che realizza l'interpolazione spline cubica di Hermite. Come noto, in analisi numerica la Spline cubica di Hermite, è una funzione spline di 3° grado, dove ogni polinomio della spline è nella forma di Hermite. La forma di Hermite consiste di due punti di controllo e di due tangenti di controllo per ogni polinomio. Su una griglia-matrice composta dai punti  $x_k$ , per  $k=1, \dots, n$ ,

l'interpolazione è effettuata su ogni sottoinsieme  $(x_k, x_{k+1})$  alla volta. Il sottoinsieme  $(x_k, x_{k+1})$  è normalizzato all'intervallo  $(0,1)$  tramite la funzione:

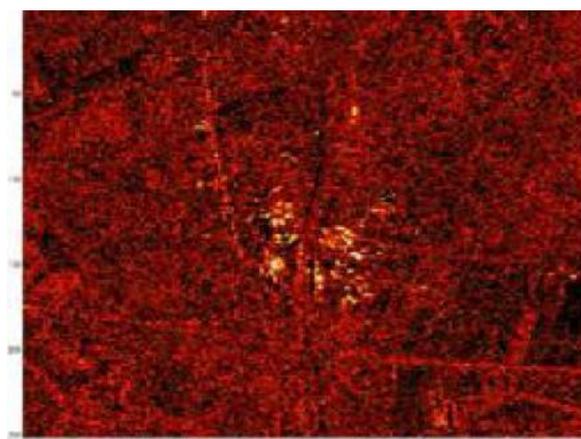
$$t = (x - x_k) / (x_{k+1} - x_k).$$

Come passo successivo si calcola la derivata prima nei punti di interesse, e se i valori sono risultati tutti positivi o nulli, si può parlare di curva monotona crescente, analogamente nel caso di valori tutti negativi o nulli, si parla di curva monotona decrescente.

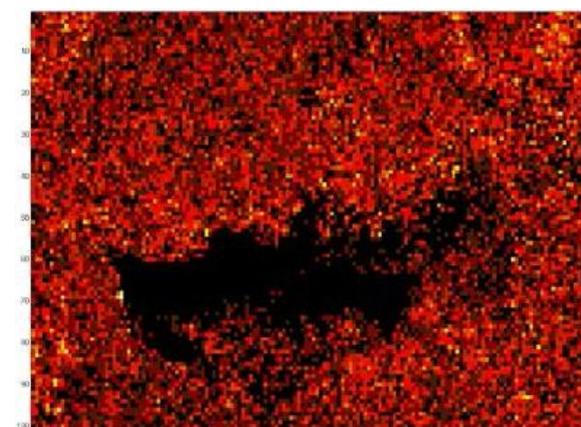
Questa caratteristica è stata utilizzata per escludere dall'elaborazione finale le variazioni temporali periodiche, dovute quindi a stagionalità, in cui si avranno andamenti tipicamente sinusoidali della curva d'interpolazione. A fine delle precedenti elaborazioni, si è generata una matrice contenente dei valori rappresentanti le variazioni avvenute punto per punto, inserendo la variazione globale per quei punti monotoni crescenti o decrescenti, mentre per tutti gli altri se ne è attenuato il valore considerando l'arcotangente della variazione globale.

Questo processo di analisi, condotto in contesti simili, si è dimostrato adeguato anche agli obiettivi della presente sperimentazione.

Visualizzando l'immagine così ottenuta si notano meglio le aree in cui si sono verificati dei cambiamenti significativi e persistenti (come mostrato nelle figure successive), identificate in aree scure per le variazioni negative (diminuzione di intensità) e chiare per le variazioni positive (aumento di intensità).



(a)



(b)

Figura 4 – Esempio di output per i casi di variazione positiva (a) e negativa (b).

Lo sfondo rosso è stato utilizzato per meglio evidenziare le zone in cui sono presenti cambiamenti significativi (che lavorano invece sulla scala bianco/nero).

Nel caso di variazione positiva (a) si ha un aumento della densità di edifici costruiti. Nel caso di variazione negativa (b) si evidenzia una macchia scura che indica un significativo disboscamento.

Tale immagine ottenuta viene poi salvata in un file, avente le stesse dimensioni di quelle iniziali.

Il processo sopra descritto, sviluppato su immagini di ampiezza, prevede l'astrazione dal

tipo di immagine, una volta che questa sia stata trasformata in una griglia-matrice di valori, per cui è generalizzabile anche a input costituito da immagini di coerenza, ovvero ad immagini di natura di fase e/o DEM.

### 2.2.2 REQUISITI DEL SOFTWARE DI CHANGE DETECTION

Ai fini del trattamento della change detection è stato sviluppato apposito software per il cui corretto funzionamento, è necessario fornire in input immagini geo-riferite che rappresentano la stessa scena. Questo presuppone che le immagini devono essere precedentemente già co-registrate.

Le immagini possono essere anche disomogenee, ovvero possono appartenere a diversa natura di informazione (ampiezza, coerenza, DEM).

Della stessa regione di osservazione, l'utente, in funzione delle necessità può effettuare tre diversi tipi di analisi:

- basata sulla **Media**. Questa opera sulla media dei valori dei pixel dell'immagini della stessa natura di informazione;
- basata sulla **Varianza**. Questa opera sul concetto di varianza dei pixel, ovvero sullo scostamento tra il valore misurato e il valore atteso al variare temporale del pixel oggetto di osservazione;
- basata sulla **Derivata**. Quest'analisi è finalizzata ad intercettare le differenze temporali tra le immagini oggetto di osservazione, eliminando tutte le variazioni ritenute cicliche. Rientrano tra le variazioni cicliche, ad esempio non esaustivo, il comportamento dei campi coltivati che prevedono le fasi di aratura, semina, sviluppo, raccolta e nuovamente

aratura. NON rientrano tra le variazioni cicliche quelle antropiche riconducibili a disboscamenti, alla costruzione di edifici, ecc.

Nei primi due casi il software restituisce in output delle matrici geo-referenziate in cui ogni pixel rappresenta rispettivamente il valore medio o la varianza dei pixel di input.

È possibile avere una scalatura dei valori tra 0 e 1 oppure dei valori senza scalatura in formato numero reale.

Il software, nel terzo caso della derivata con scalatura fornisce in output:

1. una mappa visiva geo-riferita a valori in  $[0,1]$  dove il valore 0 rappresenta una variazione negativa, che riferito alle mappe di ampiezza individua una variazione di intensità permanentemente decrescente (per esempio è il caso di un campo disboscato dove è presente un "abbassamento" permanente) e dove il valore 1 rappresenta una variazione di intensità permanentemente crescente (per esempio la presenza di un edificio);
2. una mappa geo-riferita e segmentata in funzione di set di soglie parametrizzabili tra il valore 0 e 255. La possibilità di stabilire delle soglie, per esempio da 0 a 100, tra 1001 e 2000, etc. consente la clusterizzazione degli oggetti presenti sulla scena di osservazione.

## 2.3 LA PRODUZIONE DEI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO BY IDC PLATFORM

Per la produzione dei DEM si è utilizzata la piattaforma IDC, che permette di effettuare attività di elaborazione complesse su di un set di dati SAR. Infatti, dopo le operazioni di *ingestion*

dei dati satellitari il software, questa effettua l'operazione di co-registrazione delle immagini master e slave. Dopo diverse operazioni di filtraggio-immagine, l'IDC è in grado di determinare i prodotti interferometrici classici (ampiezza, fase, coerenza e fase filtrata). A questo punto, utilizzando come input di uno specifico algoritmo adattivo artificiale, la fase interferometrica adeguatamente supervisionata, si è in grado di determinare due prodotti innovativi: la **mappa di qualità**, che relaziona la bontà della fase interferometrica utilizzata come input, ed il modello di elevazione del terreno **non affetto dal fenomeno di tilting** tipico della fase di srotolamento.

In dettaglio, per ogni area geografica oggetto di sperimentazione si è individuato il miglior modello altimetrico a disposizione (SRTM-90, SRTM-30, ASTER, Lidar, GPS-RTK, ecc.) e lo si è utilizzato come indice di orientamento della operazione di srotolamento. In particolare nell'area interessata dalla sperimentazione il miglior modello altimetrico a disposizione è risultato essere il DEM ASTER (risoluzione spaziale 30 metri). In merito alla mappa di qualità essa è il risultato di un'operazione di analisi pixel a pixel della fase interferometrica. Infatti, si verifica la coerenza di ogni singolo pixel rispetto ai limitrofi senza considerare gli eventuali salti di fase. Infine, sulla base della notevole esperienza condotta in contesti simili, in relazione al modello altimetrico che si ottiene, utilizzando la procedura IDC-Platform, esso non risulta affetto dal problema del tilting. I modelli altimetrici ottenuti attraverso l'uso della tecnica classica, sono compromessi dall'angolo di inclinazione e dalla visione laterale del satellite; quindi per ottenere un modello altimetrico realmente utilizzabile è necessario integrare diversi modelli ottenuti da diverse riprese laterali. Al contrario il DEM che si ottiene con l'IDC

Platform risulta praticamente assente da tali problematiche.

Il presupposto necessario per avere prodotti interferometrici significativi è che questi devono verificare determinate caratteristiche di coerenza e di qualità secondo gli standard della IDC Platform.

A titolo di esempio, una coppia di dati SAR avente una mappa di coerenza che abbia un indice di coerenza medio inferiore a 0,20, è da considerarsi non significativa ai fini di un modello altimetrico valido.

Il processore IDC è in grado di gestire due tipi di acquisizione delle immagini:

- single-pass in cui il satellite presenta due sensori ed acquisisce due immagini,
- multi-pass in cui il satellite presenta un solo sensore e quindi sono necessari ripetuti passaggi del satellite per ripetute acquisizioni di immagini RADAR della zona target.

Tipicamente i passi principali su cui lavora la IDC Platform sono:

- processore di co-registrazione delle immagini master e slave che devono essere combinate per la generazione dell'immagine interferometrica;
- processore di generazione di immagini interferometriche classiche che utilizzano tecniche note con la denominazione InSAR relativamente all'ampiezza, alla fase o mixed.
- processore di generazione di immagini interferometriche Differenziali con le metodologie denominate DInSAR relativamente a ampiezza, fase e mixed.
- processore di generazione di immagini interferometriche filtrate;

- processore per la determinazione fase interferometria un-wrapped (DEM);
- processore di generazione di immagini MTC (Multi Temporal with Coherence).

In particolare, per il processo di Phase unwrapping, che è un processo tipicamente non lineare, la IDC platform utilizza la metodologia basata sulle regioni competitive che consiste nella comparazione iterativa del valore del pixel con il suo intorno più vicino.

### 2.3.1 LA MAPPA DI QUALITÀ

Rappresenta un nuovo prodotto interferometrico che fornisce informazioni sulla difficoltà del processo di srotolamento. Attraverso l'applicazione della Mappa di Qualità alle immagini oggetto di sperimentazione è stato possibile:

- ottimizzare in maniera significativa i tempi di elaborazione (a titolo di esempio non esaustivo, per la produzione dello stesso DEM della frana di Corvara (BZ), in modalità standard Doris a modalità IDC Platform, si passa da 16 giorni a 6 ore);
- agire sul tipico fenomeno del rumore del DEM noto come “sale e pepe” per immaginare la più probabile continuità di comportamento altimetrico del terreno analizzato.

## 3 CASE STUDY

Tutti i casi di studio fanno riferimento ad uno schema di processo di elaborazione generale che si può sintetizzare attraverso la seguente semplificazione.

Per la fase di verifica, ove disponibili, si acquisiscono direttamente o si elaborano:

- DEM-SRTM\_30M, DEM. In generale è possibile l'acquisizione diretta dal sito web messo a disposizione dalla NASA<sup>4</sup>;
- DEM\_ASTER. Anche in questo caso, in generale è possibile l'acquisizione diretta del DEM dal sito web messo a disposizione dell'utenza dalla Jet Propulsion Laboratory<sup>5</sup>;
- DEM\_DORIS. DEM elaborato utilizzando la cosiddetta “tecnica classica”, basata sull'uso di tecnologia open source sviluppata dalla Stanford University<sup>6</sup>).

### 3.1 LOS ANGELES CALIFORNIA

La sperimentazione è consistita nella produzione di un DEM a partire da una coppia interferometrica della costellazione Cosmo-SkyMED (satelliti SAR2 e SAR3) in configurazione tandem-like di un giorno e baseline a 189 metri. La geometria di acquisizione utilizzata è stata discendente da destra con un angolo di osservazione pari a 33.6° rispetto alla perpendicolare.

<sup>4</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm>

<sup>5</sup> <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

<sup>6</sup> <http://www.stanford.edu/group/radar/softwareandlinks/sw/snaphu>

Characteristics	Unit	Value
Temporal baseline:	[m]:	1
Perpendicular baseline:	[m]:	153,2
Parallel baseline:	[m]:	112,3
Horizontal baseline:	[m]:	189,7
Vertical baseline:	[m]:	-8,7
Baseline:	[m]:	189,9
Baseline orientation:	[deg]:	-2,6
Look angle:	[deg]:	33,6
Incidence angle:	[deg]:	37,1
Angle between orbits:	[deg]:	0,00141141
Ambiguity height:	[m]:	-47,6

Sulla scia degli ottimi risultati ottenuti dalla IDC Platform in condizioni non ottimali di acquisizione delle immagini satellitari, in questo caso, l'obiettivo di sperimentazione è stato quello di potersi confrontare in uno scenario di configurazione ottimale di acquisizione.

I risultati ottenuti hanno permesso di verificare la robustezza del DEM CSI come mostrato nella seguente tabella:

DEM	Maxima (metri)	Minima (metri)	Mean (metri)	Standard Deviation (metri)	Indice di Correlazione	RMSE
Avv.	462,3623	28,8450	0			
SRTM 30	462,3623	28,8450	0			
CSI	189,7471	16,7419	-176,7707			
DORIS	215,8540	206,4538	2241,5250			
SRTM 30 -VS- DORIS				169,427	0,2747	438,0687
SRTM 30 -VS- CSI				28,8867	0,8246	33,1695

In particolare, in termini percentuali medi, il miglioramento del DEM CSI nei confronti di quello DORIS secondo la seguente tabella:

DEM	Standard Deviation (metri)	Indice di Correlazione	RMSE
SRTM 30 -VS- DORIS	169,427	0,2747	438,0687
SRTM 30 -VS- CSI	28,8867	0,8246	33,1695

Il miglioramento percentuale complessivo della qualità del DEM CSI nei confronti del DEM DORIS è stimabile in termini di:

- Accuratezza come un ordine di grandezza **33.2** contro **438**,
- Precisione come un ordine di grandezza di **29** metri circa a **168** metri,
- Correlazione come un ordine di grandezza **0,82** contro **0,27**

Di seguito si riportano il DEM SRTM (a 30 metri) preso a riferimento e i DEM CSI e DORIS:

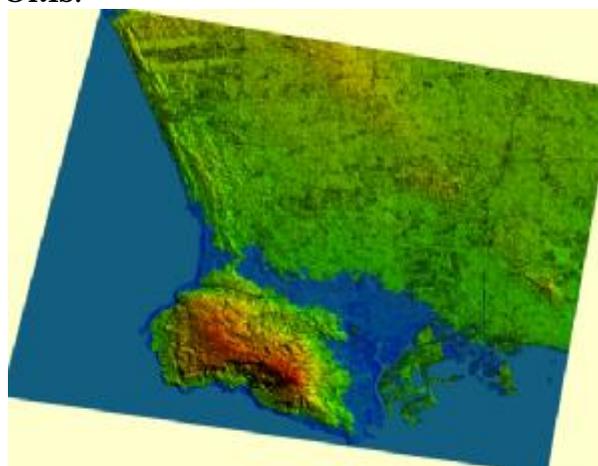


Figura 5 – DEM SRTM

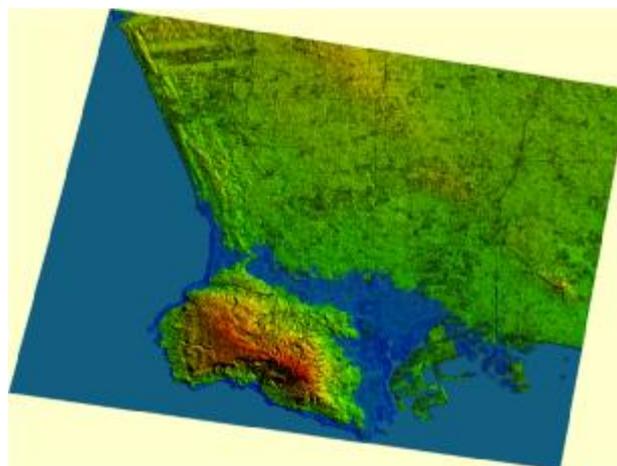


Figura 6 – DEM CSI

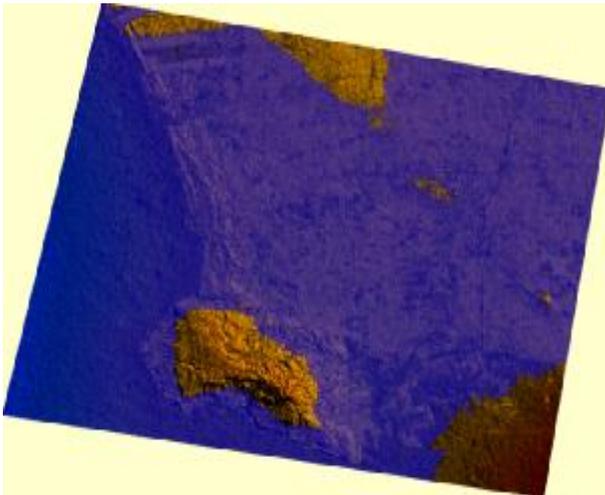


Figura 7 – DEM DORIS

Inoltre, CSI avendo avuto la possibilità di un'acquisizione ottica multispettrale ad altissima risoluzione della stessa scena di osservazione, ha implementato un'ulteriore fase di sperimentazione che si è sostanziata nella sovrapposizione dell'immagine multispettrale con il DEM CSI. La sperimentazione ha rilevato una estrema accuratezza del DEM prodotto anche nella determinazione di alcune zone che si trovano sotto il livello del mare (come ad esempio alcune zone adiacenti all'aeroporto che invece è a +38 metri).

Nel seguito alcune delle evidenze ottenute.

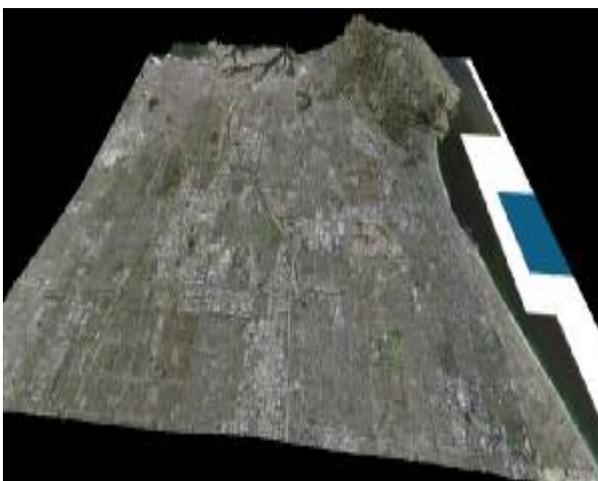


Figura 8 – Immagine multispettrale sovrapposta al DEM CSI



Figura 9 – Immagine multispettrale sovrapposta al DEM CSI – dettaglio aeroporto

In termini di tempistica per la produzione del DEM, il miglioramento che si ottiene rispetto alla stessa produzione Doris è dell'ordine del 50%.

### 3.2 L'AQUILA

In questo caso la sperimentazione ha riguardato la produzione di un DEM a partire da una coppia interferometrica della costellazione Cosmo-SkyMED (satelliti SAR2 e SAR3) in configurazione tandem-like di un giorno con le seguenti caratteristiche:

Characteristics	Unit	Value
Temporal baseline:	[m]:	1
Perpendicular baseline:	[m]:	362
Parallel baseline:	[m]:	150,5
Horizontal baseline:	[m]:	381,5
Vertical baseline:	[m]:	90,2
<b>Baseline:</b>	<b>[m]:</b>	<b>392,1</b>
Baseline orientation:	[deg]:	13,3
Look angle:	[deg]:	35,9
Incidence angle:	[deg]:	40,1
Angle between orbits:	[deg]:	0,00255308
Ambiguity height:	[m]:	22

Come si può osservare, in questo caso la baseline è non ottimale ai fini della produzione di un DEM di qualità. Analogamente ad altre sperimentazioni, ai fini della validazione, si è preso a riferimento un DEM molto preciso: quello Lidar. Il DEM ottenuto è riportato in figura:

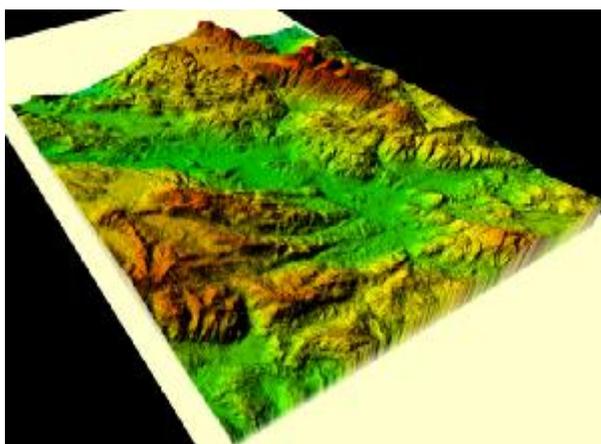


Figura 10 –DEM CSI città dell'Aquila

E i risultati conseguiti sono sintetizzati nella tabella successiva:

DEM-to-DEM	ACCURATEZZA Standard Deviation (metri)	PRECISIONE RMSE-2 (metri)	Correlazione	LC_90 (%)
SRTM -VS- DORIS	248,752	442,0002	0,5456	250,61
SRTM -VS- ASTER	51,5571	63,6518	0,9885	74,74
SRTM -VS- LIDAR	52,3881	64,0003	0,9884	25,18
SRTM -VS- CSI_SV_ASTER	53,0292	68,2172	0,9868	24,99
SRTM -VS- CSI_SV_LIDAR	52,1998	68,1313	0,9868	26,25

In termini percentuali medi, il miglioramento del DEM CSI vs quello DORIS è di oltre il 40%

### 3.3 ESPERIENZA AGENZIA SPAZIALE ITALIANA (ASI)

La sperimentazione ha riguardato la produzione e la successiva verifica e validazione (V&V) di oltre duecento scene di riferimento ad orografia estremamente variegata.

In questo caso, si sono confrontati i DEM prodotti da ASI in configurazione DORIS, con quelli prodotti da CSI attraverso la IDC Platform.

La fase di V&V dei DEM ottenuti da CSI sono stati oggetto di accurato esame da parte dell'Agenzia che non solo ha riconosciuto valida la nuova piattaforma, ma ha portato i risultati conseguiti alla conferenza della European Geosciences Union<sup>7</sup> (EGU) del 2013.

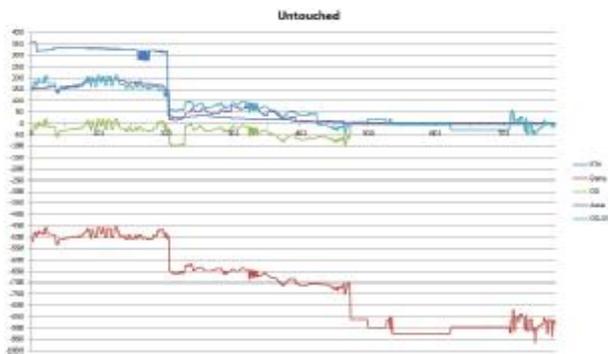
Particolarmente interessanti sono stati i risultati in termini di ottimizzazione dei tempi di elaborazione che sono stati presentati alla EGU Conference e dai quali si evince che tanto più si lavora in condizioni di criticità, presenza di mare o specchi d'acqua, nonché baseline di

<sup>7</sup> <http://www.egu.eu/>

acquisizione elevata, maggiore è la performance della IDC Platform di CSI:

COPPIA INTERFEROMETRICA	M TRG	Baseline [m]	MathBasis factor	TEMPO DI ELABORAZIONE (secondi)	
				DORIS	ANS-CSI
CS454_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120929044750_20120929044752.F8			8 x 8	839	49
CS461_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120928044756_20120928044752.F8	4	272.3	4 x 4	8.640	60
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120913171625_20120913171640.F8			4 x 4	625	45
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120913171625_20120913171640.F8	1	309.3	8 x 8	410	37
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120917171821_20120917171828.F8					
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120917171821_20120917171828.F8	4	56.3	8 x 8	15	22
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120921171629_20120921171636.F8					
CS462_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120913171623_20120913171640.F8					
CS461_SCS_U_HH_01_VV_RA_SF_20120921171629_20120921171636.F8	8	284.5	8 x 8	625	15

In alcuni casi, è stato possibile produrre un DEM basato su reti GNSS-NRTK. Questo DEM è stato preso a riferimento per tutte le operazioni di validazione. A titolo di esempio, si riporta nel seguito due situazioni presentate all'EGU Conference. La prima riguarda l'area di Craco-Metaponto, in provincia di Matera:



La seconda quella di Roma-Guidonia:



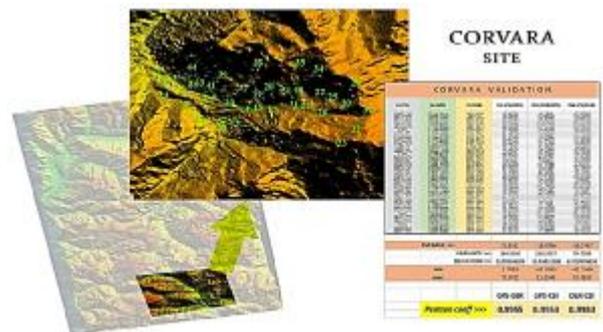
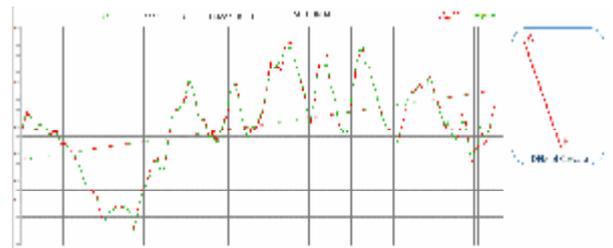
In entrambe i casi si può osservare come il DEM CSI sia quasi sovrapponibile a quello GNSS-RTK.

Altre attività di verifica sono state condotte attraverso l'applicazione di standard nazionali (DIGITPA) e internazionali (NASA) che individuano indicatori di qualità quali LE95, la correlazione di Pearson, etc.

### 3.4 ESPERIENZA AGENZIA SPAZIALE TEDESCA (DLR)

Lo scenario di collaborazione è consistito nella produzione dei DEM dell'area di Corvara (BZ) e di Monaco di Baviera. In questo caso, la sperimentazione si è concretizzata nell'effettuare un benchmark tra i DEM forniti dal DLR e quelli prodotti attraverso la IDC Platform. Va rilevato che la natura delle immagini SAR della costellazione tedesca TerraSAR-X / Tandem-X è profondamente diversa da quella della costellazione Cosmo-SkyMed di ASI, per cui l'obiettivo ha rappresentato un traguardo particolarmente sfidante.

Anche in questo caso i risultati sono stati particolarmente significativi, come riconosciuto anche dalla stessa DLR.



#### 4 CONSIDERAZIONI FINALI

CSI, convinta delle potenzialità del telerilevamento tramite SAR, continua ad approfondire ed aggiornare la sua piattaforma software.

In particolare, relativamente alla tematica change detection, sta lavorando sulla produzione di shapefile per meglio delineare i cambiamenti osservati in fase di analisi e da sovrapporre alle immagini di input. Di contro, relativamente alla tematica della produzione dei modelli digitali del terreno, sono in fase di studio dei processori idonei ad implementare metodi e tecniche automatiche di Verifica e Validazione.