

## **Allineamento di nuvole di punti per il city modelling con metodo topografico classico**

Costante Bonacina (\*), Giorgio Vassena (\*), Matteo Zinelli (\*)

(\*) Università degli Studi di Brescia, Via Branze 43 - 25123 Brescia, (costante.bonacina, giorgio.vassena)@ing.unibs.it

**Key Words:** Laser scanner, city modelling, 3D model

### **Riassunto**

L'impiego di sistemi GPS/INS su mezzi mobili strumentati per il 3D city modelling è sempre più diffuso come tecnica di rilevamento avanzato. Tali sistemi offrono una buona versatilità, pur con qualche problema legato ai canyon urbani e alla deriva dei sistemi inerziali.

In ambiente urbano pare altresì profittevole l'impiego di strumentazione topografica classica per il rilevamento della posizione del mezzo mobile nelle fasi di acquisizione del dato 3D e di colore. Tale tecnica, di semplice impiego, garantisce una buona operatività su scala urbana, e precisioni di allineamento paragonabili con quelle delle tecniche consolidate.

L'uso di strumentazione comunemente disponibile presso gli operatori rende inoltre il metodo proposto economicamente vantaggioso, a parità di risultati ottenuti.

### **Abstract**

*The use of GPS/INS systems on mobile instrumental equipment for 3D city modelling is more and more widespread as advanced technology of survey. These systems offer good versatility, even if with some problems linked to urban canyon and to the drift of inertial systems.*

*In urban contest it seems also profitable the employment of classical topographic equipment for surveying of position of mobile mean in the 3D and colour data acquisition phase. This technology, easy to use, guarantees a good efficacy on urban scale and accuracies of alignment comparable to those of consolidated technology. The employment of equipment commonly available from operators makes the method proposed economically favourable, results being equal.*

### **Introduzione**

Il problema del city modelling parrebbe oggi sostanzialmente risolto grazie alle proposte presenti sul mercato – in realtà poche –, che promettono il rilevamento delle geometrie circostanti i mezzi in moto; le accuratezze dichiarate, per quanto riguarda il modello finale, sono ottenibili solo da congetture sulle combinazioni dei risultati attesi dai singoli sensori impiegati. L'accessibilità alle soluzioni citate è peraltro piuttosto difficoltosa, a causa dei costi elevatissimi della strumentazione impiegata.

L'approccio proposto con il presente contributo potrebbe banalmente definirsi “topografico”, e introduce sostanziali innovazioni rispetto alle tecniche classiche del city modelling, proponendo un ritorno all'impiego degli strumenti della topografia tradizionale, come la stazione totale e il prisma topografico. La misura di angoli e distanze, oltre a rendere le operazioni di rilevamento rapide, ridondanti e quindi controllabili, rende accessibile il rilievo 3D dei centri urbani ad un numero maggiore di utenti proponendo l'integrazione di tecniche di provata efficacia e di sensori ampiamente diffusi.

Nel merito, il lavoro illustra la realizzazione e il primo impiego di una piattaforma per rilevamento attrezzata con un laser a scansione a misura di fase ed un set di prismi topografici di alta precisione.

La piattaforma permette l'alloggiamento del laser scanner e dei prismi in posizione ed assetto relativo costanti, tali da permettere, previa calibrazione, il calcolo "inverso" di posizione ed assetto del laser-scanner a partire dalla posizione di almeno 3 prismi.

L'impiego combinato della piattaforma e di un mezzo mobile disposto ad accoglierla in posizione sopraelevata, permette di condurre produttive sessioni di rilevamento in ambito urbano, in modalità "stop&go", al fine di ottenere direttamente in campagna un modello a nuvole di punti colorate. Il risultato è perseguibile, negli intenti degli autori, "inseguendo" il mezzo all'interno della città con una struttura topografica di appoggio piuttosto lasca, quale una semplice poligonale, oppure alternando le informazioni "topografiche" con quelle da scansione per l'unione a vincolo misto topografico-geometrico.

#### **La piattaforma per il city modelling**

La piastra, costruita in lega leggera, ha il compito di sorreggere i sensori impiegati in campagna e di garantire una configurazione geometrica costante nel tempo.

Nel caso in specie, è risultato vantaggioso l'impiego di profilati standard in alluminio a sostegno di una piastra centrale in acciaio su cui montare, in posizione rialzata, il laser-scanner.

I profilati standard permettono di comporre un disegno che garantisce una geometria regolare e la distribuzione omogenea dei prismi topografici attorno al laser-scanner. Ciò al fine di ottenere la massima visibilità dei prismi dalla posizione fissa della stazione totale rispetto al mezzo in movimento. Altri aspetti da considerare nella fase di progettazione della piattaforma sono i seguenti:

- . necessità di montare il laser-scanner, una volta giunti sul luogo del rilievo, in modo veloce e sicuro;
- . peso complessivo della strumentazione non troppo elevato;
- . elevazione verticale del posizione del laser rispetto al mezzo mobile, in modo da ridurre al minimo l'interferenza del mezzo col dato rilevato;

Il fissaggio dei 4 prismi riflettenti avviene per mezzo di agganci standard automatici materializzati alle estremità di due sbracci trasversali, pure realizzati con profilati standard vincolati ai profilati principali di sostegno.



*Figura 1 - piattaforma montata sul tetto del mezzo mobile*

La piattaforma può essere equipaggiata con ricevitori GNSS, per i quali sono previsti 4 alloggiamenti (fissaggio 5/8" per antenne), la batteria dello strumento è fissata tramite una vite da 5/8" alla base della piastra, in questa configurazione è possibile alimentare facilmente lo strumento ed effettuare il pilotaggio del laser-scanner direttamente dal mezzo, direttamente da parte del pilota del mezzo stesso.

### Calibrazione della piattaforma per il rilevamento

Lo scopo di ottenere rapidamente un accurato allineamento tra le nuvole di punti rilevate può essere raggiunto solo conoscendo la variazione di posizione ed assetto del laser a scansione durante gli spostamenti tra le postazioni di scansione. Tali variazioni sono convenientemente descritte per mezzo di 6 parametri, secondo la classica operazione di rototraslazione nello spazio.

Facendo uso però, per la determinazione delle rototraslazioni, di informazioni riferite solamente ai prismi topografici, è necessario conoscere la posizione relativa e l'assetto, invarianti nel tempo e nello spazio, del laser-scanner rispetto ai prismi stessi o, all'inverso, conoscere la posizione dei 4 prismi nel sistema di riferimento materializzato intrinsecamente da laser-scanner.

Questo secondo approccio, seppur meno diretto e intuitivo, si conforma a quello adottato dalla maggior parte dei sensori laser e dei software di trattamento dati da laser-scanner, i quali – in assenza di altre informazioni – posizionano ogni set di dati riferendolo al medesimo zero.

La procedura di calibrazione proposta permette quindi la determinazione della posizione di ciascun prisma (A, B, C, D) nel sistema di riferimento materializzato dal laser, e l'obiettivo è raggiunto riprendendo una scena *indoor* opportunamente attrezzata con target cartacei di riferimento, la cui posizione viene determinata, in modo indipendente, dal laser scanner e dalla stazione totale nel sistema di riferimento dalla stessa intrinsecamente materializzato dopo la messa in stazione; la calibrazione si compie determinando, per mezzo della stazione totale, anche la posizione dei 4 prismi montati sulla piastra.

Le terne di coordinate dei punti omologhi (i target), acquisite in numero ridondante, permettono la determinazione, con stima ai minimi quadrati, dei parametri di rototraslazione per il passaggio tra i due sistemi di riferimento cartesiano.

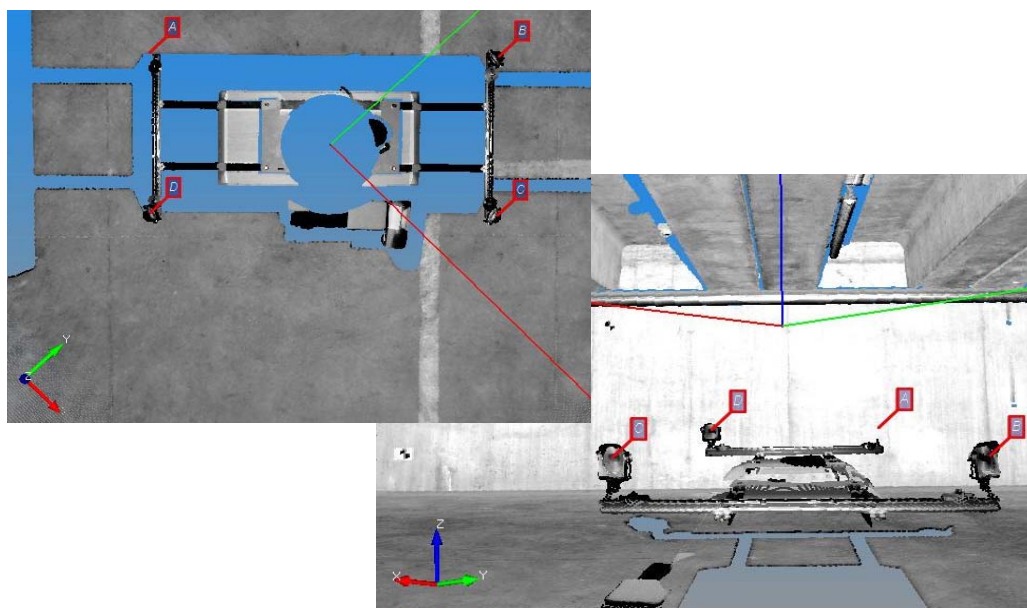


Figura 2 - nuvola di punti della piastra e sistema di riferimento intrinseco del laser

Prima di procedere alla determinazione delle coordinate dei target di riferimento sulla nuvola di punti, viene effettuata un'operazione di filtraggio per eliminare il tipico "rumore" del dato laser. In assenza di un dato più risoluto è necessario determinare le coordinate cercate per interpolazione tra i punti posti in prossimità del centro target dato che, come è noto, il laser-scanner non permette di rilevare punti prescelti.

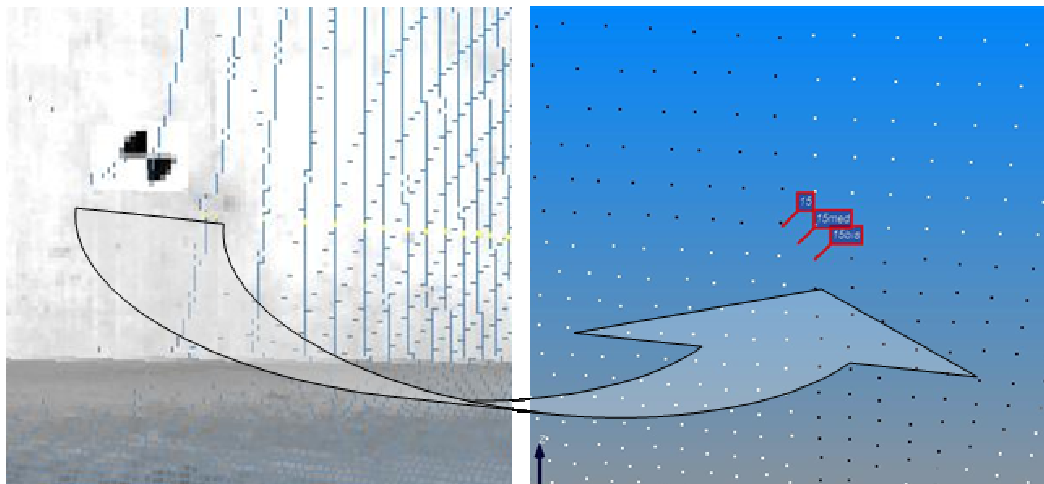


Figura 3 - determinazione del centro target nel SDR laser

Il problema inverso della rototraslazione nello spazio viene risolto in forma analitica (Horn, 1987), assumendo fisse le coordinate nel SDR laser e mobili quelle del SDR “topografico”; il risultato –la matrice omogenea- è il seguente:

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| 0,965589 | 0,26003  | 0,004641 | 2,099569 |
| -0,26005 | 0,965582 | 0,004887 | -5,08339 |
| -0,00321 | -0,00593 | 0,999977 | 0,30031  |
| 0        | 0        | 0        | 1        |

Si noti che il fattore di scala, non forzato nel calcolo, risulta esattamente pari all’unità, a dimostrare una buona qualità delle misure. L’errore medio (vettore 3D) di riposizionamento dei punti è subcentimetrico, mediamente compreso tra i 4 e i 7 mm.

Le coordinate dei prismi nel “sistema piattaforma” (fig. 3) sono le seguenti:

|   | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  |
|---|--------|--------|--------|
| A | -1,095 | -0,359 | -0,492 |
| B | 0,277  | 1,042  | -0,502 |
| C | 0,962  | 0,373  | -0,498 |
| D | -0,409 | -1,028 | -0,497 |

Figura 4 - coordinate dei prismi nel SDR laser

Conclusa la fase di calibrazione si è proceduto a testare il funzionamento del sistema applicato ad un caso di studio in ambito urbano.

#### Caso di studio: risultati

Al fine di testare la produttività del mezzo strumentato e la bontà della calibrazione effettuata in laboratorio si è condotta una sessione di rilevamento all’interno di una cortina di fabbricati.

Il controllo sui risultati è effettuato, anche in questo caso, disponendo dei target cartacei sugli edifici oggetto del rilievo e rilevando la loro posizione, oltre che con il laser-scanner, anche con la stazione totale.

Gli strumenti impiegati per il test, nella configurazione standard della piattaforma, sono i seguenti:

- Automezzo: Fiat Multipla
- Piattaforma “TopoCityModelling”
- Laserscanner CAM2 Faro Photon80
  - . Risoluzione verticale:  $0.009^\circ$  (40.000 3D-Pixel a  $360^\circ$ )
  - . Risoluzione orizzontale:  $0.00076^\circ$  (470.000 3D-Pixel a  $360^\circ$ )
  - . Risoluzione angolare (hor./vert.):  $\pm 0.009^\circ$
  - . Velocità massima di scansione sull'asse verticale: 2880 rpm
  - . Divergenza del raggio: 0.16 mrad ( $0.009^\circ$ )
  - . Diametro del raggio all'uscita: 3.3 mm, rotondo
- Stazione totale Leica TCA 2003
  - . Precisione di misura angolare di  $0.5''$  (0.15mgon) (ISO 17123-3)
  - . Precisione di misura della distanza 1mm+1ppm (deviazione standard, ISO 17123-4)
- 4 prismi Leica GPH1P

Sono stati effettuati due stazionamenti in centramento forzato con la stazione totale, per la misura della posizione dei target cartacei e l'inseguimento dei prismi (determinazione della posizione di ciascun prisma in ognuna delle posizioni di stop del mezzo mobile).

Il mezzo ha operato in modalità “stop&go”, e ha richiesto la presenza di due operatori, uno per il pilotaggio del mezzo mobile e uno per le operazioni topografiche di supporto. E' stato rilevato un tratto con sviluppo longitudinale pari a circa 200 metri, impiegando circa 50 minuti per 9 scansioni (il rapporto scansioni/metro è elevato a causa dell'articolazione planimetrica del tratto rilevato).

I target sono stati misurati da entrambe le posizioni con la stazione totale al fine di garantire una maggior precisione, considerabile di un ordine di grandezza superiore a quella ottenibile con il laser-scanner.



Figura 5 - Mezzo mobile in azione

Conclusa la fase di acquisizione, il processamento dei dati prevede la compensazione dei dati celerimetrici, ove necessario, per ottenere le coordinate, nel sistema di riferimento “topografico” e la rototraslazione delle nuvole di punti in un modello unitario.

Come accennato in precedenza, l'approccio più conveniente per l'impiego dei software di trattamento dati laser, prevede che l'allineamento avvenga in due fasi:

1. calcolo della matrice di rototraslazione per il passaggio dal sistema di riferimento topografico a quello materializzato da laser nel primo stazionamento della campagna di rilevamento (tutte le coordinate misurate sono ora note in tale SDR);

2. determinazione delle  $n-1$  matrici di rototraslazione ( $n$  è il numero di nuvole acquisite) per l'allineamento delle nuvole da 2 a  $n$  con la prima nuvola di punti, che funge da riferimento.

Il procedimento indicato è scomposto in due fasi per ragioni pratiche legate agli strumenti software impiegati, ma può essere facilmente implementato in una *routine* che esegua le operazioni in maniera automatica.

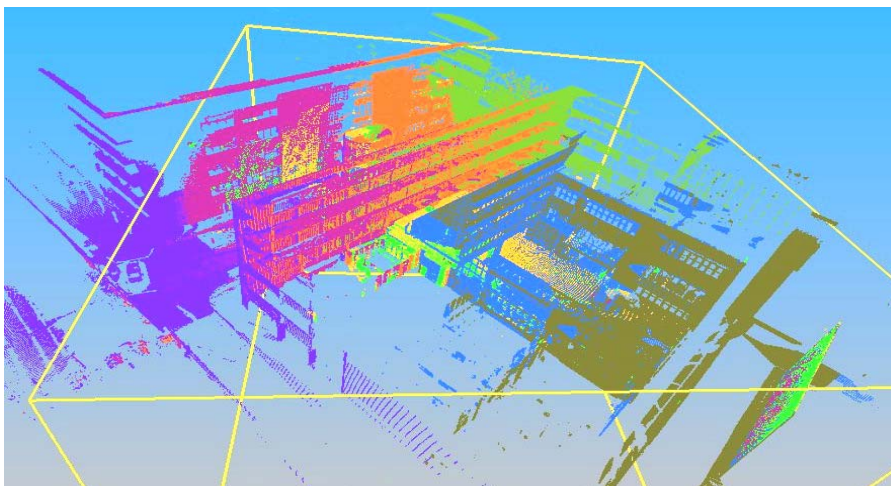


Figura 6 - allineamento delle nuvole, distinte per colore

Il controllo sui risultati ottenuti è fornito dal confronto tra le coordinate dei 4 target cartacei ottenute in modo indipendente dalle misure topografiche e laser, e riportate nel medesimo SDR.

|        | X (m)  | Y (m)   | Z (m)  | $\Delta$ (m) |     | X (m)  | Y (m)   | Z (m)  |
|--------|--------|---------|--------|--------------|-----|--------|---------|--------|
| 1Laser | 38,805 | -19,267 | -1,761 | 0,048        | 1ST | 38,844 | -19,284 | -1,738 |
| 2Laser | 10,414 | -69,073 | -1,825 | 0,046        | 2ST | 10,379 | -69,047 | -1,81  |
| 3Laser | 22,812 | -3,696  | -1,185 | 0,023        | 3ST | 22,832 | -3,684  | -1,187 |
| 4Laser | 35,66  | -17,759 | 1,606  | 0,024        | 4ST | 35,682 | -17,769 | 1,607  |

Figura 7 - Risultati del controllo di accuratezza

I vettori scostamento si attestano in media attorno ai 3 cm, tale valore non è sufficiente ad escludere l'ulteriore elaborazione per mezzo dell'algoritmo ICP ma è accettabile come esito di un pre-allineamento. I risultati sono altresì da considerare come "preliminari" in quanto è plausibile che si possa ottenere un notevole incremento di qualità operando in modo più fine nella calibrazione della piattaforma e procedendo ad una scansione maggiormente risolta dei target in campagna.

#### Riferimenti bibliografici

Horn B.K.P. (1987), "Closed Form Solutions of Absolute Orientation Using Unit Quaternions," *J. the Optical Soc. Am-A*, vol. 4, no. 4, pp. 629-642.

Huising, E. J., Pereira, L. M. G. (1998). "Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications". *ISPRS J. Photogrammetry.*, 53 (5), 245 - 261.

Ingensand, H., A. Ryf, and T. Schulz (2003), "Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning". *Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques*, Zurich.