

Integrazione rigorosa di dati provenienti da fonti di acquisizione differenti

di L. Bornaz, F. Dago, E. Bardou, G. Favre Bulle

La geomatica mette oggi a disposizione di esperti di diverse discipline un'ampia gamma di strumenti e tecniche che vengono utilizzate estensivamente come sostegno per l'acquisizione, la contestualizzazione e la georeferenziazione di informazioni molto diversificate come ad esempio dati georadar, geosismici, interferometrici, provenienti da strumenti di misura spesso utilizzati in diversi ambiti e con sistemi di riferimento differenti, talvolta non direttamente compatibili tra loro. Questa problematica, spesso trascurata utilizzando un approccio di tipo classico, è stata affrontata e risolta in modo rigoroso dagli autori permettendo così l'integrazione corretta di dati di differente natura e provenienza.

La geomatica si compone oggi di una grandissima varietà di tecnologie che permettono di ottenere numerose informazioni geometriche a supporto di monitoraggio, studi geotecnici, analisi ambientali e così via. E' il caso ad esempio dei GPS, che trovano grande diffusione ed utilizzo sul mercato, fino ad arrivare ai sensori laser scanner – siano essi aviotrasportati o terrestri – che consentono di digitalizzare oggetti e porzioni di territorio.

I dati geomatici sono oggi utilizzati non solo da esperti di rilevamento, ma anche da professionisti di diversi settori: geologi, architetti, archeologi (ma non solo) ne sfruttano le potenzialità e la semplicità di utilizzo. Il sistema GPS, ad esempio, è estensivamente utilizzato dai geologi per posizionare sulla cartografia, o su un modello digitale tridimensionale acquisito con fotogrammetria o laser scanner, dati geofisici, sismici di superficie e foraggi.

Spesso però una semplice integrazione dei dati derivanti da tecnologie differenti non è così immediata e agevole. Il motivo è da ricercare nel differente sistema di riferimento utilizzato dai diversi sensori per acquisire le informazioni. Il laser scanner terrestre, ad esempio, acquisisce dati in un sistema

di riferimento locale, reale. Quello aviotrasportato, invece, lavorando in accoppiamento con IMU (*Inertial Measurement Unit*) e GPS, fornisce dati direttamente in un sistema di riferimento cartografico. Il GPS acquisisce dati in un sistema geocentrico, che normalmente è convertito in geografico e quindi nel sistema di riferimento cartografico di interesse. La trasformazione che permette di ottenere dati cartografici a partire da coordinate tridimensionali reali sulla superficie terrestre è però affetta sempre da deformazioni, che possono essere angolari, areali e lineari, a seconda del modello di rappresentazione scelto. Questo aspetto, ben noto agli esperti di cartografia, è dovuto alla necessità di rappresentare una superficie tridimensionale su un supporto bidimensionale. La deformazione cartografica è inoltre legata, per effetto della curvatura terrestre, alla quota del punto.

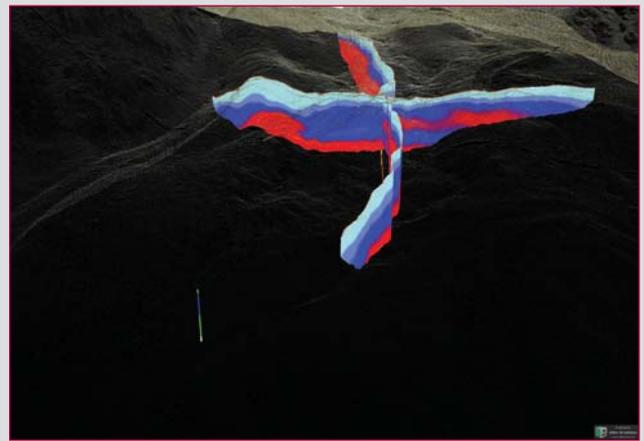
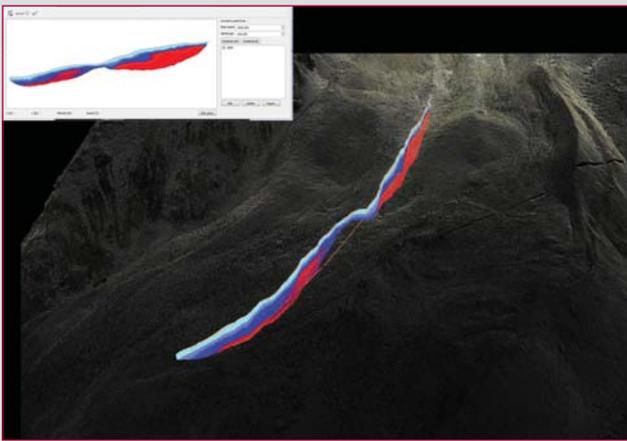
A complicare l'integrazione dei dati derivanti da sorgenti di acquisizione differenti si aggiunge l'ondulazione del geoide, ovvero la differenza altimetrica che esiste tra la superficie di riferimento utilizzata per la generazione della cartografia (ellissoide di riferimento) e il geoide, superficie alla quale sono riferite le quote reali.

Prendiamo ad esempio un ghiacciaio che si trova a circa 3.000m di quota. I dati presentati derivano da una campagna di misura realmente effettuata da uno degli autori – prima con laser scanner aviotrasportato, poi con laser scanner terrestre – per la determinazione del volume di ghiaccio e neve presenti.

Vengono considerati due punti che si trovano alle due estremità del ghiacciaio, ambedue alla stessa quota. I due punti sono stati acquisiti durante la prima campagna di misura con laser scanner aereo e con tecnica GPS ed espressi nel sistema di riferimento cartografico di riferimento UTM WGS84 e quota ortometrica. Sulla cartografia i due punti si trovavano ad una distanza reciproca di 963,23m. L'anno successivo i rilievi sono stati ripetuti con tecnica laser scanner terrestre. Gli stessi due punti sono stati rilevati col laser per la georeferenziazione del modello 3D mediante il posizionamento su di essi di target di posizionamento. La distanza tra i punti misurata su questo nuovo modello 3D risultava però questa volta di 964,14m. Questa differenza è proprio dovuta ai sistemi di riferimento. Nel caso del laser aereo i dati sono espressi in un sistema cartografico, quindi planimetricamente deformato e con quota di riferimento as-



Nuvola di punti del ghiacciaio Bonnard ottenuta con laser scanner aviotrasportato.



Integrazione nel modello 3D laser scanner delle sezioni geosismiche.

soluta; nel caso del laser scanner terrestre invece sono in un sistema di riferimento locale, reale, non deformato. Da questa semplice differenza è comprensibile come una integrazione diretta tra i due modelli sia tutt'altro che semplice.

Se si cerca infatti di georiferire sui punti cartografici il modello 3D rilevato con laser scanner terrestre, gli errori sui punti di appoggio saranno troppo elevati rispetto alle precisioni della misura (50-100cm di errore con precisioni di misura di 2-10cm). Non è corretto neppure deformare o effettuare una variazione di scala su uno dei due modelli, perché le deformazioni cartografiche variano da punto a punto e soprattutto la deformazione è solo planimetrica, mentre dal punto di vista altimetrico il tutto dovrebbe essere corretto, punto per punto, utilizzando il dato di ondulazione del geoide.

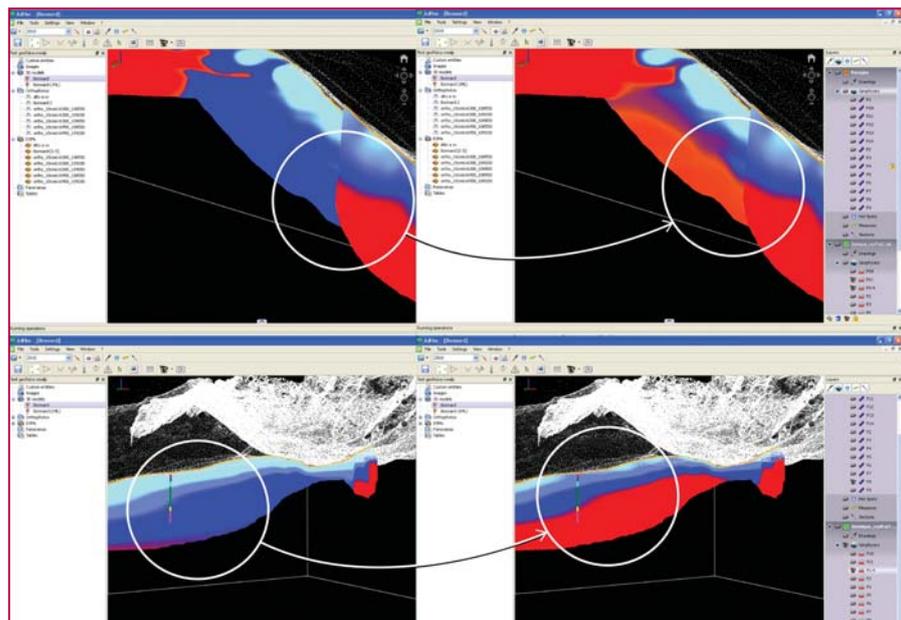
In casi di questo genere la soluzione che il più delle volte viene adottata in ambito commerciale è quella di allineare le scansioni utilizzando l'algoritmo di allineamento ICP (*Iterative Closest Points*). Questo algoritmo, nato nel 1992 nell'ambito della robotica per l'allineamento di forma, permette di allineare i modelli minimizzando le differenze tra loro mediante una procedura che garantisce il raggiungimento di un minimo locale. Si tratta di un algoritmo che funziona bene per l'allineamento di forme geometriche ben definite ma che non considera differenze di sistemi di riferimento, distorsioni cartografiche e nessuna delle regole topografiche classiche. Considerato quanto detto in precedenza sulla differenza che intercorre tra dati espressi nel sistema di riferimento cartografico con quota ortometrica e quelli espressi in un sistema locale, è comprensibile come questo approccio di allineamento scansioni sia errato e assolutamente da evitare nell'integrazione dati laser aerei e terrestri.

Più in generale, questo discorso vale per tutti i dati tridimensionali di natura geomatica acquisiti con sensori e sistemi di riferimento differenti, come ad esempio quando si acquisiscono delle sezioni geofisiche o geosismiche e si georeferenziano con il GPS per conoscere la quota dei punti rilevati allo scopo di definire la posizione di sottostutture o elementi nel sottosuolo, oppure quando si integrano i dati rilevati con modelli di superficie per effettuare la modellazione geosismica tridimensionale. La sola visualizzazione tridimensionale dei dati acquisiti mette in evidenza come sezioni geofisiche che si intersecano planimetricamente tra loro in realtà non siano coerenti altimetricamente e come le stesse linee geosismiche non

lo siano, in quota, con il modello di forma tridimensionale della superficie. Nuovamente, la ragione di questa incoerenza è da ricercare nelle sorgenti di acquisizione, nei sistemi di riferimento e nel modello di ondulazione del geoide utilizzati da ogni strumento e per ogni elaborazione.

A fronte delle problematiche descritte, è stata sviluppata una metodologia di acquisizione ed elaborazione dei dati che permette di risolvere tutte le problematiche esposte in modo rigoroso. La metodologia tiene conto di tutti gli aspetti sopra elencati e permette di mettere in coerenza geometrica tutti i dati tra loro, siano essi derivati da tecniche geomatiche quali il laser aereo, quello terrestre, i dati fotogrammetrici o GPS, che invece da tecniche geologiche, geosismiche o di interferometria SAR terrestre. La metodologia sviluppata permette quindi di effettuare senza errori monitoraggi multitemporali, misurare variazioni geometriche locali in un sistema di riferimento reale non deformato (quindi corretto) ma allo stesso tempo globali, e conoscere ogni misura o informazione in tutti i sistemi di riferimento necessari.

Nel caso del ghiacciaio, le precisioni di posizionamento ottenute sui target con l'utilizzo di questo metodo si sono ridotte da 50-100cm a 5-6 cm, permettendo di misurare con grande precisione lo spessore di neve e ghiaccio. La stessa metodologia si applica con estrema facilità anche ad ambiti archeologici, architettonici o meccanici.



In alto: messa in coerenza dei dati geosismici derivanti dall'intersezione di più sezioni.
In basso: messa in coerenza delle sezioni con l'ausilio dei dati di foraggio.

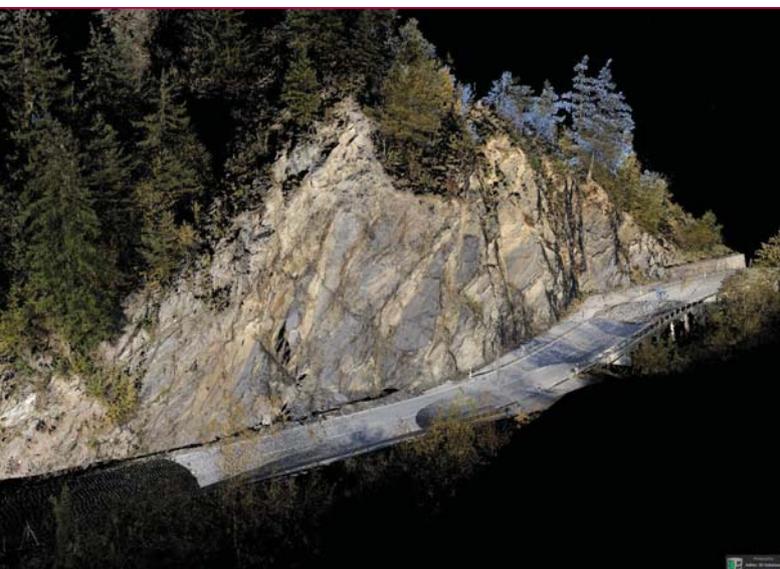
Esempio di utilizzo nel campo del monitoraggio ambientale

La metodologia descritta è stata estensivamente applicata per il CREALP, Centro di Ricerca per l’Ambiente Alpino, che ha sede a Sion in Svizzera, per il controllo di pareti rocciose e per la determinazione dei parametri geotecnici per la messa in sicurezza e lo studio della caduta massi. Di seguito si mostrano i risultati ottenuti nel monitoraggio di una parete rocciosa che si trova a Rumeling, lungo la strada che porta alla famosa località termale di Leukerbad.

La falesia è stata acquisita in tre epoche successive (2008-2009-2010) con tecnica laser scanner (Riegl VZ400) terrestre, fotogrammetrica (Canon 5D), GPS e topografica. I dati sono stati gestiti utilizzando la metodologia di integrazione rigorosa descritta, ottenendo una nuvola di punti densa, a colori reali, della falesia, un insieme di immagini solide e l’ortofoto di precisione. Ogni informazione presente nel modello è nota nei sistemi di riferimento locale non deformato, geografico, cartografico UTM WGS84 e cartografico svizzero CH1920. Il modello ottenuto è composto da circa 16.200.000 punti: ognuno di questi è noto in tutti i sistemi di riferimento in tempo reale. I dati sono stati acquisiti ed elaborati dalla società *Ad Hoc 3D Solutions*, e sono stati consegnati su una piattaforma software (di nome *Ad Hoc*) sviluppata direttamente dalla società per l’utilizzo dei dati laser.

Utilizzando il modello acquisito è possibile effettuare tutte le misurazioni necessarie per lo studio della falesia, in particolare è possibile misurare piani di fratturazione in automatico o in modo assistito direttamente dal modello per ottenere l’inclinazione, l’immersione degli stessi rispetto alla posizione geografica e gli stereogrammi di fratturazione.

I modelli sono poi stati utilizzati per il monitoraggio di superficie. Generalmente il monitoraggio di superficie avviene mediante l’acquisizione dei modelli, il loro allineamento, la creazione di una superficie e quindi il confronto tra superfici acquisite in epoche differenti. La generazione delle superfici è però un’operazione che richiede molto tempo in elaborazione e diminuisce la precisione del modello. Questo accade per ragioni legate alla modellazione ed alla capacità dei software e dei calcolatori di gestire superfici molto grandi (nel nostro caso di più di 16 milioni di triangoli). La metodologia di integrazione dati sviluppata ha consentito di sviluppare un nuovo metodo di confronto tra modelli acquisiti che utilizza direttamente le nuvole di punti. Il metodo risulta così molto più veloce e preciso,



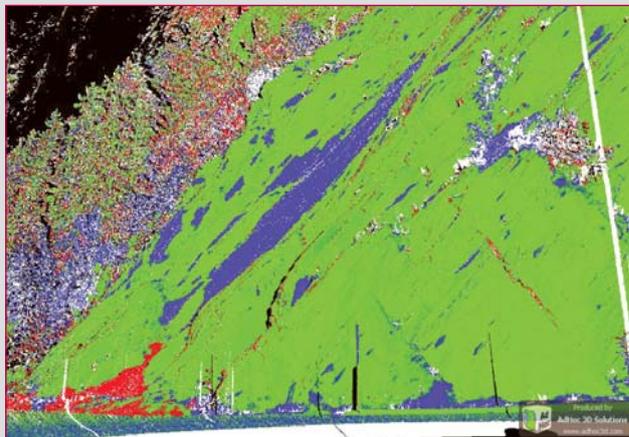
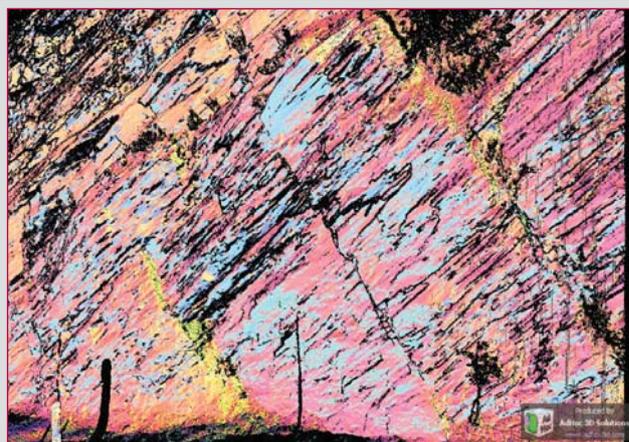
Nuvola di punti laser scanner a colori reali

in quanto non è necessario ottenere la superficie a partire dalla nuvola di punti laser scanner e sono considerati i sistemi di riferimento e le loro deformazioni.

Il risultato della procedura è una carta tridimensionale di spostamento a colori ottenuta in pochi minuti. Dalla carta tridimensionale ottenuta è possibile direttamente misurare le variazioni volumetriche visibili, in valore reale non deformato.

Integrazione dati laser scanner e dati geofisici

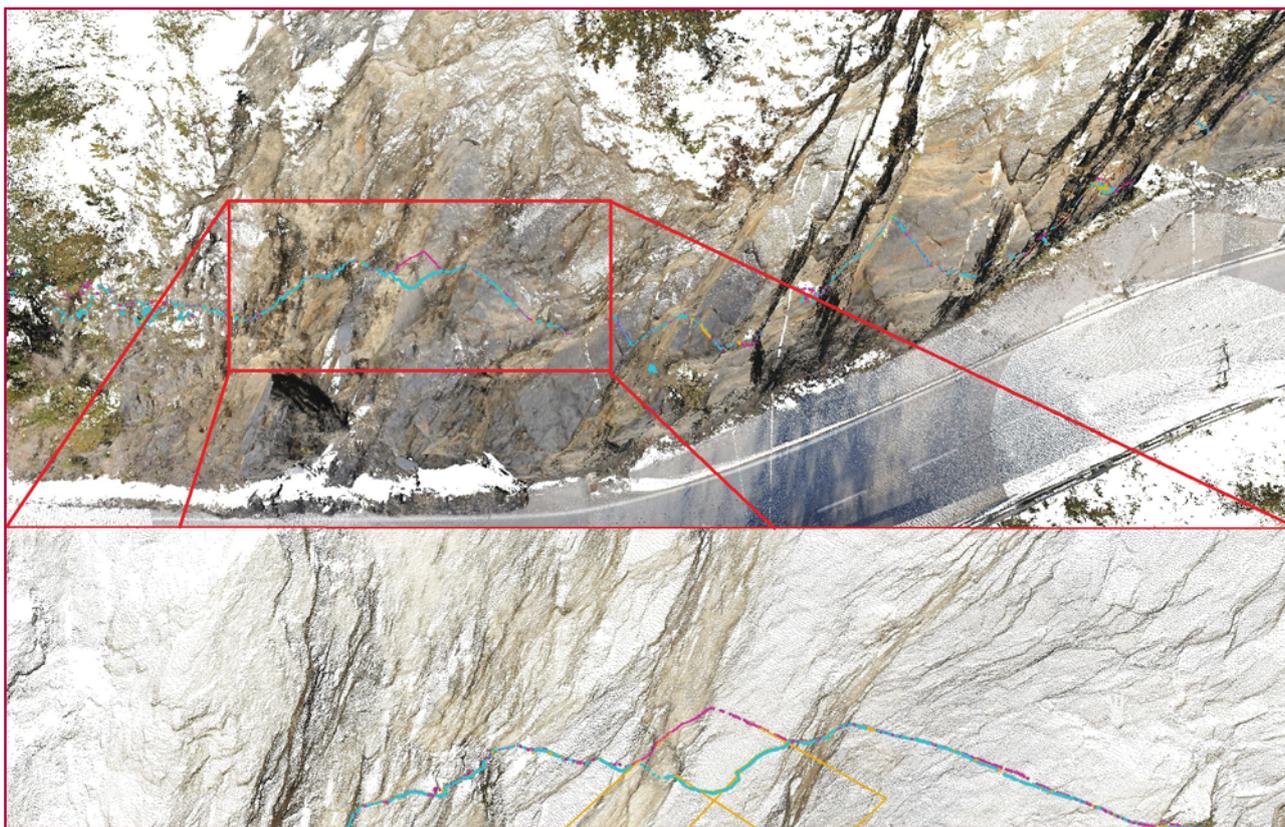
Una delle ultime integrazioni dati realizzate è quella tra dati laser scanner con le sezioni geosismiche, georadar e foraggi. Questa integrazione dati è stata sviluppata dalla società *Ad Hoc 3D Solutions* in collaborazione con il CREALP che disponeva di dati laser scanner aerei espressi nel



Nuvola di punti colorata in funzione dei valori di immersione ed inclinazione della superficie; nuvola di punti colorata in funzione delle variazioni geometriche intervenute tra due epoche di monitoraggio.

sistema di riferimento cartografico svizzero, dati geosismici di superficie e dati derivanti da campagne di foraggi. I dati geosismici ed i foraggi sono stati acquisiti utilizzando come tecnica di sostegno il GPS che serve alla loro georeferenziazione cartografica. L’insieme di questi dati serve alla modellazione geosismica tridimensionale del sottosuolo di un ghiacciaio (Bonnard) per lo studio e la determinazione del volume di ghiaccio ancora presente.

Per quanto riguarda le problematiche legate all’integrazione, sottolineate nell’introduzione di questo articolo, anche se la traccia GPS, la posizione dei foraggi ed il modello di superficie laser scanner sono coerenti da un punto di vista planimetrico, non lo sono da un punto di vista altimetrico. Inoltre, anche le precisioni di misurazione del laser



Parete rocciosa di Rumelling. Valutazione dimensionale delle variazioni geometriche intervenute tra due epoche di monitoraggio.

e del GPS sono differenti tra loro e devono essere gestite correttamente per una integrazione rigorosa dei dati. La metodologia di integrazione dati sviluppata ha permesso di far dialogare questi dati in modo corretto e realmente tridimensionale: ad esempio, la traccia geosismica non si trovava su un piano verticale perfetto, ma lungo una superficie molto complessa. Già la sola visualizzazione coerente tridimensionale dell'insieme di dati (sezioni geosismiche e foraggi) ha permesso ai geofisici di capire come alcune sezioni geofisiche necessitassero di una leggera ri-elaborazione per ottenere una modellazione corretta.

I dati sono stati elaborati e inseriti all'interno della piattaforma software ad hoc, dove, a supporto dell'integrazione, è stato sviluppato anche uno specifico *plugin*, per permettere l'utilizzo dei dati geosismici e georadar direttamente all'interno dell'ambiente tridimensionale laser scanner. Questo plugin consente di estrarre ed editare, a partire dalla sezione geosismica, linee di isovelocità, profondità, ecc. E' possibile gestire facilmente anche i dati relativi ai foraggi con indicazione del tipo di materiale trovato o delle percentuali di ghiaccio presenti. Il plugin permette inoltre di esportare tutte le informazioni derivanti da modello laser, foraggi e sezioni geofisiche in un sistema di riferimento coerente e mette quindi gli esperti di geofisica nella condizione di effettuare la modellazione geosismica del sottosuolo in maniera topograficamente corretta. Il risultato della modellazione può quindi essere reimportato all'interno dell'ambiente tridimensionale laser per la misurazione di spessori e volumi di ghiaccio.

Parole chiave

LASER SCANNER, GEOMATICA, SISTEMI DI RIFERIMENTO, INTEGRAZIONE DATI.

Abstract

Integration of data acquired from different sources

Geomatics today offers to experts from different disciplines a wide range of tools and techniques, which are used extensively as technical support for the acquisition, context and geo-referencing data coming from different investigations: geo radar, interferometry, geophysics analysis. Each technology generally provide data with different reference systems, often not directly compatible each other. This problem, often overlooked by using a classical approach, has been resolved in a rigorous way by the authors thus allowing proper integration of data of different nature.

Autori

LEANDRO BORNAZ
LEANDRO.BORNAZ@ADHOC3D.COM

FABIO DAGO
FABIO.DAGO@ADHOC3D.COM
AD HOC 3D SOLUTIONS
FRAZ. LA ROCHE 8, 11020, GRESSAN (AO)
ITALIA
WWW.ADHOC3D.COM

ERIC BARDOU
ERIC.BARDOU@CREALP.VS.CH

G. FAVRE BULLE
GUILLAUME.FAVRE.BULLE@CREALP.VS.CH

CREALP, CENTRE DE RECHERCHE POUR L'ENVIRONNEMENT ALPIN
RUE DE L'INDUSTRIE, 45
CH-1951 SION
SVIZZERA
WWW.CREALP.CH