

Mappatura 3D del torrente Aposa

Fabio Negroni, Gualtiero Parmeggiani

Collegio Provinciale Geometri e G.L. di Bologna, Commissione Topografia e Geomatica
40131 Via della Beverara 9, Bologna, t.051235626
email: fabio.negroni@collegiogeometri.bo.it, gualtiero.parmeggiani@collegiogeometri.bo.it

Riassunto

Un torrente sotterraneo che attraversa il cuore della città di BOLOGNA necessita di essere completamente mappato, l'Aposa. Quale soluzione adottare per ottenere una base dati tridimensionale, facilmente aggiornabile in futuro e che consenta una esplorazione virtuale dei luoghi? Il lavoro svolto analizza alcune tra le migliori tecnologie disponibili per l'acquisizione 3D.

Abstract

An underground canal crossing the heart of the BOLOGNA city needs to be completely mapped. What is the best solution to get three-dimensional data that can be easily updated in the future and allows a virtual exploration of sites? This paper analyzes some of the best available 3D acquisition technologies.

Introduzione

Il torrente Aposa è l'unico corso d'acqua che naturalmente attraversa il centro storico di Bologna. Della lunghezza di circa 7,5 Km, correva a cielo aperto per l'intero suo tragitto già durante il medioevo. L'espansione della città richiedeva nuovi spazi e diversi Bolognesi ebbero la concessione di coprire il corso d'acqua con volte in laterizio su cui edificare i nuovi edifici. Nei secoli seguenti il corso d'acqua è stato sempre più oggetto di tombamento fino a essere completamente celato alla vista nel tratto cittadino. Oggi, dopo essere stato lo scarico fognario di parte della città per diversi secoli, a seguito di numerosi interventi di bonifica e riqualificazione, è stato restaurato in alcuni tratti. Negli anni '90 tutti gli scarichi fognari sono stati intercettati e convogliati nel nuovo sistema fognario dinamico che corre ai lati del letto di magra. Il "nuovo" ambiente sotterraneo è stato quindi reso visitabile, a cittadini e turisti con tour guidati, per un breve tratto caratteristico sotto il cuore della città. La complessità della gestione, che coinvolge diversi enti, dalla tutela delle acque meteoriche alla promozione turistica, dalla conservazione storico/archeologica dei tratti "monumentali" alla complessa gestione dei reflui cittadini ha portato per necessità a diverse basi dati non allineate tra loro e non sempre aggiornate. Le odierne inderogabili valutazioni legate alla sicurezza statica, dei visitatori, del personale addetto alle manutenzioni, ambientale, etc..., hanno reso quindi necessario l'acquisizione di una base geometrica certa e aggiornata sui cui fondare tutte le ulteriori analisi.

Si potranno ad esempio estrarre le informazioni riguardanti le strutture portanti (colonne, volte, archi, travi, etc..) oppure indentificare

tridimensionalmente le immissioni di acque meteoriche di superficie e gli scarichi fognari (passati e nuovi).

Il Collegio Provinciale Geometri e G.L. di Bologna ha stipulato una convenzione con il Comune di Bologna in sinergia con l'Associazione Amici delle vie d'acqua e dei sotterranei di Bologna per la valutazione delle metodologie più idonee alla mappatura 3d di un tratto campione del torrente sotterraneo compreso tra Piazza San Martino e Piazza Minghetti per una lunghezza di circa 550 metri.

Il percorso del torrente sotterraneo ha caratteristiche differenti man mano ci si addentra. Si passa da volte e pilastri in laterizio a blocchi di selenite per finire a travi e solai in cemento armato. E' molto variabile anche il livello dell'acqua che normalmente resta nella cunetta di magra ma in alcuni tratti, a causa dei detriti e delle precipitazioni, raggiunge anche i 40 cm. In ultimo il sistema di illuminazione interna, in fase di manutenzione, rende i tratti a fasi alterne da ben illuminati a completamente oscuri. Il passato utilizzo come condotto fognario della città ha reso necessario la presenza di apposito personale per il controllo degli accessi/uscite che sono state lasciate aperte e transennate durante le fasi del rilievo per consentire un'adeguata ventilazione dei luoghi e garantire una rapida via di fuga in caso di emergenza.

Dopo l'analisi delle tecnologie disponibili si è valutato che i risultati cercati si sarebbero potuti ottenere attraverso l'utilizzo di laser scanner.

Operazioni di rilievo

Si è provato a valutare tutte le diverse declinazioni della tecnologia laser scanner, dagli strumenti a tempo di volo a quelli a differenza di fase, dai laser scanner terrestri alle versioni *mobile*. Sono state quindi invitate a intervenire le ditte che potevano offrire le diverse tecnologie disponibili sul mercato.

La prima fase dei lavori si è occupata della materializzazione dei capisaldi plano altimetrici sotterranei e di superficie. Si è proceduto alla monumentazione di chiodi topografici con rondella identificativa e target a scacchiera lungo tutto il percorso sotterraneo, compresi i riferimenti di superficie nelle due piazze iniziali e terminali del percorso in esame. (Eseguita dai componenti della Commissione Topografia e Geomatica).



Figura 1 - Control points a terra e a parete

La seconda fase ha interessato le operazioni di georeferenziazione nel sistema di riferimento nazionale attraverso osservazioni *gnss* di tipo statico, con

ricevitori a doppia frequenza Gps+Glonass, collegate alla rete di stazioni di riferimento della Fondazione Geometri Emilia Romagna. Sono stati rilevati quattro vertici con osservazioni di circa 2h e campionamento ai 30 sec. (Eseguita dai componenti della Commissione Topografia e Geomatica).



Figura 2 – Osservazioni GNSS per la rete di inquadramento

La terza fase ha collegato, mediante poligonale di superficie e sotterranea, la maglia dei caposaldi e target alla rete di riferimento principale al fine di ottenere tutti i control points di supporto alle operazioni di mappatura 3d nel medesimo sistema di riferimento. Le operazioni sono state eseguite con total station. (Eseguita dai componenti della Commissione Topografia e Geomatica).



Figura 3 – Operazioni di poligonazione di superficie e in sotterranea

La quarta fase, non meno importante, ha interessato le operazioni di calcolo e compensazione dei dati precedentemente raccolti. I report finali di compensazione hanno fornito risultati ampiamente in tolleranza e molto soddisfacenti, tenuto conto delle problematiche incontrate durante l'esecuzione dei rilievi:

Poligonale di superficie -> eseguita lungo le vie del centro storico affollato

Poligonale sotterranea -> eseguita in condizioni di scarsa/assente luminosità e presenza di acqua controcorrente a tratti.

Da questo calcolo si è estrapolato, per comodità di calcolo, il sistema di coordinate locale ridotto a supporto delle elaborazioni laser scanner.

(Eseguita dai componenti della Commissione Topografia e Geomatica).

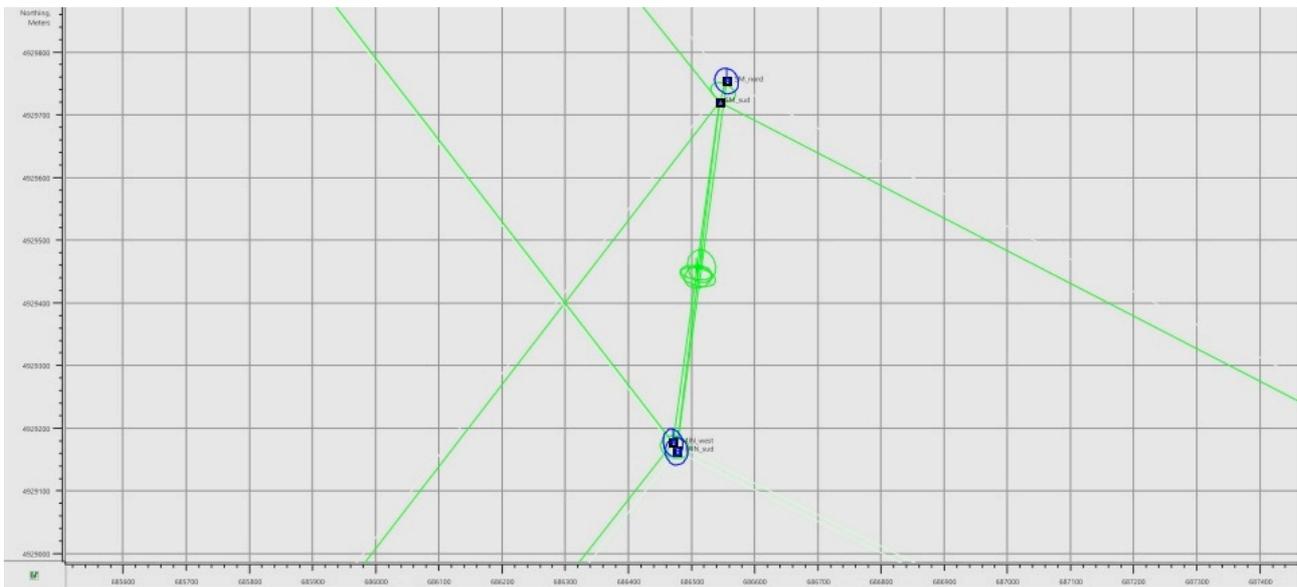


Figura 4 - Schema della rete di riferimento

Dopo un periodo di pianificazione delle campagne di acquisizione si sono susseguite nell'arco di alcuni mesi le operazioni di misura con le diverse tecnologie.

Le ditte invitate hanno autonomamente scelto la strumentazione più adatta per la mappatura 3d. Ciò ha portato a vedere utilizzare durante questa sperimentazione sia strumentazione mobile laser scanner, scopo del test, sia strumentazione laser scanner terrestre. La nostra richiesta era di fornire un modello 3d del tratto in esame e ove possibile integrare le informazioni spaziali con i dati cromatici.

La strumentazione utilizzata è stata la seguente (tipologia di *control points* utilizzata):

Topcon GLS-2000 (chiodi a terra)

Zoller + Fröhlich 5010x (scacchiere a parete)

Leica P30 + Ntech iSTAR 360 (chiodi a terra)

Gexcel Heron AC-1 (chiodi a terra, rilevati con sfere)

3Dtarget Scanfly backpack

Trimble Timms (chiodi a terra)

Analizziamo ora le strumentazioni e i primi risultati forniti suddividendole in due gruppi in base alla diversa tipologia di scanner, terrestre e mobile.

Laser scanner terrestre

Gli strumenti che ci sono stati portati hanno eseguito egregiamente i compiti richiesti anche se con tempistica e qualità differente.

Il Topcon GLS-2000 (120000pps) ha operato in modalità topografica ma ha sofferto di scarsa velocità nelle operazioni di rilievo. Inoltre la fotocamera interna non ha reso possibile le acquisizioni del colore entro livelli di accettabilità, vittima delle condizioni di scarsa luminosità non correttamente compensate dall'esposimetro interno. Degne di nota le prestazioni ottenute dall'utilizzo della camera esterna Ntech iSTAR 360 dotata di *hdr* in accoppiata al solido e veloce Leica P30 (1000000pps) nelle condizioni fotografiche limite del tratto sotterraneo. L'utilizzo delle funzioni topografiche per l'esecuzione del rilievo ha consentito una notevole velocità e un'immediata verifica qualitativa degli scarti sugli allineamenti.

E' stata molto apprezzata anche la possibilità di registrare *on the fly* direttamente in campagna le scansioni acquisite con lo Z+F 5010x (1000000pps) dotato di sw Z+F Scout su tablet in collegamento wireless con lo scanner. Questo ha consentito di valutare on-site eventuali problemi di allineamento C2C. Non sono state acquisite le informazioni cromatiche per problemi logistici.



Figura 5 - TLS durante le fasi del rilievo

Mobile mapping system

Il grande assente dalla scena è stato il Leica Pegasus 2 impegnato in altri fronti e indisponibile al momento dell'esecuzione dei rilievi.

Il sistema Heron AC-1 di Gexcel srl, strumentazione portata da Topcon Italia, basato sul sensore Velodyne HDL-32E (700000pps) ha dimostrato una notevole elasticità operativa oltre ad un'estrema velocità di acquisizione. Il sistema ha usufruito dei control points materializzati a terra sfruttando dei target sferici per l'acquisizione.

Lo ScanFly *backpack* di 3Dtarget srl, alla sua prima uscita pubblica essendo ancora in fase terminale di sviluppo al momento del rilievo, basato sul sensore Velodyne VLP-16 da (300000pps) ha operato in maniera rapida e precisa senza

problemi. Ci auguriamo di poterlo testare nuovamente a prodotto finito. Entrambe precedenti soluzioni *mms backpack* non erano dotate di fotocamere per l'acquisizione fotografica. Con queste soluzioni *mms*, vista la rapidità di esecuzione consentita sono stati eseguiti i rilievi della parte sotterranea e di quella in superficie.

In ultimo abbiamo testato il sistema *mms* di Trimble, il TIMMS, che accoppia un *TLS* (basato su Faro Focus da 1000000pps) a un sistema di posizionamento in tempo reale carrellato con fotocamera 360°. Purtroppo non ci è stato possibile eseguire il rilievo sotterraneo per problemi tecnici al sistema automatizzato degli accessi, abbiamo quindi acquisito la parte della città in superficie che "costeggia" e ripercorre il torrente sottostante. Lo strumento si è dimostrato, dopo l'inizializzazione, abbastanza rapido (essendo nato per rilievi indoor) anche se meno maneggevole delle soluzioni *backpack*. Ha utilizzato i control points di superficie opportunamente raffittiti per il controllo della deriva e acquisito le immagini panoramiche a colori.

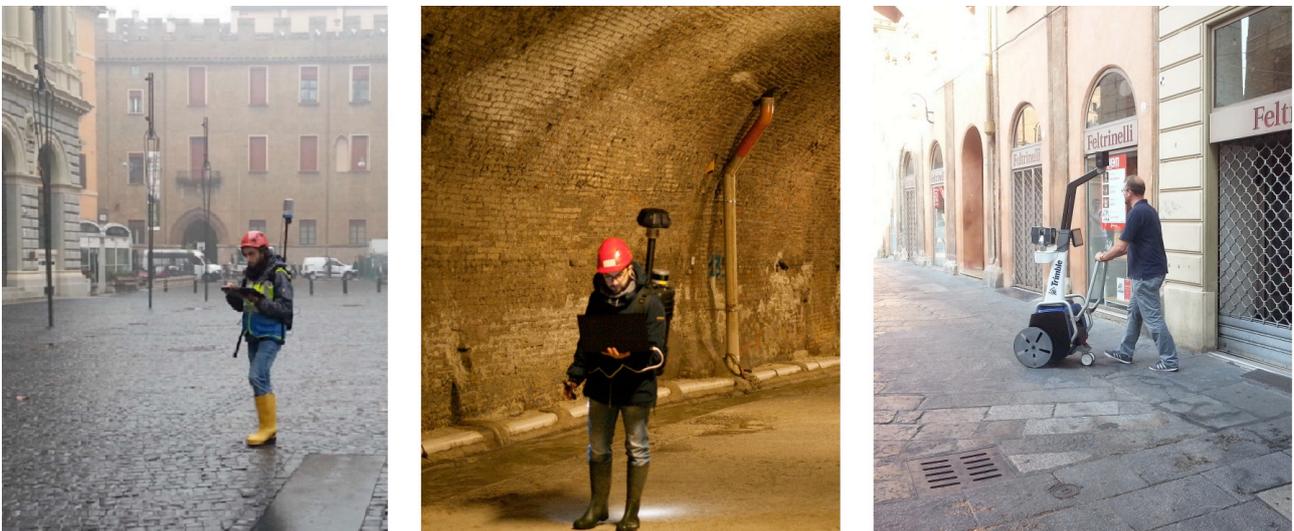


Figura 6 – MMS durante le fasi del rilievo

Risultati preliminari

Tutti gli strumenti utilizzati hanno eseguito egregiamente i compiti richiesti anche se con tempistiche differenti. Al momento ci sono stati forniti solo parte dei dati acquisiti in attesa delle elaborazioni complete. Da questi primi campioni si riesce ugualmente a notare, come intuibile, una più dettagliata acquisizione della scena da parte degli scanner terrestri anche se il sistema *mms* "ibrido" TIMMS unisce la praticità di un sistema mobile alla definizione di un laser scanner terrestre.

Conclusioni

I sistemi *mobile*, qui utilizzati in configurazione *backpack*, sono sicuramente la scelta giusta per mappare tridimensionalmente in tempi rapidi luoghi come il torrente Aposa. La vera differenza tra i sistemi *mobile*, oltre alla sensoristica differente, viene dal sistema di controllo *on-site* e dal software che li accompagna per la successiva elaborazione dei dati.

I laser scanner terrestri si sono difesi molto egregiamente ma un ambiente particolarmente strutturato come l'Aposa sotterraneo ha mostrato i limiti di un

sistema di acquisizione basato su treppiedi. I *tls* offrono un maggiore dettaglio a discapito di tempi di acquisizione superiori anche se alcune tra le soluzioni utilizzate iniziano ad ridurre questo *gap* con procedure automatizzate *on-site*. Una volta ricevuti i dati definitivi potremo valutare quale soluzione offrirà i migliori risultati costi/benefici ovvero tempistica/risoluzione/qualità in modo da proporre al Comune di Bologna la metodologia più appropriata per questo tipo di rilievo.

Ringraziamenti

Il progetto è stato reso possibile dalla disponibilità dimostrata da diversi attori:

- Comune di Bologna
- Associazione Amici delle vie d'acqua e dei sotterranei di Bologna
- Topcon Positioning Italy srl
- Gexcel srl
- Microgeo srl per la strumentazione Z+F
- 3d Target srl
- Leica Geosystems spa
- Trimble by Spektra srl

Il Collegio Provinciale Geometri e G.L. di Bologna rivolge un sentito ringraziamento per il supporto fornito e l'impegno profuso a tutti coloro che hanno collaborato alla riuscita della sperimentazione.

