

## **Monitoraggio e verifica costruttiva (as built) di grattacieli e strutture di ingegneria civile a prevalente sviluppo verticale**

Giorgio Vassena (\*), Marco Fiocco (\*\*), Marco Campanella (\*\*), Emilio Colombo (\*\*\*),  
Matteo Sgrenzaroli (\*)

(\*) Università degli Studi di Brescia, Dipartimento DICATA, Via Branze, 32  
25123 Brescia - giorgio.vassena@unibs.it  
(\*\*) Gexcel srl – www.gexcel.it  
(\*\*\*) Siberg srl – ww.siberg.it

### **Premessa**

La maturazione dell'approccio di misura tridimensionale tramite laser scanner, è dimostrata dalla sempre maggiore diffusione di tale tecnologia in settori diversi dal classico approccio topografico. L'articolo descrive un classico sviluppo di una applicazione "verticale", che dunque si scosta dal classico impiego di un laser scanner montato su treppiede e dall'impiego di un software "generalista" per l'elaborazione delle misre. L'esigenza di effettuare misurazioni tridimensionali in modo il più possibile automatico, è una richiesta sempre più diffusa nel mercato, nei più diversi settori industriali. E per questa ragione che è nato il progetto "3D IMP" dove la sigla IMP sta per Industrial Measurement Portal. Con questo approccio si intendono sviluppare soluzioni che non richiedano unicamamente l'implementazioni di parti hardware e software già esistenti, ma la creazione di nuovi approcci nella elaborazione dati che permettano di rendere il processo di trattamento dati il più possibile automatico. Si tratta dunque di realizzare "sistemi" di misura che integrino un laser scanner, un software di gestione e trattamento dati tridimensionali, e una struttura hardware e software tipica del mondo della automazione industriale.

L'articolo descrive l'idea di base del "portale di misura" e le problematiche connesse alla sua realizzazione. In particolare vengono descritte le soluzioni di sviluppo hardware, dove si è realizzata una interessante unione di competenze provenienti dal settore di trattamento dati laser 3D, dal settore classico dell'automazione industriale, unite alle competenze di eccellenza nel trattamento dei dati tridimensionali provenienti da strumenti TLS alla fase e alla successiva modellazione a superfici. Una applicazione assai originale che non ha ancora visto, per quanto a nostra conoscenza, applicazioni similari diffuse a livello mondiale. L'applicazione attualmente sviluppata vede una stima automatica di volumi di materiale stoccato (carbone, ghiaia, residui di lavorazione dell'acciaio), ma esempi simili già in fase di test sono in fase di sviluppo nel settore della lavorazione dell'acciaio (forge, acciaierie...) in accordo con aziende del settore.

### **Abstract**

The paper describes the "3D IMP" approach, that has realized a TLS / software integration so to create a 3D Surveying system to be applied in the industrial market. The approach consists in a TLS instrument, in a software to manage the 3D scans and in a hardware/software solution coming from the automation world.

### **1. Il progetto Porta Nuova Garibaldi**

Il Progetto strategico Porta Nuova, prevede la realizzazione, al centro di Milano, di un polo che possa fungere da riqualificazione del tessuto urbano. L'area è composta da tre progetti Garibaldi,

Varesine e Isola, per una superficie complessiva di circa 290.000 metri quadrati. Il progetto si compone di isole pedonali, aree verdi, ponti, sottopassi e la nascita di diversi moduli costruttivi a prevalente sviluppo verticale (vedi Figura 1).

Il presente articolo tratta delle metodologie di supervisione generale delle operazioni di tracciamento topografico e del monitoraggio applicate presso il cantiere Porta Nuova Garibaldi da parte della società Spin Off dell'Università degli Studi di Brescia, per conto di Colombo Costruzioni.

L'intervento ha visto la realizzazione e soluzione di diverse problematiche:

- Controllo e certificazione della rete generale di inquadramento topografico dell'intero cantiere;
- verifica "as built" e monitoraggio nel tempo delle torri verticali (blocchi A e B);
- predisposizione di una metodologia alternativa a quella topografica classica applicata dai geometri tracciatori di cantiere per il tracciamento dei casseri rampanti;
- predisposizione di un trasporto ai diversi livelli del sistema topografico di riferimento tale da permettere, se necessario, la realizzazione di verifiche planoaltimetriche "as built";
- verifica e test delle nuove procedure di misura diffusa dell' "as built" mediante approccio TLS (Terrestrial Laser Scanner) e tramite applicativi software sviluppati ad hoc all'interno di una collaborazione tra Gexcel srl e Università degli Studi di Brescia



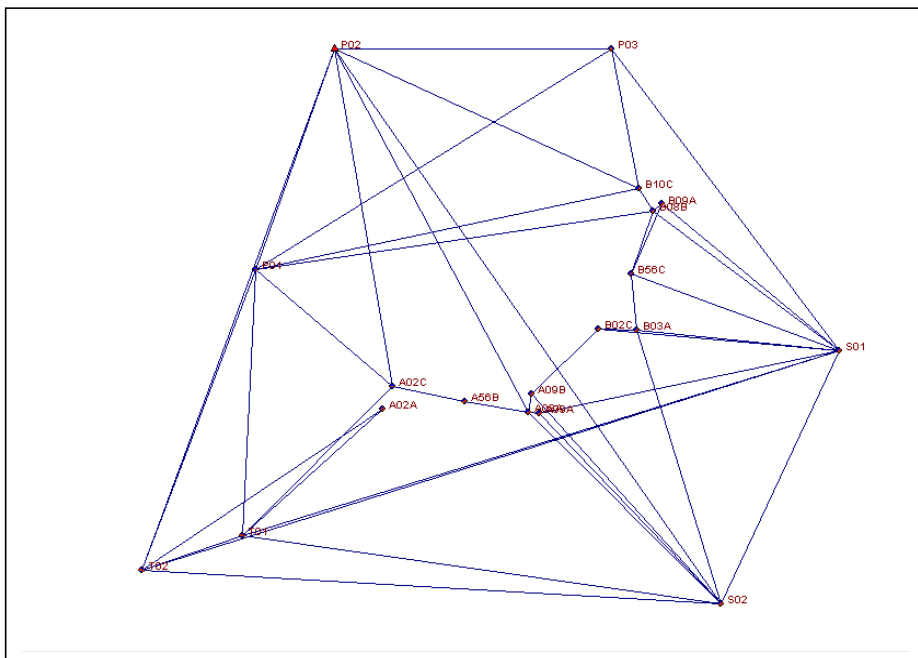
Figura 1 – Il progetto di Porta Nuova Garibaldi (immagine da internet).

## 2. Inquadramento topografico generale

Il primo intervento ha riguardato la misurazione e compensazione a minimi quadrati di una rete generale di inquadramento topografico che permettesse di verificare e dunque certificare sia la

posizione dei vertici topografici da cui i topografi tracciatori effettuavano le operazioni di tracciamento della struttura sia la congruenza tra rete topografica e il sistema di coordinate di progetto.

I vertici topografici si estendevano a diversi livelli del cantiere, fino ad arrivare a punti posti in corrispondenza di edifici e strutture adiacenti al cantiere.



*Figura 2 – Rete topografica generale di alta precisione che inquadra il cantiere Porta Nuova Garibaldi.*

La rete planoaltimetrica, misurata con strumentazione del primo ordine, ha collegato 18 vertici (vedi Figura 3), di cui 11 materializzati in corrispondenza della soletta del livello zero della struttura delle torri A e B. La compensazione a minimi quadrati ha stimato le coordinate spaziali con uno s.q.m. massimo sempre inferiore a  $\pm 3\text{mm}$ , e mediamente pari a ca.  $\pm 2\text{mm}$ .

Tale rete è stata rototraslata ai minimi quadrati senza variazione di scala sulle coordinate impiegate dai topografi tracciatori, verificando la presenza di scostamenti minimi, mediamente pari a 1 mm e con scarti massimi di 2 mm.

Infine si sono collimati tutti gli spigoli strutturali già esistenti e visibili dai vertici di rete posti sulla struttura in calcestruzzo armato, ottimizzando lo scarto tra coordinate teoriche di progetto e le coordinate calcolate nel sistema di riferimento topografico originario. Anche in questo caso gli scarti tra il sistema di riferimento e il costruito è risultato minimo, e sempre dell'ordine di 1-2 mm. Da questa operazione è stato dunque possibile verificare che i vertici topografici materializzati, misurati dai topografi e impiegati per il tracciamento della struttura, erano di qualità topografica eccellente.

Inoltre questa rete ha avuto il pregio di materializzare sulla struttura stessa un numero pari a 11 vertici materializzati nella soletta della struttura del grattacielo. In questo modo ci si è assicurati che anche con il procedere delle operazioni di cantiere, che nel tempo sarebbero andate ad interessare le posizioni dei vertici topografici, distruggendoli, il sistema di riferimento originario sarebbe rimasto conservato fino alla conclusione delle operazioni di costruzione.

### 3. Verifica “as built” e monitoraggio nel tempo delle torri verticali (blocchi A e B);

L’attività che ha maggiormente richiesto l’impegno di supervisione in cantiere, ha riguardato la misurazione e controllo/monitoraggio in corso d’opera degli scostamenti dalla verticalità delle strutture in calcestruzzo armato. Per l’esecuzione di tali operazioni gli autori hanno sviluppato un sistema del tutto originale composto da livelli zenitali laser, piastre di supporto calibrate e sistemi ottici automatici o a lettura diretta del puntatore laser.



Figura 3 – Vertice topografico della rete topografica del cantiere Porta Nuova Garibaldi.

Per tale azione di controllo si sono individuati all’interno di ognuno dei due settori costruttivi, delle posizioni in cui installare i sistemi zenitali di controllo. Per ogni parete in c.a. si sono individuati almeno due postazioni, in modo da poter monitorare le variazioni dalla verticale di ogni singola parete (vedi Figura 4).

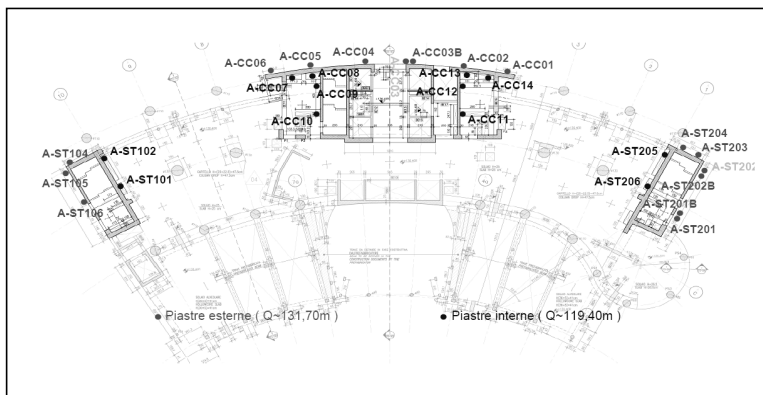


Figura 4 – Pianta che riporta la posizione di tutte le postazioni di verifica della verticalità della struttura.

Le verifiche periodiche vedevano la acquisizione constatale dei parametri atmosferici quali temperatura e pressione atmosferica. I punti di controllo non solo hanno permesso di verificare gli scostamenti dalla verticale, ma essendo noti nel sistema topografico globale hanno anche permesso di verificare eventuale scostamenti dal progetto con accuratezze dell'ordine di  $\pm 2\text{mm}$ .

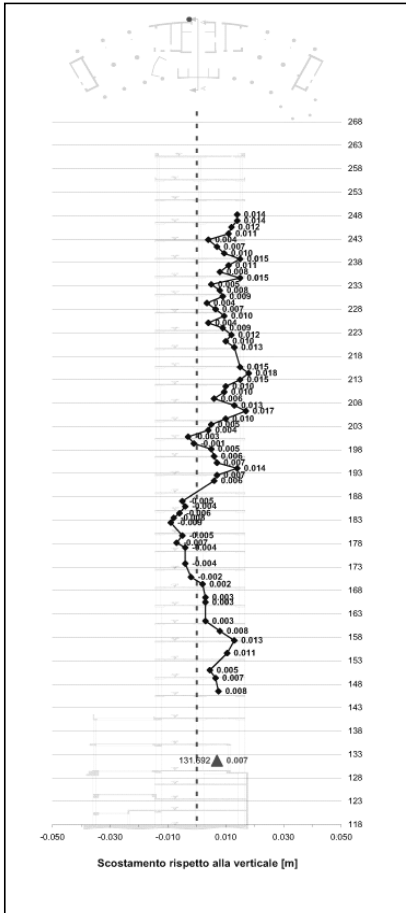


Figura 5 – Verifica della verticalità.

Particolare cura è stata posta nella presentazione grafica dei risultati (vedi Figura 5), facilmente interpretabile e dove gli scostamenti dal progetto vengono mostrati in scala amplificata.

Le procedure per la produzione dei risultati grafici è stata resa automatica, in modo da minimizzare la possibilità di effettuare errori di presentazione e di calcolo dovuti ad errori di digitazione e/o copiatura delle misure.

Le accuratezze, stimate in ca.  $\pm 2\text{mm}$  sono state verificate sia con il confronto con misurazioni topografiche classiche, sia con misure ripetute durante le operazioni di controllo. L'efficacia dell'approccio realizzato ha permesso di verificare ed evitare l'innescò di inaspettati errori topografici, dovuti a spostamenti di caposaldi o ad errori umani. Inoltre eventuali minimi scostamenti dal progetto sono stati sempre osservati e monitorati, permettendo di soddisfare le tolleranze costruttive di capitolato.

Tale operazione si è svolta sempre in corso d'opera, con operazioni di misurazione realizzate successivamente ad ogni getto di calcestruzzo (la struttura operativa era a casseri rampanti). Al momento di andare alle stampe le operazioni di getto sono quasi giunte a conclusione. Si ricorda che l'elemento più alto del progetto giunge alla quota di 219 metri.

#### 4. Predisposizione di un trasporto ai diversi livelli del sistema topografico di riferimento tale da permettere, se necessario, la realizzazione di verifiche planoaltimetriche “as built”

Per procedere al trasporto del sistema di riferimento all'interno degli edifici, si è provveduto con un approccio consolidato, ma adattato alle esigenze particolari di cantiere, in cui si sono previsti dei fori di passaggio del sistema di riferimento all'interno delle solette della struttura. Questo approccio rende possibile e assai semplice, su richiesta, la realizzazione di verifiche tridimensionali ad alta accuratezza ad ogni livello costruttivo dell'edificio.

#### 5. Verifica e test delle nuove procedure di misura diffusa dell' “as built” mediante approccio TLS (Terrestrial Laser Scanner)

Infine operare in un cantiere di tale complessità è stata l'occasione per testare le potenzialità del nuovo applicativo “Faro JRC 3D Reconstructor – Construction” e “Optech JRC 3D Reconstructor

– *STM (Survey, Tunnel and Minimag*” sviluppato da Gexcel e realizzato per la gestione dei dati e per l'estrazione delle tavole di rilievi realizzati con laser scanner nei settori delle costruzioni e della ingegneria civile.

I test sono stati realizzati sia per la verifica “as built” delle pareti verticali in calcestruzzo armato (vedi figura 6) sia per il rilievo 3D dei diversi livelli del costruito. I test sono stati realizzati impiegando i sensori *Faro Photon 120* e *Optech ILRIS-3D*.



Figura 6 – Scansione realizzata con *Faro Photon* e trattata con “*Faro JRC 3D Reconstructor – Construction*”.

### **Conclusioni**

L'avanzare delle tecnologie costruttive richiede un sempre maggiore integrazione in grandi cantieri di aziende e soggetti diversi. Ciò che permette l'integrazione tra le diverse aziende è il rigoroso rispetto delle tolleranze costruttive, sempre più restrittive. Si richiede dunque, da parte dei topografi uno sempre maggiore sforzo nello sviluppo di approcci innovativi e originali nella verifica dell' “as built”. Inoltre è richiesto un graduale passaggio da poche misure puntuali ad una sempre maggiore densità delle misure di controllo, non più realizzate “a campione” ma su tutti gli elementi costruttivi. Il modello della verifica 4D, dove la terza dimensione è rappresentata dalla verifica continua nel tempo, delle geometrie in tre dimensioni.

### **Riferimenti Bibliografici**

- Vassena G., Giussani A. (1991), " Operazioni di controllo topografico della struttura di copertura dello Stadio Olimpico di Roma ", *Rivista del Dipartimento del Territorio, Roma, n.1*
- Vassena G., Monti C. (1994), “The Leaning Tower of Pisa: the geodetic approach to the control of the deformations”, *Atti del 1st Turkish International Symposium on Deformations, Istanbul, 5-9 September 1994*