

Supporti Cartografici

Integrazione fra rilievo aereo e terrestre per l'Autobrennero

CON L'OBIETTIVO DI DISPORRE DI UN SUPPORTO CARTOGRAFICO AGGIORNATO E UTILE ALLE ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE E DI MAPPATURA ACUSTICA, AUTOSTRADA DEL BRENNERO HA REALIZZATO UN INNOVATIVO PROGETTO DI DIGITALIZZAZIONE DEL PROPRIO TRACCIATO AUTOSTRADALE E DELLE FASCE PERTINENZIALI, COMBINANDO GLI ORTOFOTOPIANO CON I RILIEVI LASER. LE ATTIVITÀ SONO STATE SVOLTE DALL'A22 IN PARTNERSHIP CON BLOM CGR SPA E SITECO, SPECIALIZZATA NELL'INTEGRAZIONE DEI DATI OTTENUTI DAL RILIEVO AEREO CON QUELLI RILEVATI DAL LABORATORIO MOBILE AD ALTO RENDIMENTO ROAD-SCANNER.

Nell'ambito dell'elaborazione dei molteplici interventi programmati dall'Autostrada del Brennero SpA era sorta, già da tempo, l'esigenza di poter disporre di una planimetria dell'intero tracciato autostradale, che fosse di valido supporto alle attività di progettazione e di manutenzione e che supplisse alle quotidiane esigenze di acquisizione di dati topografici. Dopo attenta analisi, il gruppo di lavoro della Società ha concluso che il supporto più idoneo a soddisfare le proprie esigenze fosse costituito in un ortofotopiano digitale in scala 1:1000, combinato con un rilievo laser della zona interessata: indicativamente una strisciata di larghezza 800 m per la lunghezza totale dell'autostrada (313 km), per una superficie complessiva di circa 250 km².

L'esigenza di poter disporre del supporto in oggetto era assolutamente prioritaria, in quanto risultava indispensabile possedere una situazione aggiornata dello stato di fatto delle costruzioni e delle aree adiacenti al nastro autostradale. A servizio ultimato, gli uffici tecnici della Società hanno ora a disposizione uno strumento di lavoro dettagliato e affidabile, fondamentale per l'attività di progettazione, ma anche per valutare, per esempio, richieste di modifica alla fascia di rispetto o delle istanze di realizzazione di impianti fonoassorbenti.

La Società ha raggiunto il proprio obiettivo mediante un appalto di servizi attinenti all'ingegneria e alla consulenza tecnica di cui alla categoria 12 dell'allegato II A del D. Lgs 12 aprile 2006, n. 163. Ai sensi del comma 2 dell'articolo 20 dello stesso D. Lgs. 163/2006, gli appalti di servizi elencati nel citato allegato II A sono da affidarsi secondo le procedure ordinarie previste dal Codice stesso, ovvero, secondo la procedura aperta di cui all'articolo 55. L'operatore economico offerente le migliori condizioni è stato individuato secondo il criterio dell'offerta eco-

nomicamente più vantaggiosa, ai sensi degli articoli 83 e seguenti del più volte citato D.Lgs. n. 163/2006. È stata formulata una graduatoria in centesimi, riconoscendo fino ad un massimo di 70 punti al prezzo e di 30 punti alla qualità. Tra le offerte migliorative rispetto a quanto previsto in capitolato e che quindi hanno portato un punteggio di qualità, è stata particolarmente apprezzata la fornitura di una sequenza di filmati georeferenziati sovrapponibili a nuvole di punti acquisite da un veicolo mobile attrezzato con tecnologia di rilievo ad alto rendimento. La combinazione del doppio rilievo, aereo e da veicolo, ha fornito ad Autostrada del Brennero un mappatura molto dettagliata non solo della planimetria e altimetria stradale ma anche delle pertinenze e opere d'arte presenti sul tracciato, comprese le gallerie, ovviamente non visibili con il solo volo aereo. È risultata aggiudicataria della procedura d'appalto l'impresa Blom CGR SpA che si è avvalsa della collaborazione della ditta Siteco Informatica srl per quanto riguarda il rilievo con Mapping Mobile System Road-Scanner. Entrambe le aziende hanno un'esperienza consolidata nel settore di pertinenza: Blom CGR SpA avendo rilevato oltre 1.400 km di rete autostradale e Siteco oltre 30.000 km di strade comunali, provinciali, regionali e autostradali.

RILIEVO CON AEROMOBILE

La metodologia utilizzata si basa su due rilievi condotti in contemporanea da aeromobile, utilizzando un sistema *laser-scanner* e una camera fotogrammetrica.

Il tracciato di Autobrennero è stato suddiviso in due parti; la prima parte, dal confine fino a Nord di Bolzano, date le caratteristiche orografiche della zona, è stata ripresa utilizzando un elicottero su cui è stato installato il sistema Lidar



1

Carlo Costa
Ingegnere
Autobrennero SpA

Armando Cavazzini
Ingegnere
BLOM CGR SpA

Ernesto Ronci
Ingegnere
Siteco Informatica Srl

Topeye e una camera Rollei di medio formato ad esso abbinata; la restante parte a Sud di Bolzano fino allo svincolo con l'Autostrada del Sole, è stata rilevata con un mezzo aereo su cui sono stati installati un sistema Lidar Optech Gemini ed una camera digitale a grande formato Leica ADS40.

I rilievi sono stati realizzati in entrambi i casi a bassa quota, e dalla elaborazione successiva sono stati ottenuti un'ortofoto con risoluzione a terra di 10 cm, una serie di immagini stereoscopiche di tutta l'area utilizzate nella fase di stereorestituzione per la produzione di elaborati cartografici, la nuvola di punti *laser* con densità di circa 3 punti al metro quadrato, da cui sono stati derivati gli elaborati altimetrici finali (DTM, DEM, etc.).

Un importantissimo lavoro propedeutico al rilievo, è stata l'esecuzione del calcolo di omogeneità della rete di stazioni GPS permanenti (GRS) esistenti nella zona da rilevare, e l'analisi della rete di vertici trigonometrici determinati dall'Autostrada del Brennero utilizzati come appoggio del rilievo, previa verifica della loro omogeneità alla rete IGM95. Queste specifiche operazioni si sono rese necessarie per garantire l'omogeneità degli elaborati finali. Per garantire le precisioni richieste tutti i dati registrati durante le riprese sono stati elaborati correggendoli, in modo differenziale, utilizzando le GRS ubicate ad una distanza non superiore a 30 km dal mezzo in movimento mentre eseguiva i rilievi.

Al termine del rilievo e del processamento dei dati, sono stati consegnati ad A22 una serie di prodotti che, utilizzati in modo integrato, costituiscono un database di informazioni estremamente importante per la gestione.

In particolare va evidenziata la realizzazione di un Modello digitale del Terreno e di un Modello Digitale delle Superfici (que-

st'ultimo include anche tutti i manufatti e la vegetazione mentre nel primo questi elementi sono stati eliminati) con passo della griglia di 1 metro e un'accuratezza di 15 cm in quota, oltre a una serie di elaborati cartografici rappresentativi di tutte le strutture presenti nel sedime autostradale, e dei principali elementi esterni ad esso.

Questi ultimi elementi sono stati derivati dall'analisi integrata dei modelli stereoscopici e dalle nuvole di punti *laser* rilevati dall'aereo e, soprattutto, dal rilievo con il veicolo ad alto rendimento Road-Scanner.

In merito alla tecnologia Lidar utilizzata per il rilievo, si tratta di una tecnica molto innovativa, applicata in campo industriale da meno di un decennio; essa consiste in uno strumento, installato a bordo di un aereo o di un elicottero, che emette una serie di raggi laser; questi ultimi colpiscono gli oggetti sul terreno (edifici, campi, strade etc) e vengono riflessi nuovamente verso il sensore che è in grado di leggere il segnale di ritorno.

Negli ultimi dieci anni lo sviluppo tecnologico ha consentito di mettere a punto strumenti che con sufficiente precisione sono in grado di misurare tutti questi elementi (posizione istantanea esatta del sensore nello spazio, direzione del raggio *laser* emesso e lettura del tempo di ritorno del raggio *laser*), portando queste applicazioni ad un livello di standardizzazione e di affidabilità necessari per questa tipologia di prodotti.

Le accuratezze che oggi sono consentite con queste metodiche sono paragonabili a quelle dei tradizionali rilievi topografici di precisione e delle tradizionali cartografie a grande scala, ma offrono un vantaggio enorme legato al numero di punti (e quindi di misure) che si possono effettuare nell'unità di tempo; gli ultimi sistemi presenti sul mercato consentono di misurare oltre 100.000 impulsi al secondo, permettendo di ottenere una descrizione degli oggetti estremamente completa e precisa.

In questo rilievo sono stati misurati più di 3 punti per metro quadrato, con un accuratezza di misura in quota inferiore a 15 cm e in planimetria inferiore a 25 cm.

Dalla nuvola di punti originale, per motivi di semplificazione del dato e di maggiore gestibilità all'interno di *software* di rappresentazione e di gestione di informazioni territoriali, si deriva normalmente un modello semplificato sotto forma di grigliato regolare che mantiene gran parte dell'informazione del modello in un formato estremamente più facile da gestire.

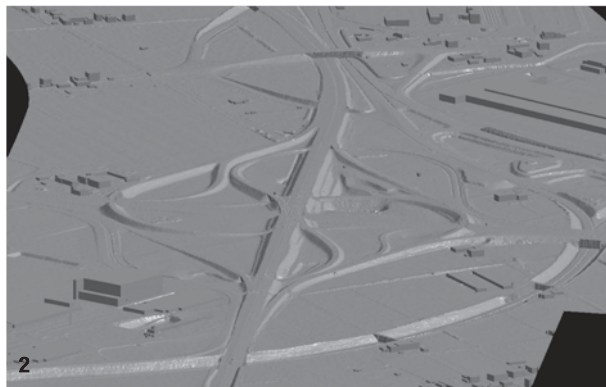
Il prodotto del rilievo Lidar è stato integrato nel tradizionale flusso di lavoro fotogrammetrico utilizzato storicamente per ottenere i prodotti di base per la descrizione territoriale e la costruzione di database geografici, che consistono nella cartografia dell'area da rilevare e nella sua rappresentazione visiva tramite l'ortofoto.

L'integrazione di tutte le tecniche offerte attualmente nel campo del rilievo aereo e stradale per la realizzazione del database finale, sfruttando al meglio le potenzialità di ciascun set di dati, è stato uno degli elementi più importanti ed innovativi del progetto; ad esempio, per quanto riguarda gli edifici, sono stati rappresentati restituendoli alla linea di gronda più esterna sfruttando le immagini stereoscopiche, e sono

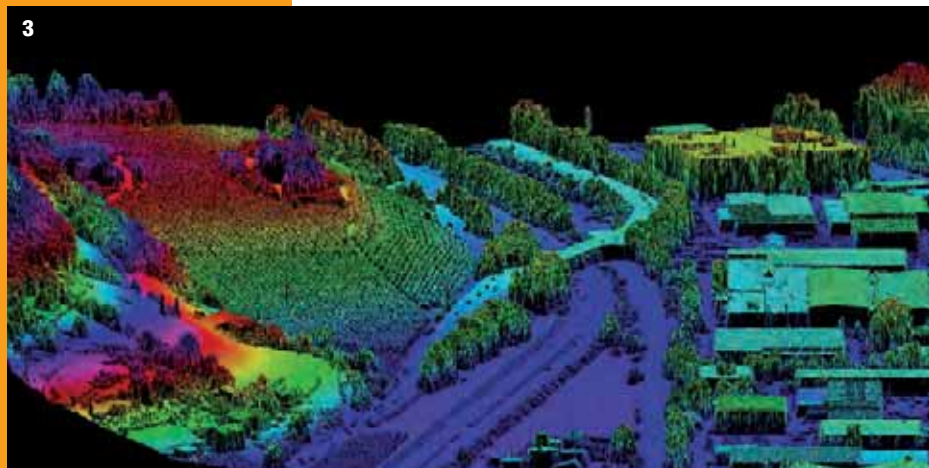
1. Il tracciato dell'A22

2. Modello digitale del terreno e delle superfici

3. Nuvola di punti ottenuta da aeromobile



2



3

stati controllati e quotati sulla nuvola dei punti Lidar secondo le prescrizioni richieste. Tutti gli altri elementi sono stati restituiti con la stessa metodologia, ma a livello della loro intersezione sul terreno (*guardrail*, barriere antirumore, recinzioni eccetera).

Un ulteriore elemento di forte vantaggio fornito dall'integrazione delle diverse tecniche, è stata la possibilità di limitare al minimo la fase di ricognizione, specialmente lungo l'asse autostradale, grazie alla visualizzazione dei filmati registrati dalle telecamere installate a bordo dell'autoveicolo, che hanno fornito in molti casi la chiave interpretativa e integrativa della restituzione.

L'operatore, oltre a controllare la corrispondenza e la corretta rappresentazione di tutti i particolari restituiti in precedenza, ha potuto integrare i particolari mancanti registrando direttamente dalle immagini ad alta risoluzione le coordinate 3D della loro posizione.

RILIEVO CON VEICOLO AD ALTO RENDIMENTO

Il rilievo dell'autostrada del Brennero è stato eseguito con il Road-Scanner, un veicolo Mobile Mapping System (MMS), cioè un Laboratorio mobile in grado di effettuare una completa ispezione di tutta l'infrastruttura e dei suoi componenti acquisendo, in modalità automatica, molte tipologie di dati:

- percorso veicolare,
- profilo longitudinale,
- immagini geo-riferite mediante riprese da 5 telecamere ogni 3-4 m,
- sezioni stradali ogni 20-40 cm rilevate con il laser-scanner elicoidale.

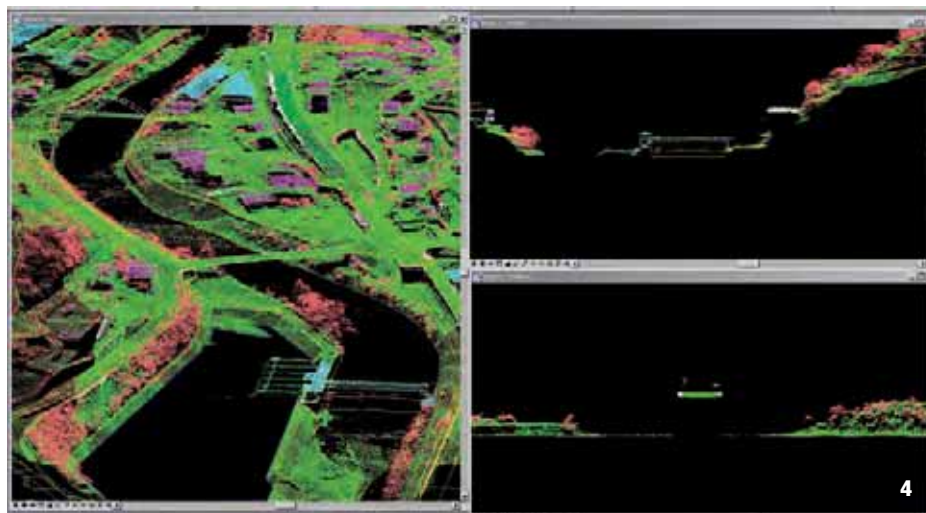
Il veicolo è stato allestito con la seguente strumentazione:

- sistema di posizionamento Landins Ixsea con giroscopi in fibra ottica e campionamento della posizione 1000 volte al secondo,
- sistema video a 5 telecamere ad alta risoluzione,
- laserScanner Faro Photon120,
- profilometro Dynatest Mark IV.

Il rilievo ad alto rendimento viene svolto con il veicolo che percorre il tracciato stradale ad una velocità idonea all'acquisizione dei dati (80 km/h) e in condizioni atmosferiche ottimali al fine di garantire una perfetta visibilità. Durante il rilievo vengono acquisite le posizioni GPS del veicolo, integrate dalle informazioni raccolte dalla piattaforma inerziale e dall'odometro. Il tracciato viene definito come la sequenza di punti in cui sono state acquisite le immagini. Viene registrata la progressiva di ogni immagine, le corrispondenti coordinate geografiche e la distanza odometrica percorsa dall'inizio strada.

Tutte le immagini e le scansioni laser prodotte da Road-Scanner sono perfettamente georeferenziate, e permettono un'ispezione dettagliata dell'infrastruttura stradale. Il *software* di consultazione dei filmati fornito a corredo dei rilievi è stato distribuito al personale di A22 per consentire di effettuare veri e propri sopralluoghi virtuali dell'autostrada, utili per numerosi scopi: dalla semplice visualizzazione dello stato di manutenzione, alla fotogrammetria di precisione.

I dati del rilievo, in particolare i filmati georiferiti e le nuvole



4



5

di punti generate dal laser scanner, sono immediatamente utilizzabili mediante un *software* di fotogrammetria che consente agli utenti di effettuare sopralluoghi virtuali e misure precise di distanze, perimetri o aree di oggetti anche limitrofi alla sede stradale. Esso sarà pertanto utilizzato anche per il rilievo di tutte le misure del Catasto Stradale, in conformità a quanto richiesto dal DM 1.6.2001.

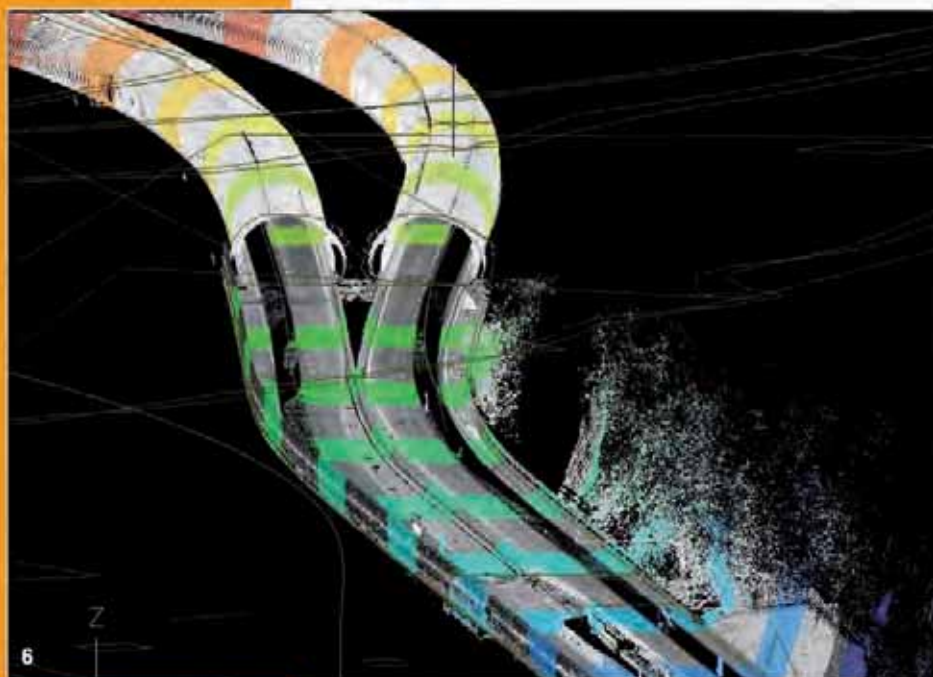
L'applicativo permette sia di rappresentare le nuvole di punti in sovrapposizione alle immagini, per una migliore interpretazione reciproca delle informazioni, sia di esportarle in formati compatibili con i più diffusi ambienti CAD e GIS. Le funzionalità di misurazione dalle immagini permettono di rilevare punti sia in modalità stereoscopica, sia selezionando direttamente le coordinate dalle nuvole di punti *laser*.

Tutti i punti rilevati vengono prodotti direttamente nel sistema di coordinate globale adottato, e sono immediatamente sovrapponibili al rilievo aereo. Questo aspetto ha notevolmente facilitato la ricognizione del rilievo aereo fornendo un'immediata chiave interpretativa dei dati Lidar.

La metodologia d'inquadramento geodetico ha utilizzato diverse stazioni permanenti, gestite da diversi enti ed alcune delle quali facenti parte della RDN, analogamente a quanto realizzato per l'inquadramento del rilievo aereo.

4. Vista prospettica e sezioni

5. Nuvole di punti da veicolo mobile sovrapposte a filmati georiferiti

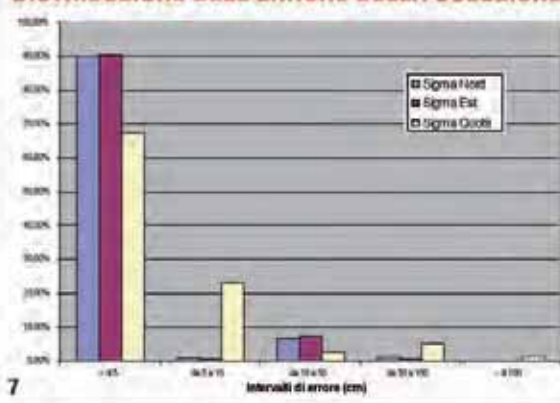


6. Nuvole di punti da veicolo mobile in galleria

7. Distribuzione dell'errore della soluzione GPS

8. Nuvola di punti da veicolo mobile sovrapposta a cartografia vettoriale

DISTRIBUZIONE DELL'ERRORE DELLA SOLUZIONE



Il rilievo è stato strutturato su sei missioni di campagna, ognuna delle quali divisa in due o tre tratte di percorrenza in modo da dividere in maniera ottimale il tracciato e limitare l'interferenza delle stazioni permanenti più lontane. Questa modalità di rilievo ha permesso di ottenere, a valle del calcolo GPS, delle traiettorie molto consistenti e affette da errori compatibili con quelli attesi da un rilievo ci-

nematico con il veicolo MMS; che si ricorda ha rilevato ad una velocità di circa 80 km orari.

La distribuzione dell'errore delle coordinate calcolate con l'approccio cinematico multibase, è stata eccellente con più del 98% delle soluzioni con un errore standard in planimetria minore di 50 cm (di cui il 90% minore di 5 cm). Ovviamente per quanto attiene alla componente altimetrica si è ottenuto un maggiore livellamento nella distribuzione dell'errore, infatti le soluzioni con sigma in quota minore di 50 cm sono il 93% del totale e quelle con sigma minore di 5 cm si attestano intorno al 67%.

Benché molto ridotte in numero, sono presenti delle soluzioni GPS con errore quadratico medio superiore al metro. Questi vertici sono localizzati perlopiù in zone problematiche dal punto di vista della soluzione GPS, come ad esempio in corrispondenza dei sottopassi nei quali il segnale GPS viene perso e recuperato in poco tempo, con un successivo ricalcolo delle ambiguità di fase. Ovviamente tali vertici sono filtrati dall'algoritmo di calcolo per l'integrazione con i dati inerziali e non influenzano negativamente la soluzione finale GPS/INS.

Valutata la stabilità della soluzione GPS si è proceduto al calcolo delle traiettorie finali GPS/INS utilizzando il software POPINS, sviluppato dalla IXSEA, il cui algoritmo di calcolo è basato sul filtro di Kalman. Il calcolo delle traiettorie percorse viene eseguito integrando le epoche GPS con i dati registrati dal sistema inerziale; questo consente di ottenere risultati ottimali, in termini di posizionamento, anche quando il segnale GPS sia degradato o addirittura assente.

A valle del calcolo di integrazione tra dati GPS e inerziali, la quasi totalità delle coordinate calcolate è caratterizzata da un errore medio inferiore ai 5 cm; inoltre i valori massimi dello scarto quadratico medio sono, rispettivamente per la componente nord est e quota, 19 cm, 17 cm e 22 cm.

Pertanto i risultati del rilievo ad alto rendimento, in termini di accuratezze, sono stati ottimali avendo raggiunto delle precisioni paragonabili a quelle del rilievo cinematico tradizionale, mantenendo allo stesso tempo una produttività molto alta di circa 100 km giornalieri.

L'INNOVAZIONE NELL'INNOVAZIONE

Come abbiamo visto entrambi i rilievi, sia da aeromobile che da veicolo ad alto rendimento, presentano caratteristiche innovative. La combinazione della camera fotogrammetrica e del *laser-scanner* sull'aeromobile fornisce contemporaneamente il Modello Digitale del Terreno e quello della Superficie per una fascia di 800 m. Analogamente la combinazione delle 5 telecamere ad alta precisione e del *laser-scanner* sul veicolo mobile, crea un modello tridimensionale ad alta precisione della superficie autostradale e di tutte le pertinenze per una fascia di 200 m.

Infine la combinazione del rilievo aereo con quello veicolare presenta numerosi vantaggi sia per il controllo reciproco dei dati raccolti ma soprattutto perché fornisce una completa rappresentazione dell'infrastruttura. Si possono così cogliere importanti risultati come ad esempio la rilevazione del Catasto Stradale ai sensi del DM 1.6.2001 e la conseguente produzione del formato GDF richiesto dalla normativa. ■

