

LA TOPOGRAFIA PER LE GRANDI INFRASTRUTTURE

Un esempio
dal cantiere
Alta Velocità
Firenze - Bologna

Il tema che affronteremo in questo articolo sembrerà di semplice trattazione, almeno nel suo aspetto globale. Al contrario la topografia nell'ambito di grandi progetti infrastrutturali, presenta una sua specifica complessità, dovuta in massima parte a quella del contesto progettuale ed operativo.

Per intenderci, la topografia accompagna dall'inizio alla fine ogni stadio dell'opera, dall'idea progettuale basata sui rilievi topografici e cartografici, fino al tracciamento delle opere, ai sistemi di monitoraggio e controllo, per finire ai piani di esproprio particellare.

La topografia quindi è un elemento essenziale del processo progettuale ed esecutivo di una qualsiasi opera di ingegneria, sia essa su terra che in acqua, sia essa una strada o una ferrovia, un porto o una diga.

La complessità delle operazioni topografiche necessarie a controllare ogni processo produttivo nell'ambito dei cantieri per le grandi infrastrutture, è cosa probabilmente nota per lo più agli addetti ai lavori, ma di difficile rappresentazione e comprensione alla maggior parte degli operatori che non si siano mai trovati coinvolti in prima persona.

Certo è che per ogni argomento esaminato nel seguito del nostro articolo, data la enorme specificità dal punto di vista topografico, si renderebbe necessario più di un approfondimento. Approfondimenti che ci ripromettiamo di presentare in successive note, facendo chiarezza su problematiche topografiche specifiche.

Il contesto generale

L'attraversamento appenninico della tratta Bologna - Firenze del sistema ALTA VELOCITÀ, per dimensioni, complessità, impegno finanziario e di risorse, rappresenta certamente una opera unica di rilevanza mondiale.

Solo per citare alcuni numeri, possiamo dire che i circa 90 Km complessivi tra gallerie di linea e finestre, insistono su terreni con una complessità geologica insolita, molto spesso con presenza di gas; sono articolate in 9 tunnel, uno dei quali lungo circa 18km; ve ne sono inoltre altri 13 a sezione ridotta e pensati per scavare le gallerie non solo dai fronti principali, ma anche da altre direzioni attraverso le cosiddette "finestre" che, ubicate mediamente ogni 5 km lungo la linea, hanno lo scopo prima di ridurre i tempi di scavo, poi ad opera compiuta rappresenteranno uno degli elementi di sicurezza dell'intero impianto.

L'opera, una volta completata, dovrebbe collegare Bologna - Firenze in circa 30 minuti. Il costo totale è stato stabilito con una apposita gara ed è affidato alla completa gestione del General Contractor, rappresentato da FIAT S.p.a., che attraverso il CAVET (Consorzio Alta Velocità Emilia Toscana) e il

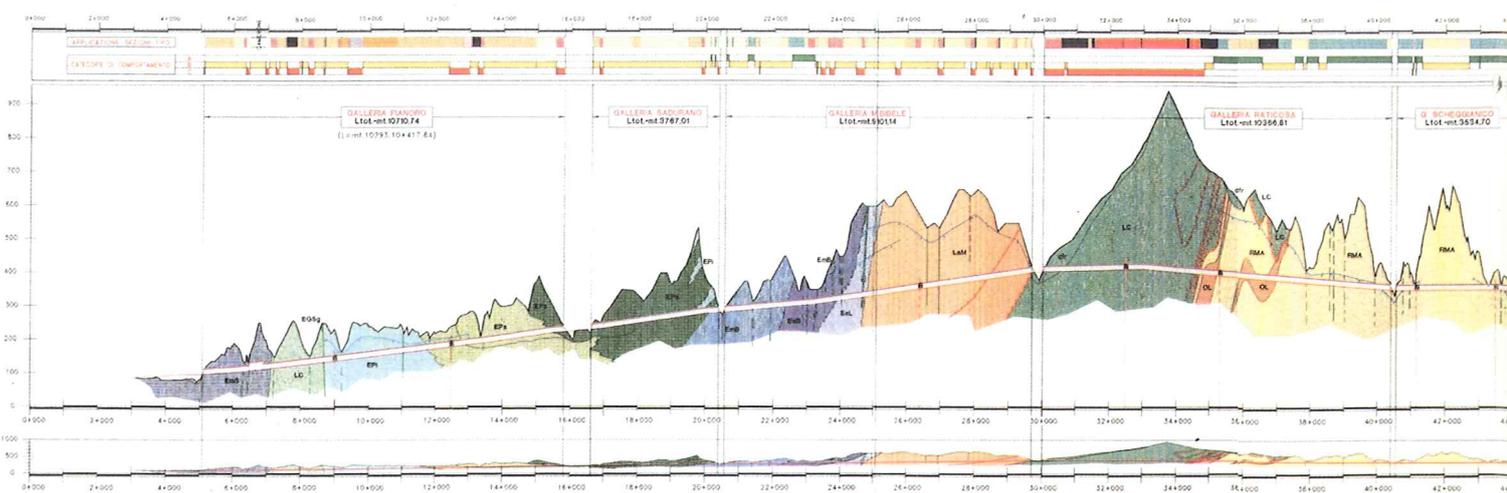
progettista FIATENGINEERING sta realizzando l'intero progetto, secondo le direttive e Norme ISO 9000.

Topografia in qualità

Nell'ambito del Sistema Qualità di cui si è dotato il CAVET, conformandosi alla Norma EN ISO 9001 "Modello per l'Assicurazione della Qualità nella progettazione, sviluppo, costruzione, installazione e assistenza", anche le attività afferenti ai processi topografici sono specificamente definiti attraverso procedure e piani di controllo per tutto ciò che riguarda: definizione dei riferimenti, rilevazione, elaborazione dati e determinazione dei tracciati sulla carta e in campo, terminologia adottata e quant'altro necessario a documentare tutto il processo secondo procedure e piani di controllo documentati e registrati.

La pianificazione del processo prima, (mediante l'individuazione delle risorse necessarie quali idonee apparecchiature, attrezzature e conoscenze, la definizione delle responsabilità e degli incarichi di chi opera e di chi verifica, l'espletazione dei criteri di accettazione), ed il controllo costante dei parametri dopo e durante le specifiche attività topografiche, garantiscono la conformità del risultato finale.

Il profilo altimetrico e geologico del tracciato ferroviario



Ovviamente per gli operatori, che come lo scrivente, hanno sempre operato con coscienza e scrupolo professionale, apparentemente nulla è stato aggiunto dalla "Qualità". Nonostante ciò si è dovuto prendere atto che operando attraverso un Sistema Qualità organizzato, resta traccia, "evidenza oggettiva", del corretto procedere delle operazioni topografiche, siano esse di tracciamento che di controllo.

La gravosa responsabilità del risultato finale, non è quindi lasciata al singolo operatore, bensì è frutto dell'intero sistema e struttura dell'impresa; un modo di operare che oltre a garantire l'impresa, garantisce anche i singoli operatori da possibili errori a volte anche accidentali: un ritorno quindi in termini di qualità del lavoro e di raggiungimento degli obiettivi.

Le fasi topografiche

Prendendo in esame le diverse problematiche legate alla complessità delle operazioni geo-topografiche, non possiamo trascurare le specifiche fasi di rilievo e di impianto generale, così come la costituzione della cartografia di riferimento sulla cui base vengono effettuati sia il progetto di massima dell'opera, che le molteplici altre attività, necessarie a costituire le documentazioni più varie, quali ad esempio il VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) e molte altre finalizzate alla definizione sia di aspetti ingegneristici, che architettonici e urbanistici.

Classificando quindi le diverse fasi degli aspetti geo-topografici ne possiamo definire alcuni specifici, legati sia

alle attività progettuali, che a quelle operative e meramente esecutive quali:

La cartografia di base per la progettazione - Le reti topografiche di controllo - La figura del topografo - La topografia per le gallerie - Le osservazioni dirette - I monitoraggi - Metodi e strumenti specialistici (Giroscopio) - L'uso del GPS - L'organizzazione del settore topografico - Il picchettamento e posa del binario.

Aspetti che difficilmente si potranno rappresentare esaurientemente in un singolo articolo. Di qui la necessità di una presentazione generale del progetto, che rimanda a successivi approfondimenti delle diverse problematiche topografiche e non solo.

Il ruolo del topografo nei grandi lavori di ingegneria

La topografia in campo ingegneristico è di vitale importanza e alla base di numerosi processi produttivi, quali la costruzione in genere, la cantierizzazione, l'impiantistica, lo sviluppo di carte di base, il controllo e il monitoraggio, per finire al computo dei movimenti terra o alle procedure di esproprio.

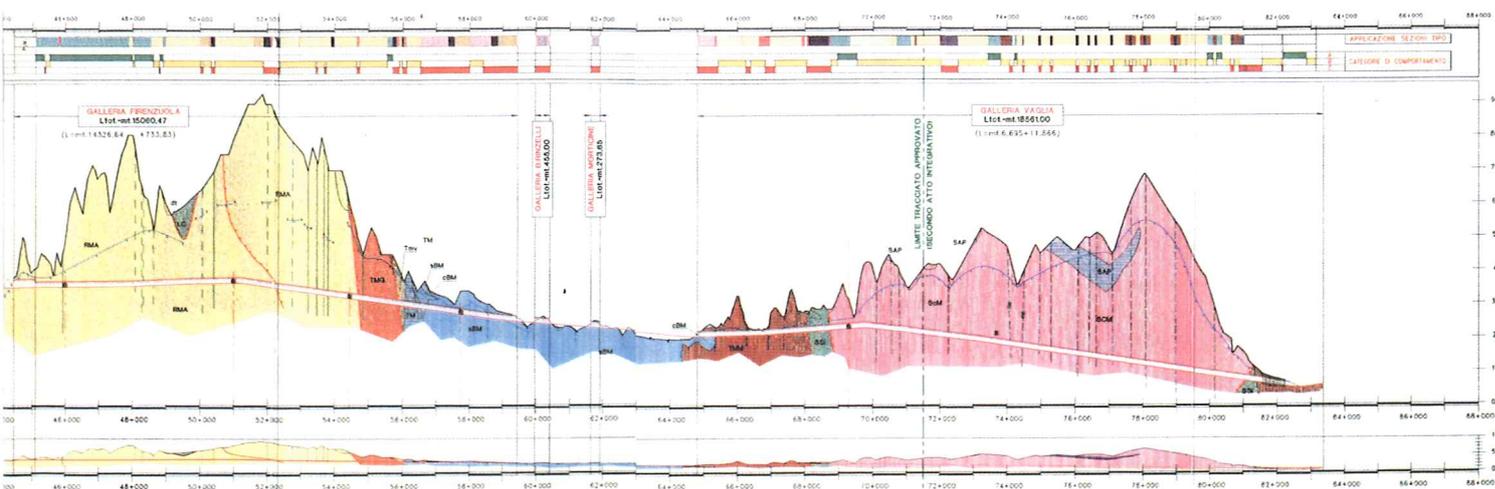
Il topografo che opera sui cantieri per le grandi opere ingegneristiche, deve quindi avere delle qualità professionali non indifferenti, e deve presupporre la conoscenza di molteplici aspetti quali:

- conoscenza e valutazione delle precisioni finali;
- conoscenza dei diversi aspetti tecnici generati da impianti topografici e geodetici a grande, media e piccola scala;

- conoscenza della teoria degli errori e di elementi di statistica, onde gestire procedure di calcolo con compensazione rigorosa, etc;
- conoscenza di informatica ed elettronica, legata per lo più alle fasi di elaborazione dei dati e alla gestione dei moderni strumenti di rilievo (stazioni totali, GPS, livelli elettronici, etc.);
- manualità operativa ed esperienza, soprattutto nel tracciamento in galleria o nei controlli in corso d'opera, dove nulla si improvvisa.

Nella realtà il processo formativo di un topografo, difficilmente si esaurisce, ma si protrae nel corso della vita professionale, attraverso esperienze e situazioni diverse, così come nella ricerca di soluzioni sempre più innovative. Elementi questi ultimi che fanno parte di quello stimolo e quella curiosità professionale che mai dovrebbero abbandonare un buon professionista. Adeguarsi poi al rapido processo di evoluzione e diffusione delle innovazioni tecnologiche, è fattore indispensabile per tenersi aggiornati, così come lo è lo scambio di opinioni con gli operatori più anziani, e l'informazione tecnica reperibile attraverso pubblicazioni e seminari di aggiornamento.

Nelle attività di cantiere è poi fondamentale essere sempre scrupolosi e pragmatici, dotarsi sempre di un termometro e di un barometro, mentre per il buon esito delle operazioni di tracciamento è necessario disporre di una rete ben materializzata, con stazioni affidabili e comodamente stazionabili, o come accade nella maggioranza dei casi posizionate su appositi pilastri con centra-



mento forzato. Le operazioni di tracciamento sono quelle più importanti in un cantiere; errori in questa fase difficilmente possono essere corretti, perciò vanno tenute nella dovuta considerazione le seguenti raccomandazioni:

- eseguire controlli analitici in coordinate degli elementi progettuali (possono capitare banali errori al CAD), adeguando il tutto alla posizione dei propri punti fissi;
- effettuare sempre delle misure ridondanti;
- dotarsi di programmi versatili su calcolatori palmari da campo, con la possibilità di eseguire i controlli sulle reali misure eseguite in corso d'opera. Si possono adottare anche soluzioni personali ed inusuali, purché verificate analiticamente;
- per evitare errori sistematici, eseguire a campione, o nei casi specifici, dei controlli con diverso operatore e strumento;
- tenere presente che per opere di rilevanti dimensioni, sviluppate in lunghezza con soluzioni strutturali impegnative, il progetto e l'esecuzione delle fasi geodetiche devono essere correlate alle tolleranze costruttive, attraverso un continuo scambio fra dati simulati e misure reali;
- grande nemica del topografo è la fretta e l'emotività; nell'impostare un'opera anche provvisoria, operate sempre come se fosse definitiva. Tutti a breve termine dimenticheranno il tempo occorso, ma nessuno dimenticherà mai un vostro errore.

La cartografia di base per la progettazione

L'uso della cartografia nella progettazione e realizzazione di grandi infrastrutture non pone problemi meno importanti e delicati della realizzazione dell'impianto topografico di base e delle miriadi di impianti topografici per il tracciamento e il posizionamento delle opere di ingegneria.

Dal punto di vista delle specifiche adottate, ci si è affidati ad una standardizzazione dei formati e dei modelli di rappresentazione sia grafica che informatica, concordati con la direzione lavori e con il gruppo di progettisti di FIATENGINEERING.

Ai fini del progetto sono stati quindi

forniti i supporti informatici di modelli cartografici tridimensionali, codificati in layer e con le adeguate rappresentazioni planimetriche e altimetriche in termini di modelli digitali e rappresentazione morfologica del territorio.

Le fasi generali di organizzazione del progetto, dal punto di vista delle basi cartografiche e della realizzazione del progetto stesso, si possono sintetizzare in:

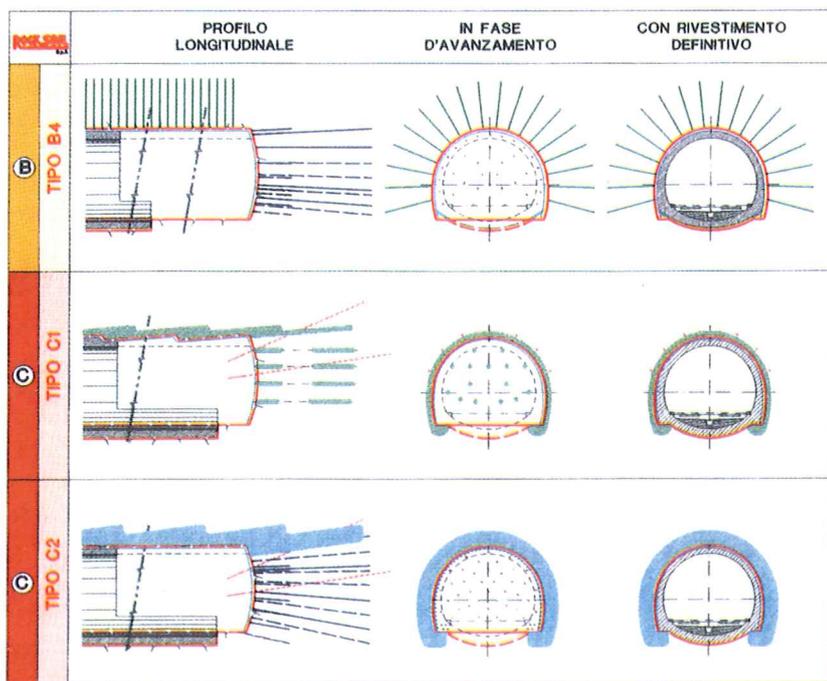
- organizzazione delle basi dati del progetto e acquisizione della cartografia;
- generazione degli elaborati e del DTM;
- progettazione plano-altimetrica del tracciato;
- progettazione delle opere d'arte;
- aggiornamento della cartografia con il progetto esecutivo.

Dalla progettazione di massima, attraverso il supporto di prodotti derivati dalla cartografia (elaborati plano-altimetrici, DTM, GIS, etc.), si passa alla produzione assistita su computer degli elaborati di progetto. Tra questi vi sono gli elaborati per il tracciamento delle opere, il disegno delle sezioni e dei profili, e in ultimo la contabilizzazione del movimento terra e l'aggiornamento della cartografia stessa che, attraverso il riporto delle opere realizzate, documenta la avvenuta modifica e trasformazione del territorio.

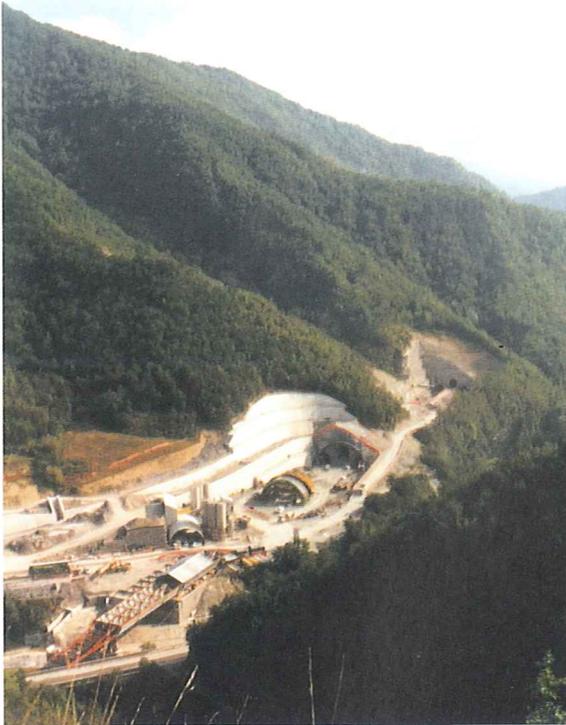
Dal punto di vista tecnico i problemi ricorrenti sono legati al forte sviluppo lineare del progetto, che per estensione e variazione in quota non permette di operare su un'unica rappresentazione cartografica. Inoltre il ricorrente problema di scindere tra la rappresentazione cartografica canonica, e quella necessaria a linearizzare le misure relative alla realizzazione dell'opera ingegneristica (ovvero le misure fisiche delle opere d'arte), si inserisce come variabile fondamentale per la progettazione di una cartografia specifica, sviluppata lungo piani medi che approssimano l'andamento altimetrico del tracciato. Nello specifico del progetto è stata quindi realizzata una cartografia appoggiata mediante poligoni locali ai vertici IGM più prossimi, mentre per la proiezione è stato adottato un meridiano di riferimento più prossimo allo sviluppo del progetto, e passante per tre piani di riferimento principali che definiscono ognuno un sistema di coordinate fittizie.

Le reti topografiche come sistema di controllo in corso d'opera

In opere di lunga durata quale la costruzione delle gallerie, occorre prevedere un monitoraggio continuo dei vertici che compongono la rete di inquadramento e raffittimento al fine di valutare la stabilità e l'affidabilità nel tempo



Alcune sezioni tipo del tracciato in galleria



Una veduta dall'alto di uno dei cantieri.

dei capisaldi. Stabilità che può essere inficiata da situazioni geologiche ambientali particolari o da cause accidentali; inoltre tale controllo può essere richiesto anche per singole zone a rischio e non su tutta l'intera tratta dell'opera. Queste considerazioni fanno sì che, nella progettazione della rete, si debba creare uno schema geometrico tale da facilitare successive rideterminazioni dei punti di controllo, inserendo eventualmente dei punti di sicura stabilità (punti certi) da cui ripartire per le nuove determinazioni. In tali determinazioni occorrerà agire con la stessa metodologia utilizzata nella generazione della rete, ciò per non incorrere nel rischio di introdurre variabili dovute a cambi di strumentazione che nascondano eventuali scostamenti dei punti.

Si tenga presente che in cantieri ferroviari, scostamenti centimetrici di punti su cui sono basati gli azimut di orientamento degli imbocchi in galleria, possono generare scostamenti finali sensibili. Sempre nell'ottica del monitoraggio della rete, occorre definire un sistema di riferimento iniziale (tempo "0") indipendente da qualsiasi trasformazione successiva (ad esempio proiezioni di coordinate su più piani, coordinate rettilinee...) in modo da poter eseguire facilmente controlli sia a livello di precisione delle coordinate (sqm) sia a livello dei

valori stessi delle coordinate. Tale sistema potrebbe coincidere con quello definito come calcolo intrinseco della rete.

Attualmente vista la potenzialità del rilievo mediante GPS è auspicabile la definizione di un sistema legato al riferimento proprio del GPS, da impiegare nei successivi controlli temporali, mentre le trasformazioni di riferimento non dovrebbero intervenire nella determinazione degli eventuali scostamenti.

La geometria della rete, a nostro avviso, deve essere inoltre tale da poter inserire nuovi punti (necessari man mano che si opera, ad esempio per variazione di progetto ecc.) in modo semplice e univoco, impiegando se possibile i medesimi parametri preventivamente calcolati e testati, in maniera tale che le successive determinazioni nel sistema locale di lavoro siano

univoche e conformi alle tolleranze richieste.

La difficoltà di operare con molteplici sistemi e dotazioni strumentali diverse, impone poi di operare una preventiva pianificazione riguardante sia i formati dei dati che le procedure di calcolo adottate. La standardizzazione e documentazione del processo di trattamento dei dati, così come la conoscenza degli algoritmi e dei parametri impiegati nei software di calcolo, permette poi di

ridurre le indeterminazioni e gli errori accidentali. Nel caso di impiego della soluzione mista GPS e stazioni totali bisogna poi tener conto di molteplici fattori critici e logistici, che spesso non vengono affrontati adeguatamente in fase progettuale, creando poi seri problemi pratici in fase di riaggancio alla rete con strumentazioni classiche.

E' buona norma quindi definire in fase di progetto, tutte le necessarie specifiche per il riallaccio alle reti di base, sia impiegando i medesimi GPS che la strumentazione tradizionale, così come devono essere definite le procedure e i parametri da adottare per il raffittimento, il ricalcolo o la generazione di vertici ausiliari.

Polibio Lombardelli

BIOGRAFIA DELL'AUTORE

Il Geom. Polibio Lombardelli nato nel 1938, svolge l'attività di topografo dal 1959 in massima parte in cantieri industriali. Negli ultimi anni ha lavorato su grandi opere di ingegneria quali autostrade, opere idrauliche, edilizia industriale, ferrovie, etc.. Possiede una forte esperienza sui cantieri all'estero, ha operato per 7 anni in Libia, in Laos e in diversi altri paesi. I committenti corrispondono al Gruppo Montedison, Gruppo Recchi, Cogiter, etc.; dal 1996 è responsabile dei cantieri topografici presso il CAVET.

I materiali relativi al presente articolo sono una gentile concessione del consorzio CAVET; si ringraziano inoltre l'Ufficio Rapporti Esterni di FIATENGINEERING e della ROCKSOIL.



Una veduta interna del cantiere