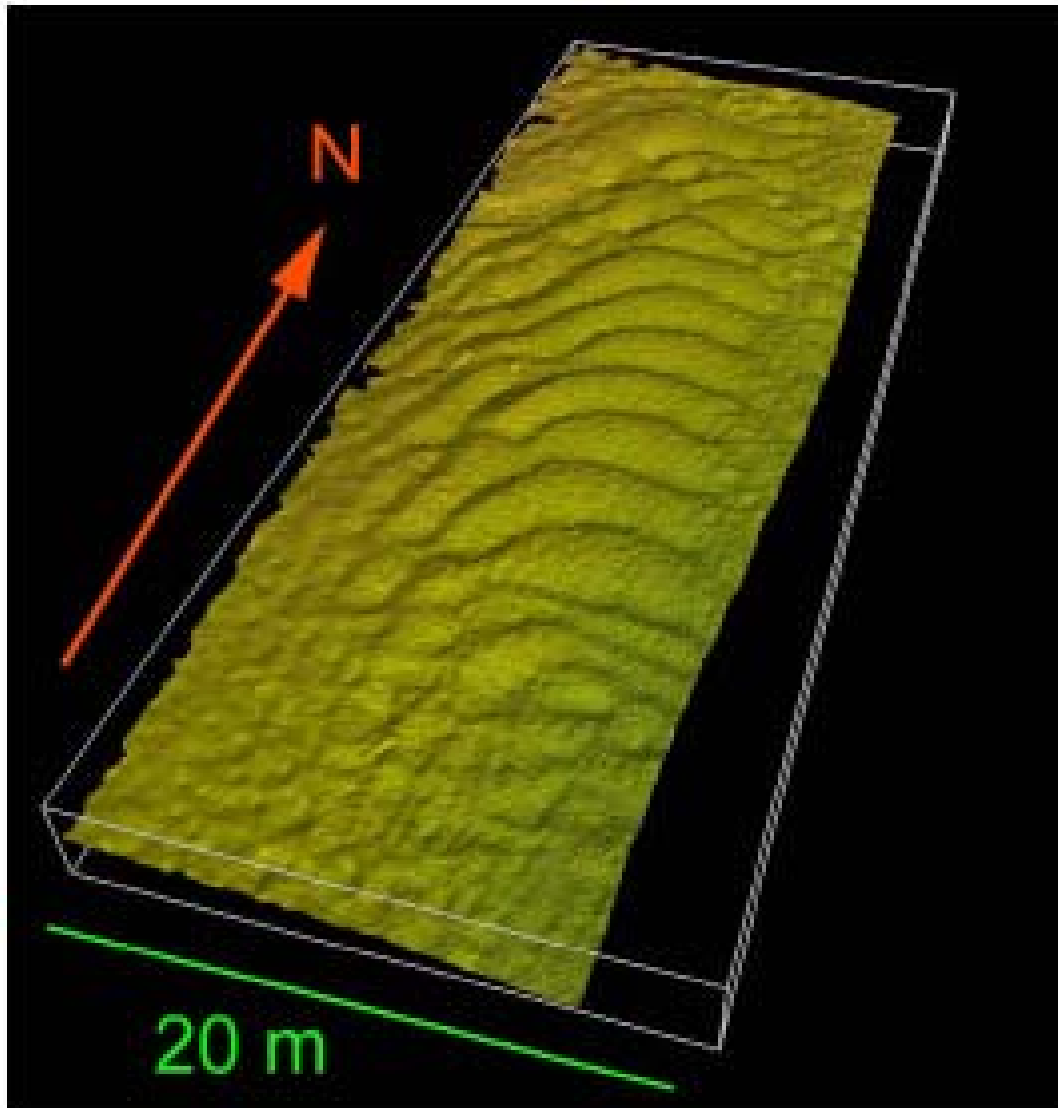


GRUPPO DI LAVORO ITCOLD

Metodi innovativi per il monitoraggio delle dighe e dei versanti
e possibili futuri sviluppi



Traversa di Isola Serafini: particolare rilievo batimetrico multibeam

INDICE

1.	GENERALITA'	pag.	3
1.1	Laser-scanning	pag.	3
1.2	PSInSAR.....	pag.	7
1.3	Batimetrie Multibeam	pag.	11

1. GENERALITA'

Nel seguito sono riportate e commentate alcune delle numerose esperienze che Enel ha voluto effettuare per definire la potenzialità di innovativi metodi di rilevazione e misura al fine di verificare la loro possibile applicazione nel campo del monitoraggio delle opere idrauliche, dei versanti e di ampie aree.

In particolare sono state sperimentate, in collaborazione con CESI, tecniche di rilevazione Laser-scanning, Interferometria da satellite SAR e Batimetrie Multibeam.

1.1 *Laser-scanning*

La sperimentazione è stata indirizzata alla verifica del sistema di misura nella individuazione di:

- spostamenti di superficie
- rilievo geostrutturale di pareti rocciose

I rilievi eseguiti sono stati poi confrontati con i risultati già disponibili da Enel con tecniche topografiche tradizionali e rilievi eseguiti in parete da geologi rocciatori.

Spostamenti di superficie

La sperimentazione è consistita nel ricercare gli eventuali spostamenti di un'area di pendice su una estensione di qualche decina di ettari.

Per l'esecuzione delle misure è stato impiegato un laser scanner Optech mod.Illris3D con le seguenti caratteristiche:

- portata massima: 1000 m e riflettività media superficie circa 25 % (roccia chiara)
- campo inquadrato: 40°x40°
- velocità di scansione: fino a 2000 punti al secondo
- dimensioni dell'impronta laser a 100 m: 30 mm perpendicolarmente alla direzione di mira
- accuratezza a 100 m: 3-5 mm

La georeferenziazione dell'area è stata eseguita ponendo sulla superficie del terreno 5 tabelle di riferimento, la cui posizione è stata rilevata con stazione topografica totale rispetto a due vertici della rete GPS di controllo presente, questo passo ha permesso di orientare a Nord la prima scansione e le successive come sovrapposizione delle aree esterne alla zona indagata che sono state ritenute invariate fra una lettura e le successive. Sono stati eseguiti tre rilievi successivi, due nello stesso anno ed il terzo a distanza di due anni dal primo.

La prima lettura è stata assunta come lettura di riferimento in quanto ha fornito un risultato di qualità migliore, in termini di numero e distribuzione di punti rilevati, rispetto alla seconda eseguita nell'autunno dello stesso anno. La nuvola di punti ottenuta a distanza di due anni è stata inquadrata nel medesimo sistema di riferimento della lettura di zero (UTM32 su WGS84) e quindi confrontata con quest'ultima. Il confronto è stato effettuato seguendo una procedura originale messa a punto da CESI che consente di superare i principali limiti del confronto diretto fra nuvole di punti o mesh multi-temporali, e consente di ottenere informazioni più precise e complete sullo spostamento medio delle superfici.

Allo scopo di individuare la presenza dei settori cui applicare la procedura menzionata e definirne i limiti di applicazione in termini di spostamento minimo misurabile, l'analisi è stata preceduta da:

- valutazione dell'errore associato al metodo di misura
- mappatura delle componenti del vettore rappresentante la distanza minima fra le superfici confrontate

L'errore di misura complessivo è stato determinato calcolando la radice quadrata della somma delle varianze relative alle singole fonti di errore, vale a dire:

- errore strumentale
- errore di allineamento
- errore di rototraslazione nel sistema di riferimento della lettura iniziale

Per quanto riguarda l'errore strumentale, si è fatto riferimento ai risultati di test di ripetibilità diretti, appositamente eseguiti in precedenza con lo strumento utilizzato per il rilievo. Tali test sono stati eseguiti proprio per colmare la lacuna di dati ed informazioni tipica delle brochure fornite dai costruttori, che in genere si limitano a fornire dati sull'errore di misura della distanza. In base ai risultati di questi test, è stato adottato un valore di accuratezza nella determinazione della posizione del punto singolo (s.q.m.) pari a 1.3 cm.

Per quanto riguarda l'errore di allineamento tra riprese parziali, parzialmente sovrapposte a formare la nuvola complessiva, è stato adottato il valore di 4 cm, corrispondente in entrambi i rilievi allo s.q.m. più elevato riscontrato in fase di elaborazione dei dati.

Per quanto riguarda infine l'errore di rototraslazione della lettura a distanza di due anni nel sistema di riferimento iniziale, si è assunto il valore di 3.2 cm, risultante dalla procedura di allineamento della nuvola di punti complessiva rispetto alla scarpate rocciose presenti nella parte superiore dell'area rilevata.

In base a quanto sopra riportato, l'errore complessivo associato a ciascuna lettura è pari a 4.2 cm per la lettura di zero ed a 5.3 cm per la lettura dopo due anni.

A fronte delle considerazioni sull'errore precedentemente esposte, è stata selezionata l'area rappresentata in fig.1, alla quale è stata applicata una rototraslazione dalla posizione di partenza alla posizione finale. La matrice di rototraslazione così ottenuta, applicata al baricentro della zona considerata, ha consentito di determinare le componenti del vettore di spostamento medio dell'area esaminata.

COMMENTI

La sperimentazione ha permesso di determinare che:

- l'errore di misura, comprensivo di errore strumentale ed errore di elaborazione dati, corrisponde a circa 5 cm (1σ) che, in base all'esperienza fin qui acquisita in questo tipo di misure, si ritiene possa essere considerato un riferimento per tale tipologia di superfici, con distanze tra l'area rilevata e la stazione di misura superiori ai 600 m; migliori risultati si possono ottenere, a parità di distanza, operando su versanti in roccia.
- La tecnica laser scanning è senz'altro di estremo interesse per questo tipo di applicazioni, sia in termini economici che di precisione del risultato; l'unica alternativa, in un caso del genere, è rappresentata dall'installazione di una rete di capisaldi muniti di prisma fisso o di supporto per l'antenna GPS, con l'aggravio della realizzazione e del mantenimento in esercizio della rete di misura, unito al fatto che tale tipo di controlli può fornire solo informazioni di tipo puntuale.

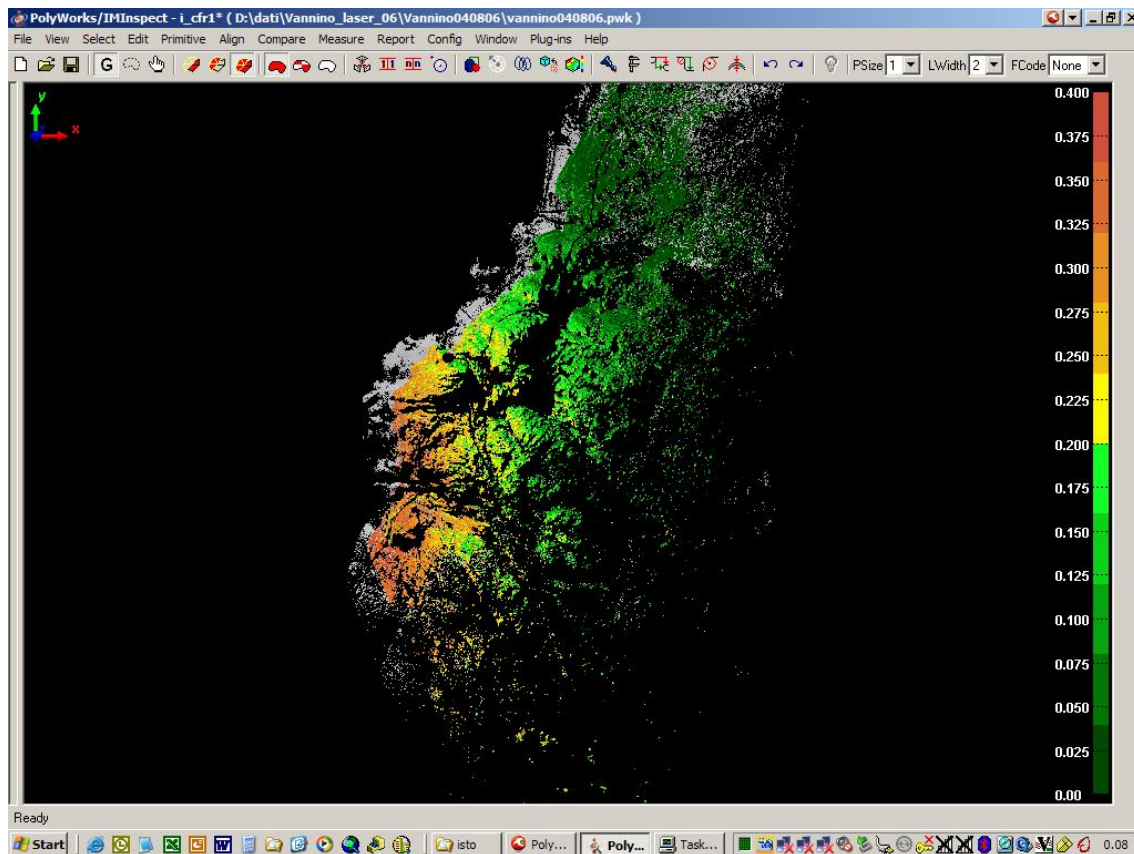


Fig. 1 – Esempio di distanza tra le superfici ottenute dai rilievi misurata lungo l'asse verticale

Rilievo geostrutturale di una parete rocciosa

In questo caso, scopo della sperimentazione è stata la verifica delle potenzialità del sistema ad eseguire rilievi di tipo geostrutturale di pareti rocciose.

Lo studio ha fornito la ricostruzione delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'ammasso roccioso, dal quale sono state estratte, mediante strumenti software di analisi, le giaciture dei principali piani di discontinuità.

Il trattamento statistico dei dati ha consentito la definizione dell'assetto strutturale dell'ammasso roccioso, che è stato poi confrontato con i rilievi disponibili, già eseguiti direttamente in parete da geologi rocciatori.

Lo studio è stato organizzato secondo i seguenti passi:

- rilievo laser scanner della parete rocciosa da quattro postazioni
- esecuzione di rilievi geomeccanici dell'ammasso roccioso in sito con tecnica tradizionale
- assemblaggio delle nuvole di punti parziali per formare un unico modello tridimensionale della parete georeferenziato nel sistema UTM32 su ED50
- estrazione della nuvola di punti della giacitura (azimut ed inclinazione) dei piani discontinuità e confronto con i dati tradizionali
- analisi statistica dei dati rilevati ed individuazione dei principali sistemi di discontinuità che scompongono l'ammasso roccioso

Le caratteristiche degli strumenti impiegati sono le stesse di quelle descritte per il caso precedente.

Per la costruzione della nuvola di punti complessivi che costituisce il "modello" virtuale della parete, sono state eseguite scansioni da punti di vista diversi, essendo presenti

“zone d’ombra” che impedivano la totale copertura dell’area da una singola postazione di misura ed, inoltre, la distanza dalla stazione era maggiore del range dei laser attualmente disponibili.

La georeferenziazione del rilievo è stata eseguita in quanto la nuvola di punti è stata impiegata per il rilievo geostrutturale, come è necessaria quando si vuole ottenere una carta ad isoipse, mentre in altri casi quali ad esempio la misura di spostamenti relativi fra punti, ciò non è strettamente necessario.

I passi principali del lavoro sono stati:

- analisi e pulizia delle singole scansioni che costituiscono la nuvola di punti complessiva
- allineamento delle singole scansioni e inquadratura in un sistema di riferimento locale
- rototraslazione della nuvola ed orientamento a Nord
- esplorazione della nuvola così orientata per l’individuazione dei piani di discontinuità

In generale è stata misurata la giacitura di circa 1200 piani di discontinuità e sono stati individuati 5 sistemi di discontinuità principali.

COMMENTI

Il riscontro con i rilievi eseguiti direttamente in parete ha fornito una ottima corrispondenza e la metodologia ha dimostrato la possibilità nell’uso di questa tecnologia per il rilievo geostrutturale di ammassi rocciosi.

In fig.2 viene riportata una tipica rappresentazione nella quale è visibile la nuvola di punti riferita ad un settore dell’ammasso roccioso con riportati 4 piani, ognuno dei quali appartiene ad una delle famiglie di discontinuità rilevate dall’analisi.

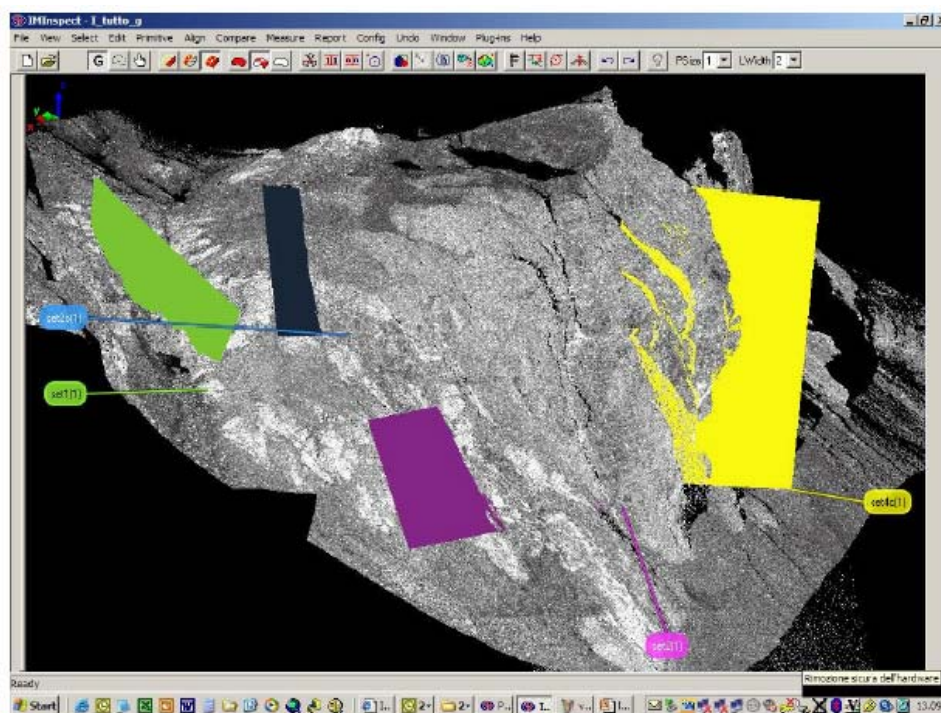


Fig.2

1.2 Interferometria da satellite

La tecnologia deriva da un recente sviluppo della ormai tradizionale tecnica interferometrica SAR (Synthetic Aperture Radar – Radar ad Apertura Sintetica) per l'elaborazione di immagini satellitari.

La nuova tecnica denominata “dei Diffusori Permanenti” (o Permanent Scatterers, PS o più sinteticamente PSInSAR), è basata sull'individuazione e selezione, su base statistica, di un insieme di punti particolarmente adatti alla stima dei movimenti del suolo detti appunto Diffusori Permanenti.

I movimenti stimati mediante questa tecnica consentono di superare le limitazioni dell'analisi SAR convenzionale e permettono il monitoraggio con precisione millimetrica dei fenomeni di movimento di versante.

La disponibilità di un archivio più che decennale di immagini radar satellitari dell'ESA (European Space Agency) consente la ricostruzione storica dei movimenti a partire dal 1992.

La tecnica dei Diffusori Permanenti (PS) è un brevetto del Politecnico di Milano che ne ha concesso l'esclusiva applicazione alla Società Tele-Rilevamento Europa – T.R.E. s.r.l., proprio spin-off commerciale.

La distribuzione delle immagini radar dei satelliti ERS-1 registrate dal 1992 al 1999 ed ERS-2 operante dal 1995 a tutt'oggi è un'esclusiva dell'ESA (European Space Agency).

L'Enel ha voluto inserire tale tecnica in un ampio progetto di sperimentazione teso alla valutazione generale dell'applicabilità ed affidabilità della tecnica satellitare, come sistema di monitoraggio complementare o, in alcuni casi, sostitutivo del tradizionale.

Al fine di disporre di una valutazione globale della potenzialità del metodo di controllo fornito dalla tecnica PSInSAR, la sperimentazione ha indagato la risposta del sistema alla individuazione di spostamenti di:

- punti (area ristretta es: diga, vasca etc.)
- linee (es: canali)
- aree

Singola opera

Lo studio ha voluto confrontare i risultati disponibili da misure topografiche tradizionali (livellazione di precisione) con i dati ottenibili dall'indagine PSInSAR su una singola opera, vista come area concentrata.

Il caso riportato si riferisce al coronamento della vasca di Edolo.

La particolare ubicazione della vasca (buona visibilità satellitare) ed in particolare la presenza sul coronamento di pilastri in cls, hanno portato all'individuazione di numerosi Permanent Scatters di buona coerenza, ciò ha permesso di ottenere misure di ottima precisione.

Le informazioni sono state ottenute con immagini sia ascendenti che discendenti.

Il confronto fra le immagini ascendenti e discendenti ha permesso di verificare che gli spostamenti nell'area della vasca sono diretti lungo la verticale.

Infatti, i valori di velocità individuati dall'analisi delle due geometrie di acquisizione, ascendente e discendente, hanno valori confrontabili in entrambi i set di immagini, cosa che non avverrebbe nel caso in cui fosse presente una componente di spostamento orizzontale.

Il confronto fra i dati disponibili dalle serie storiche delle misure di livellazione e gli spostamenti determinati con l'analisi PSInSAR ha mostrato ottima corrispondenza, come si osserva dal confronto riportato in fig.3.

Al fine di rendere le due serie di misure confrontabili, i dati dei PS, originariamente misurati lungo la “line of sight” del satellite, sono stati proiettati lungo l'asse verticale.

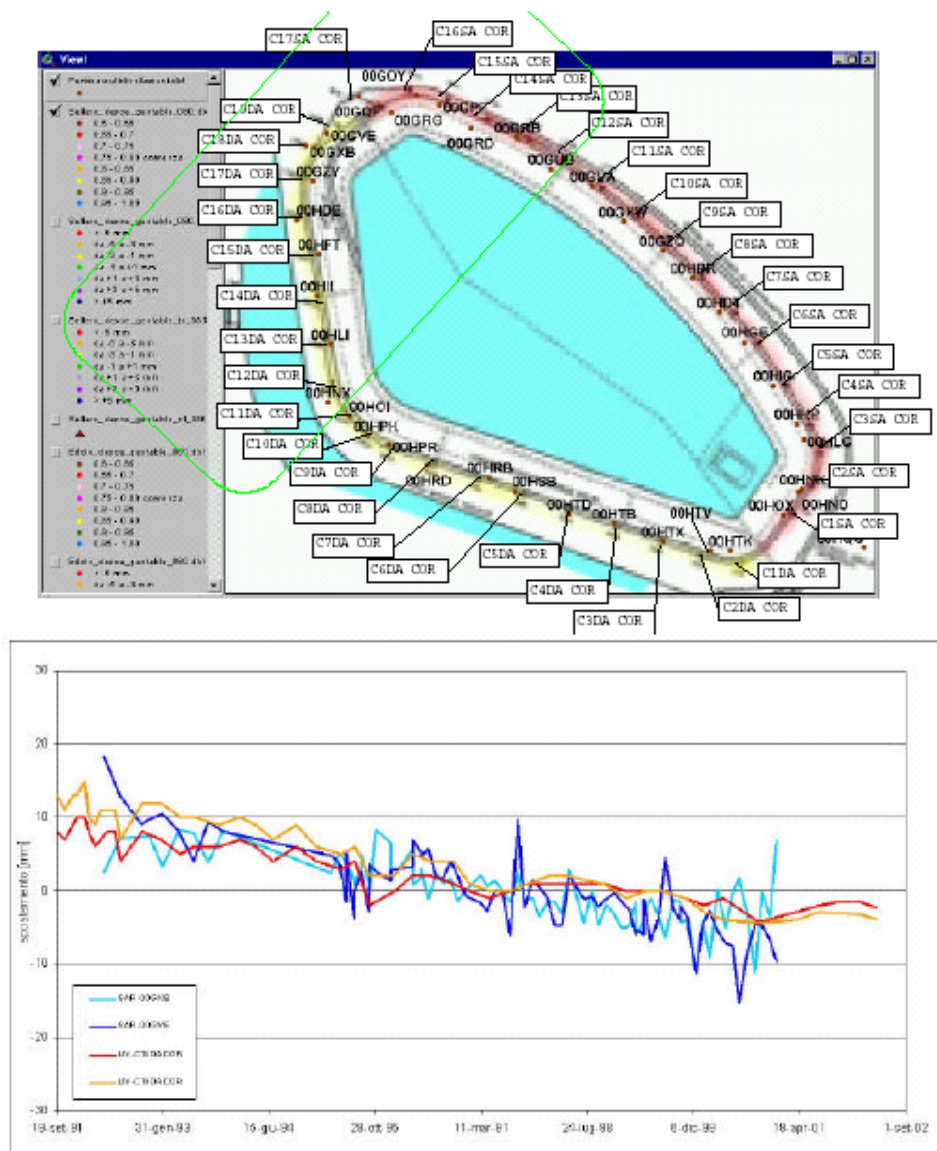


Fig.3

Opere a prevalente sviluppo lineare

Viene riportata la ricerca effettuata su un tratto di 7 Km del canale Ala-Bussolengo (VR). Nella figura 4 sono riportati i risultati ottenuti in termini di P.S. rilevati con grado di coerenza 0.83 ed in Fig.5 con grado di coerenza 0.60, è immediato notare come minore è la coerenza dei PS e maggiore è il numero di punti riflettenti individuabili, a scapito però della bontà dei dati ricavabili.

L'analisi dei dati evidenzia come non si rilevino P.S. ricadenti sulle arginature, per cui non è stato possibile derivare indicazioni interessanti direttamente l'opera, ma l'analisi dell'insieme dei dati ha permesso di verificare come le velocità ottenute per i punti individuati sia coerente con la morfologia dell'area investigata.

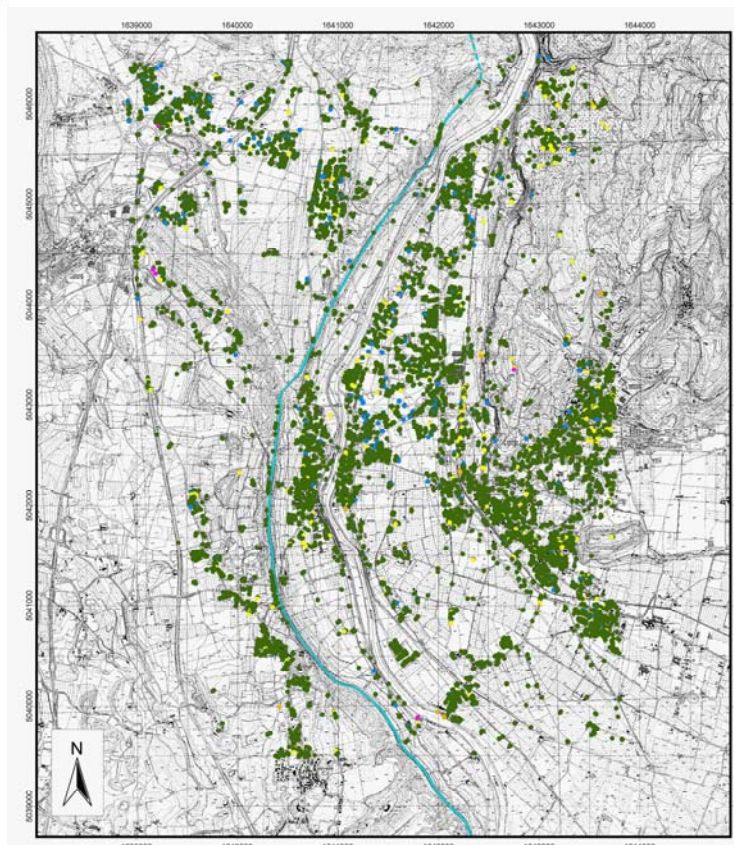


Fig.4 2093 punti rilevati, grado di coerenza 0.83

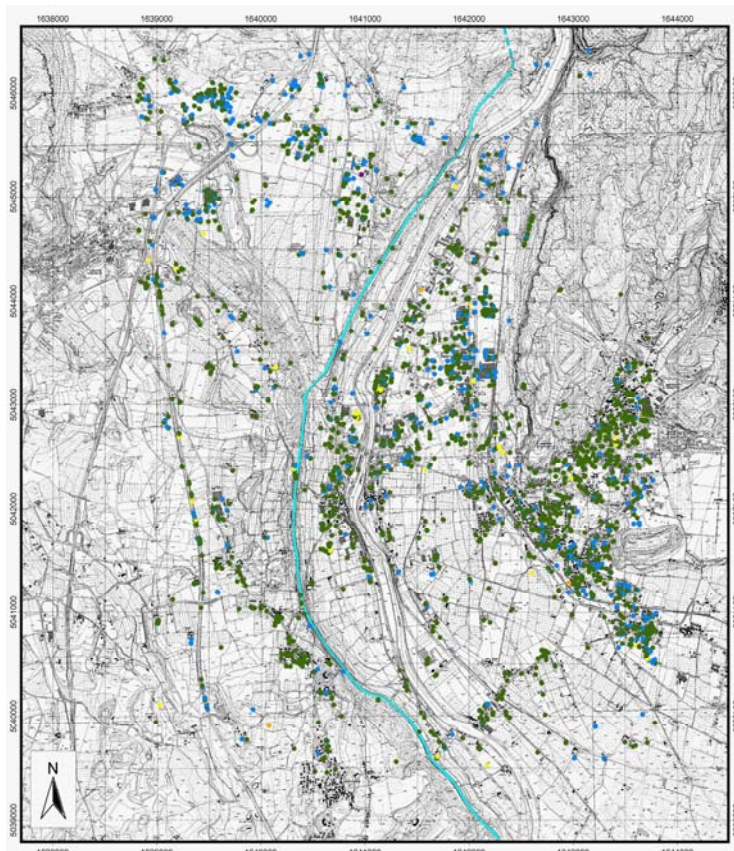


Fig.5 9673 punti rilevati, grado di coerenza 0.60

Analisi su grandi aree

Il caso riportato si riferisce ad un'area di circa 10 km², all'interno della quale si trova la Traversa di Isola Serafini sul fiume Po, della quale si è voluto verificare l'interessamento o meno da parte di fenomeni legati alla subsidenza dell'area.

Quale secondo obbiettivo della sperimentazione si è voluto verificare la bontà delle misure ottenute con la tecnica PinSAR confrontandole con le misure delle livellazioni eseguite sulla traversa.

A causa della bassa densità abitativa dell'area e della presenza di copertura vegetale a carattere prevalentemente stagionale, non sono stati rilevati sufficienti PS distribuiti in maniera omogenea sulla superficie indagata, in quanto i PS individuati erano addensati sulle poche costruzioni presenti e sui sostegni delle apparecchiature elettriche.

Come conseguenza della copertura vegetale i PS individuati hanno mostrato bassa coerenza, i PS individuati sulle opere sono risultati, invece, estremamente concentrati rispetto all'estensione di indagine fig.6.

La presenza di fenomeni di subsidenza è stata rilevata, quindi, solo in quelle zone ristrette ove sono presenti i PS, non potendosi dire nulla sulla totalità dell'area, se non per estensione "transitiva" del fenomeno.

Invece, il confronto con le misure di livellazione eseguite sullo sbarramento, che mostra una buona copertura di PS, ha permesso di confrontare i risultati ottenuti dall'analisi PSInSAR con quelli noti dei rilievi tradizionali, ottenendo una buona corrispondenza fig.7.

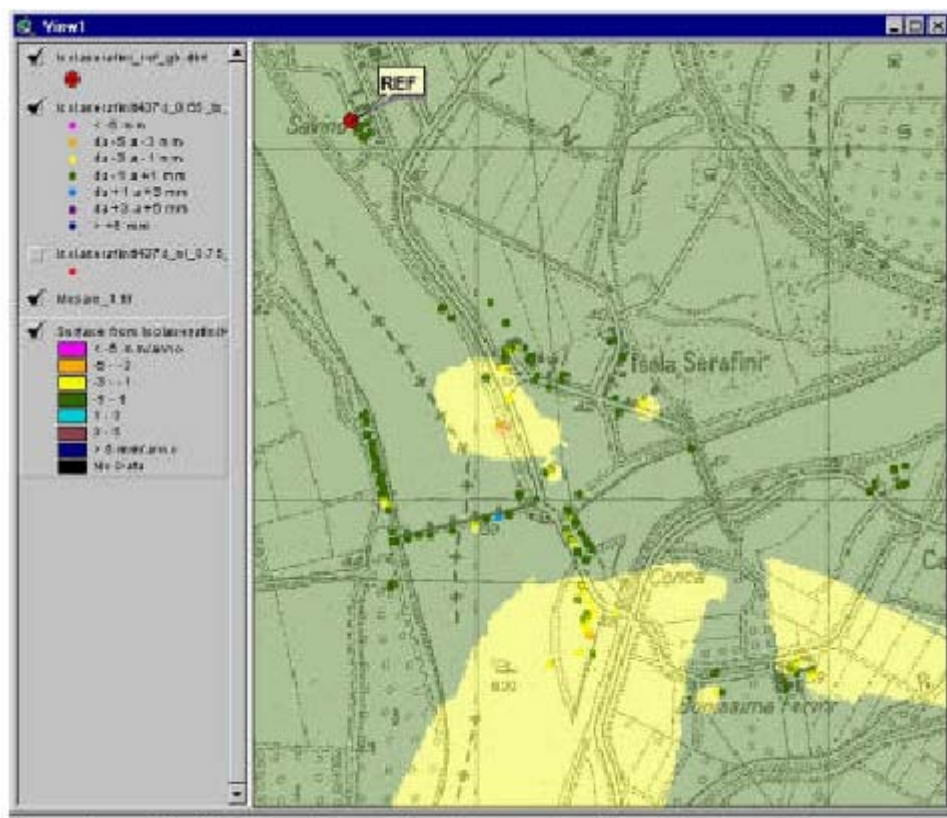


Fig.6

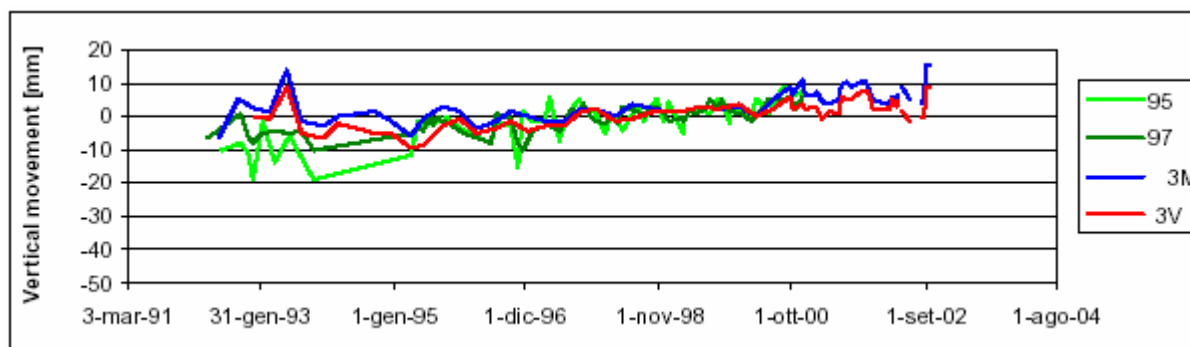


Fig.7 Confronto risultati ottenuti dai PS (verdi) da livellazione (blu e rosso)

COMMENTI

Oltre ai casi riportati, Enel ha eseguito ulteriori esperienze sia su opere (dighe, argini, condotte etc.), sia su vaste aree.

I risultati, però, non sono stati in grado di fornire adeguate risposte agli obiettivi posti a base della sperimentazione.

Ciò perché, ad esempio, l'opera ricadeva in una zona d'ombra rispetto alla ripresa satellitare, o vi era estesa copertura vegetale od, infine, perché i PS non presentavano sufficiente coerenza per essere sfruttati nelle successive elaborazioni.

Quindi, fatte salve le notevoli potenzialità della tecnica e del metodo, si è riscontrato che un vincolo ancora forte all'applicazione corrente di questa particolare tecnica di rilievo è nell'elevato costo e nei non sicuri ritorni.

Infatti, una quota sostanziosa del costo totale è impiegata per la ricerca dei Permanent Scatters che non sono noti a priori, ma possono essere determinati solo dopo un'analisi accurata delle informazioni fornite dai satelliti, e solo successivamente si può passare alla fase vera e propria della determinazione delle grandezze ricercate.

Affinché il metodo possa divenire di uso corrente nell'ambito delle opere idrauliche o, comunque, non rimanere nell'ambito di studi rivolti a grandi ed estese aree specialmente in zone a elevata presenza antropica (maggiore presenza di PS), è auspicabile che possano essere sviluppate, ad esempio, carte che individuino i PS (con coerenza assegnata) da poter essere visionate a priori, al fine di stabilire la fattibilità o meno del progetto.

Un ultimo vincolo allo sviluppo del metodo risiede nella continuità delle riprese da satellite ed in particolare al loro proseguo nel tempo futuro.

1.3 Rilievi batimetrici con tecnica Multibeam

La tecnica sperimentata si è basata sul rilievo batimetrico realizzato utilizzando un ecoscandaglio di tipo multibeam ad altissima risoluzione RESON SeaBat 8125 che lavora con segnali acustici ad una frequenza operativa di 455 kHz.

Il sistema ha complessivamente 240 beams, ciascuno di $0.5^\circ \times 1^\circ$ di ampiezza ed è in grado di emettere fino a 40 impulsi per secondo in acque molto basse.

La larghezza della spazzata è pari a 120° permettendo così di investigare, con il trasduttore montato in posizione orizzontale, un corridoio ampio circa 3.4 volte la profondità dell'acqua fino a una profondità massima di 60 metri. La densità dei punti campionati è elevatissima (> 50 punti/m² per profondità inferiori a -10 m), diminuendo all'aumentare della profondità dell'acqua e della distanza dal centro della spazzata fig.8.

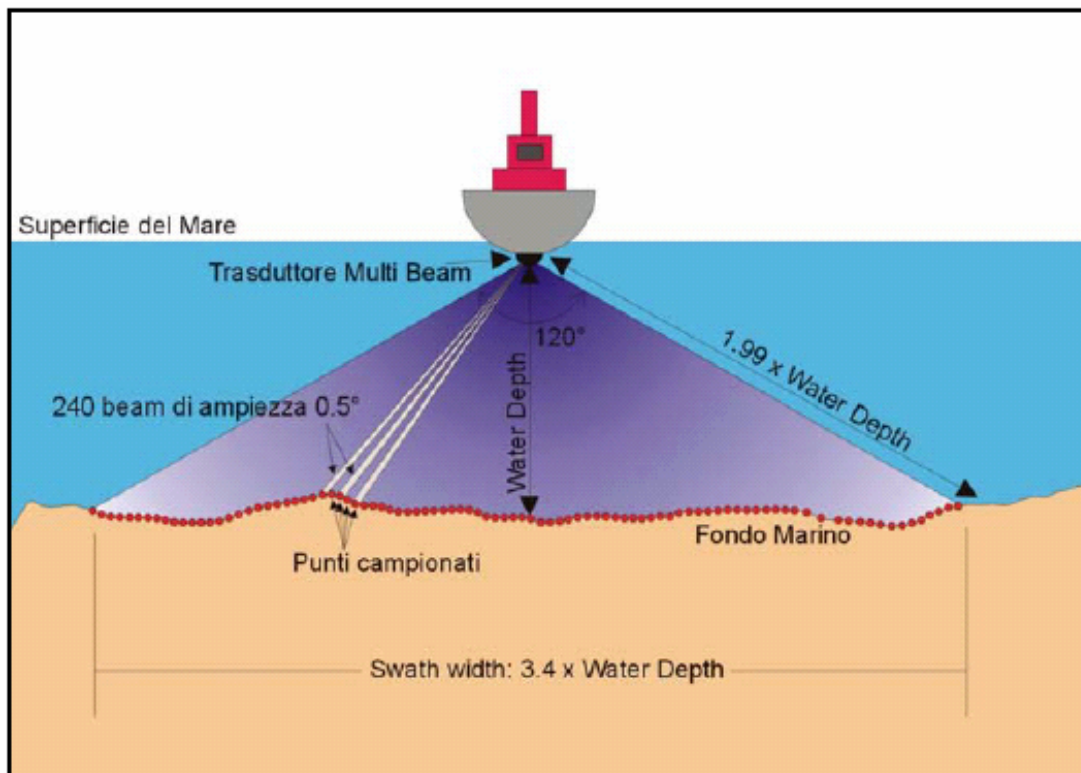


Fig.8

Nei casi in cui si voglia rilevare in dettaglio le sponde e le strutture sommerse, il rilievo può essere eseguito con il trasduttore multibeam inclinato di 35° verso le sponde, come riportato in fig.9. Con questa geometria di acquisizione è possibile rilevare con grande dettaglio una parete sub verticale ed eventuali cavità presenti anche in prossimità della superficie dell'acqua. A seconda della conformazione e della profondità della cavità, si potranno avere delle zone di ombra acustica (assenza di dati).

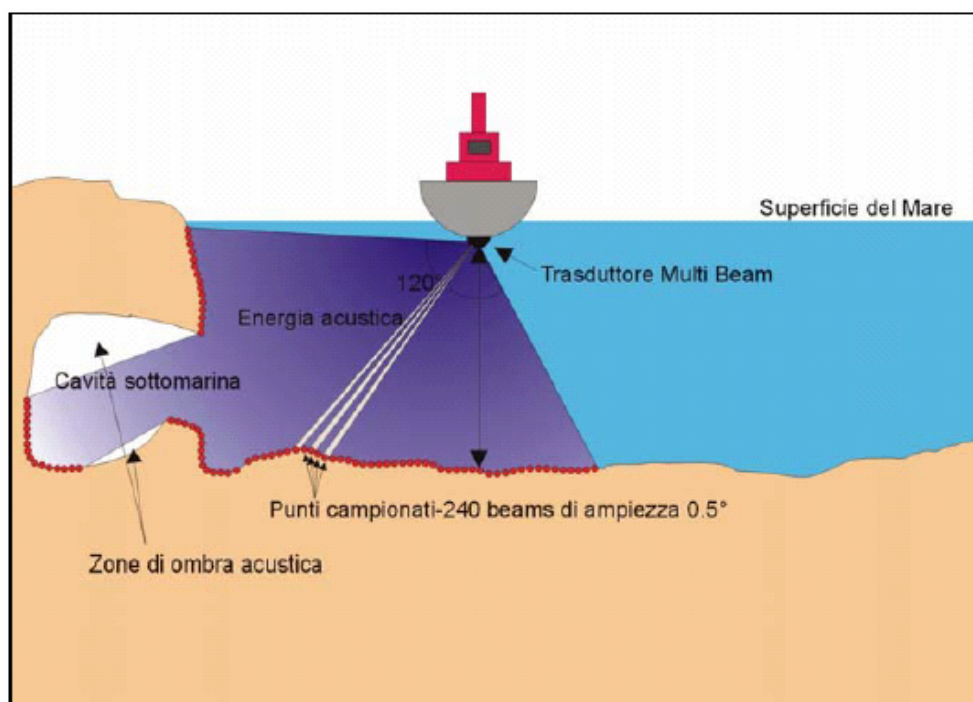


Fig.9

Nei casi in cui si voglia indagare con adeguata risoluzione profondità maggiori o cavità, è possibile installare l'apparecchiatura su un veicolo subacqueo filoguidato ROV. Considerando infatti che la densità di campionamento aumenta con il diminuire della distanza sensore-target, l'utilizzo del ROV consente di avvicinare il sensore alle zone e/o ai manufatti da rilevare e quindi di aumentare il potere risolutivo dello strumento stesso, garantendo una densità di punti campionati superiore ai 50 punti/m².

Il trasduttore multibeam è utilizzabile sia con il montaggio in posizione orizzontale che inclinata di 30° trasversalmente alla direzione di avanzamento del veicolo Fig.10.



Fig.10

La georeferenziazione del rilievo viene di solito eseguita rapportandosi ad un caposaldo geodetico che può essere già presente nelle immediate vicinanze dell'area o tramite sua materializzazione, previa georeferenziazione, con capisaldi della rete geodetica nazionale. La pianificazione dell'indagine deve tenere in considerazione sia le condizioni di sicurezza della navigazione che lo scopo del lavoro.

In particolare, le linee di navigazione devono essere pianificate in modo tale da ottenere sempre una sovrapposizione tra i dati acquisiti da linee adiacenti.

La distanza tra le linee non è fissata a priori, ma decisa direttamente durante l'esecuzione del rilievo, opportunamente variata in base all'ampiezza del corridoio da rilevare reso visibile in tempo reale nei differenti display disponibili nel sistema di acquisizione.

L'imbarcazione è strumentata con un ricevitore GPS collegato al punto a terra (base) tramite collegamento UHF.

La "base", che è programmata con l'inserimento delle coordinate geografiche del punto stesso nel sistema WGS84, provvede a calcolare in tempo reale la correzione differenziale che è poi inviata via modem GSM al ricevitore GPS (rover) installato sull'imbarcazione.

Il "rover", calcolando in ogni istante la posizione dell'antenna GPS sull'imbarcazione e applicando la correzione differenziale che riceve via modem GSM in tempo reale dalla base, provvede a calcolare la posizione corretta dell'imbarcazione.

Per tutti gli strumenti vengono poi determinati gli offset spaziali da inserire nel software di gestione del sistema che raggruppa i dati provenienti dal multibeam e dai vari strumenti e provvede alla loro registrazione nel formato idoneo alla successiva fase di postprocessing.

Occorre, inoltre, calibrare la girobussola dell'imbarcazione per compensare gli eventuali errori legati al disallineamento tra l'asse longitudinale dell'imbarcazione e la linea di riferimento della bussola giroscopica.

Prima dell'esecuzione del rilievo si provvede pertanto ad eseguire una verifica dell'orientamento della girobussola. La verifica è fatta navigando con l'imbarcazione su di una rotta prestabilita e comparando le letture della girobussola con quelle calcolate dal sistema GPS.

Le calibrazioni dell'ecoscandaglio multibeam sono necessarie per compensare gli eventuali errori legati a disallineamenti tra i vari sensori ed all'assetto dell'imbarcazione. Per calcolare i diversi parametri di calibrazione è necessario eseguire alcune linee su delle aree con opportune caratteristiche (ad es. fondo piatto, presenza di un target, etc.).

Le linee di calibrazione sono eseguite ogni qual volta è recuperato in coperta il palo del trasduttore multibeam e comunque all'inizio di ogni giornata di lavoro.

I dati acquisiti e registrati sono successivamente elaborati con l'ausilio del software secondo le seguenti fasi:

- filtraggio dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione);
- filtraggio dei dati di profondità, mediante l'applicazione di filtri basati su parametri statistici (Deviazione Standard, ecc.);
- applicazione delle correzioni di quota;
- produzione di una griglia pesata (weighted grid) sulla base dei dati filtrati.

Questi dati sono stati poi inviati al CARIS Marine GIS per la produzione delle carte batimetriche e per l'estrazione dei profili batimetrici.

I risultati ottenuti sono poi restituiti sia in formato digitale ARCVIEW3.2, che consente la loro visione tridimensionale in ambiente GIS, sia in formato ASCII visibile con software Surfer che in formato DWG.

Rilievo batimetrico per il controllo di lavori subacquei

Un esempio delle potenzialità del sistema è fornito dalle figure riportate nel seguito.

In fig.11 è riportata la restituzione tridimensionale del rilievo eseguito a valle della Traversa di Isola Serafini in una zona ove sono ben visibili il palancolato a contenimento della protezione d'alveo eseguita con "burgoni" in cls di grandi dimensioni (10x2x1 m).

In fig.12 è riportata, invece, l'immagine di una struttura metallica di modeste dimensioni rinvenuta sul fondo.

Contestualmente alle rappresentazioni tridimensionali, fanno parte dei prodotti finali forniti, anche le restituzioni in formato DWG delle batimetrie a curve di livello (nel caso in esempio, passo 0.25 m) e delle sezioni longitudinali e trasversali dell'area indagata in maniera del tutto analoga a quanto ottenibile da una usuale batimetria tradizionale.

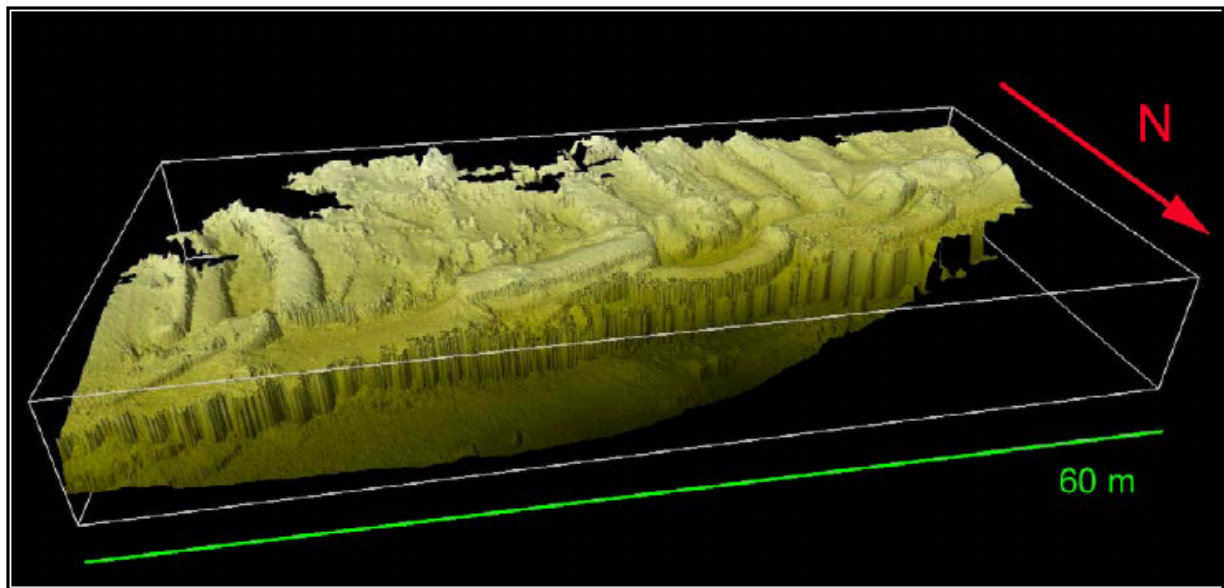


Fig.11

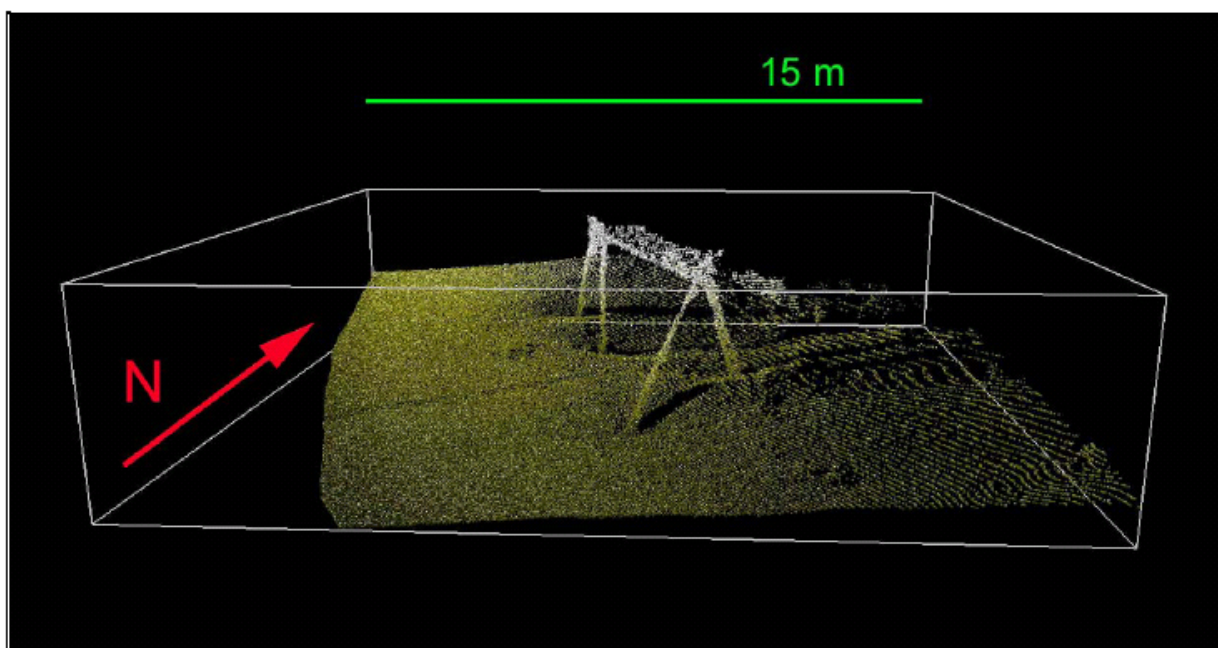


Fig.12

Rilievo batimetrico per la individuazione di opere subacquee

Un altro esempio delle potenzialità della metodologia è visibile in fig.13 ove è riportata la rappresentazione tridimensionale di un'opera di imbocco di uno scarico di fondo di una diga, ove le frecce indicano il bordo superiore dell'opera.

In fig.14 è riportato, invece, il modello digitale tridimensionale di un'opera di presa di una diga, nel quale sono identificabili due oggetti sul fondo, presumibilmente una barca ed una macchina, le griglie di presa ed i condotti delle aste di manovra.

Le rappresentazioni tridimensionali possono, inoltre, essere ruotate nello spazio per ottenere vari punti di vista.

La restituzione in formato DWG della batimetria del bacino ha avuto un passo fra le isoipse di 0.5 m.

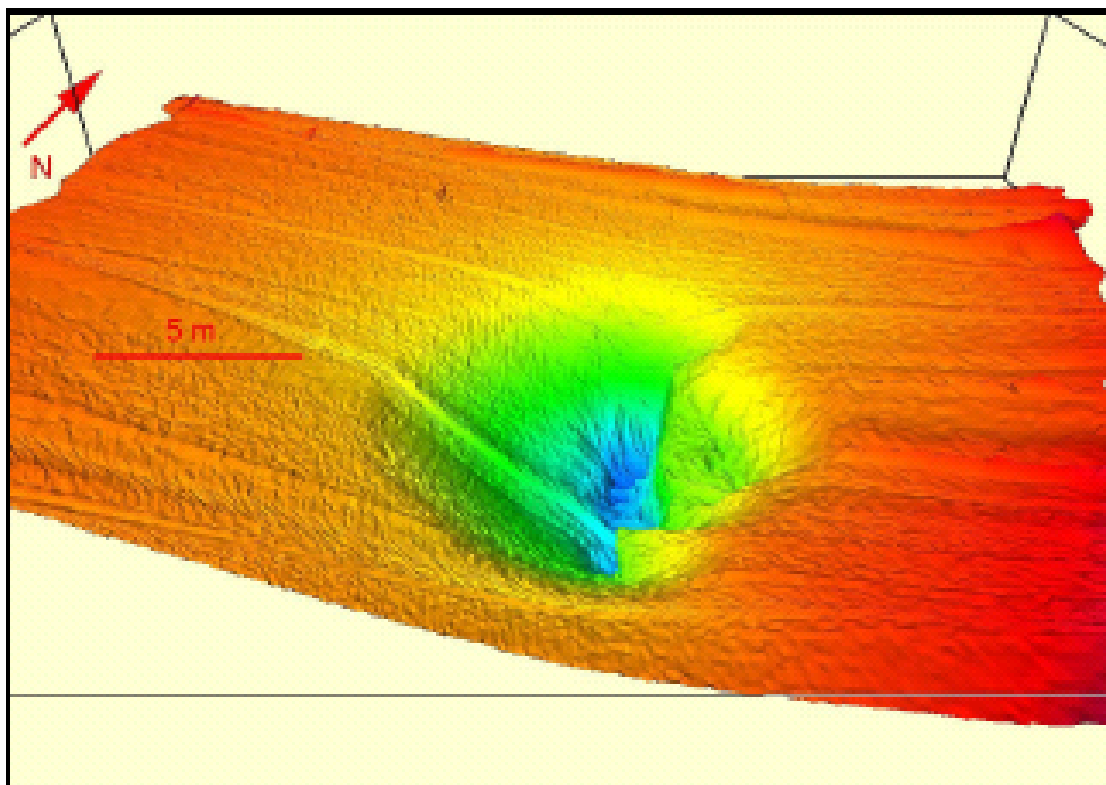


Fig.13

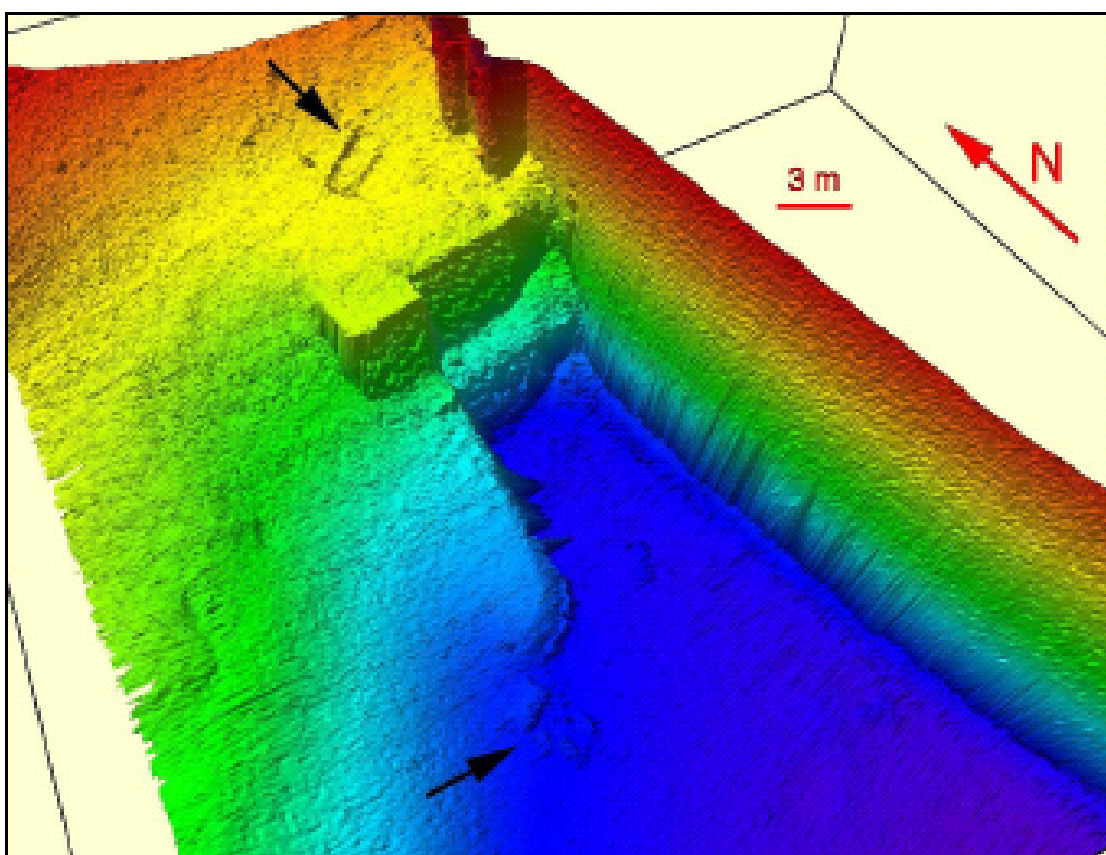


Fig.14

COMMENTI

Oltre ai casi riportati, Enel ha eseguito ulteriori sperimentazioni, sia su fondali che su opere di altra natura, quali ad esempio le arginature.

Dall'esame dei risultati ottenuti è maturata la convinzione che tali metodiche di indagine siano particolarmente indicate per rilievi di dettaglio e/o verifica di particolari (es: cavità, opere sommerse, etc.), che non sarebbero altrimenti eseguibili con tecniche tradizionali.

Infatti, la tecnica multibeam permette di ottenere carte batimetriche di dettaglio, oltre che rappresentazioni tridimensionali di grande interesse, ma i costi del rilievo sono ancora superiori a quelli di altre tecniche tradizionali, anche se il rapido sviluppo delle tecnologie ed il sempre maggiore uso ne stanno rendendo concorrenziale l'utilizzo in alternativa alle altre metodiche di rilievo e restituzione.

Comunque, il rilievo multibeam, data l'elevata sensibilità e quantità di informazioni da gestire, risente, nelle zone con maggiore turbolenza del flusso idraulico, sia del movimento del natante che della presenza di bolle d'aria all'interno della massa d'acqua, con la conseguenza che le aree risultano non rilevabili e quindi non restituibili.

Infine, è doveroso sottolineare come i risultati, indipendentemente dall'opera sulla quale è stata eseguita l'indagine, sono stati sempre soddisfacenti sia sotto il profilo delle immagini, delle risoluzioni e delle restituzioni batimetriche ottenute.