

RILIEVO DEL TERRITORIO COMUNALE DI MILANO  
ALLA SCALA 1:2.000  
TECNICHE DI RILEVAMENTO E COLLAUDO  
Ing. RICCARDO GALETTO

*Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano*

1. *Generalità di rilievo*

Il rilievo cartografico del Comune di Milano ha per scopo la formazione di una nuova carta alla scala 1:2.000 e riguarda oltre al territorio comunale alcune zone limitrofe; in totale la superficie rilevata è di circa 30.000 ettari. Le caratteristiche della carta sono le seguenti: la planimetria della carta rappresenta la zona rilevata in tutti i suoi particolari (quindi strade esistenti, corsi d'acqua allo scoperto, rilievi artificiali, contorni dei fabbricati e degli isolati, ecc.). Reca inoltre la toponomastica e le indicazioni relative all'individuazione e localizzazione degli spazi pubblici.

La parte altimetrica della carta riporta le quote del piano stradale al centro di tutti gli incroci, le quote di tutti i punti caratteristici e, per la parte non edificata, dei quotati sul piano di campagna con una media di almeno uno per ettaro. Inoltre su ogni fabbricato viene indicata la quota gronda assoluta del medesimo.

Il rilievo viene eseguito dalla ditta IRTA mediante il metodo fotogrammetrico e il Centro di Fotogrammetria del Politecnico svolge la funzione di collaudatore in corso d'opera.

2. *Caratteristiche tecniche del rilievo.*

Le caratteristiche tecniche del rilievo sono le seguenti:

a) - volo. Sono stati eseguiti due voli: uno alla quota di 2000 m circa, ed uno alla quota di 1.200 m circa; riferendoci a questi due voli chiameremo in seguito «volo alto» il primo e «volo basso» il secondo. Le riprese sono state eseguite con camera aerea Wild RC-5A automatica, a film di formato utile di 23x23 cm munita di obiettivo Aviogon con focale di 152 mm circa.

La sovrapposizione longitudinale dei singoli fotogrammi è stata del 60%, mentre quella laterale è stata del 20% circa.

b) - rete di inquadramento dei punti di appoggio per l'orientamento assoluto dei modelli. Per quello che riguarda la parte altimetrica della rete di inquadramento, la ditta IRTA si è servita, per il nucleo urbano, di una fitta rete di livellazione per la fognatura; mentre per la parte del territorio comunale extraurbano e per la parte di rilievo esterna al comune stesso si è dovuta eseguire una nuova rete alitimetrica di inquadramento ampliando con opportune diramazioni le poche linee di precisione esistenti.

La rete di inquadramento planimetrica è stata ottenuta infittendo opportunamente la rete trigonometrica catastale esistente fino ad ottenere una serie di vertici distribuiti in tutto il territorio da rilevare e distanti in media non più di 2 km.

Inoltre la rete di vertici così ottenuta è stata ulteriormente infittita con una serie di punti ottenuti mediante intersezioni multiple inverse, calcolate col metodo dei minimi quadrati; per avere uno sfruttamento razionale ed omogeneo delle misure eseguite il calcolo delle intersezioni è stato eseguito mediante un programma di calcolo elettronico messo a disposizione dal Centro. L'insieme dei vertici della rete e dei punti di infittimento il cui numero totale è di circa 150, non sarebbe però stato sufficiente per l'orientamento di tutti i modelli del volo basso, volo mediante il quale la carta doveva essere costruita; infatti per questo scopo il numero dei punti occorrenti sarebbe stato superiore al migliaio. La posizione dei 150 punti determinati direttamente è stata quindi scelta in modo che in base ad essi si potesse eseguire l'orientamento assoluto di tutti i modelli del volo alto riguardanti la zona da rilevare; da questi ultimi sono stati ricavati mediante restituzione fotogrammetrica i punti di appoggio per l'orientamento

assoluto dei modelli del volo basso. Prima di adottare questa soluzione la ditta IRTA si è rivolta al Centro di Fotogrammetria per ottenere parere favorevole circa la possibilità di adottare questo metodo per ricavare i punti occorrenti all'orientamento assoluto dei modelli del volo basso.

Allo scopo di accertare se il metodo fosse compatibile con la precisione richiesta dal contratto, il Centro ha eseguito alcune prove; esse avevano i seguenti scopi.

1<sup>a</sup> *prova*: verifica sperimentale dell'errore accidentale intrinseco di restituzione dei punti interni al modello del volo alto.

2<sup>a</sup> *prova*: verifica sperimentale dell'entità dell'errore assoluto di determinazione delle coordinate di un punto restituito entro un modello del volo alto.

3<sup>a</sup> *prova*: verifica sperimentale dell'entità degli errori sui modelli del volo basso dovuti agli errori di posizione dei punti di appoggio ricavati fotogrammetricamente.

A conclusione di queste prove il Centro ha consentito che la ditta IRTA si avvallesse di questo metodo per la determinazione dei punti di appoggio del volo basso, imponendo però che venissero rispettate queste norme esecutive:

a) - che i punti di appoggio del volo alto fossero tutti determinati con buona precisione e che il calcolo delle coordinate venisse eseguito col programma di calcolo elettronico del Centro;

b) - che per ogni modello del volo alto fossero almeno sei i punti di appoggio planimetrico;

c) - che la determinazione delle coordinate dei punti del volo alto da usarsi per l'orientamento del volo basso, venisse eseguita numericamente (e non graficamente) e che queste fossero poi trasformate con il programma elettronico del Centro;

d) - che il numero dei punti di orientamento assoluto planimetrico del volo basso fossero sempre in numero maggiore di sei;

e) - che l'orientamento assoluto di ogni modello del volo alto fosse sempre rispondente alla precisione richiesta dai collaudatori;

f) - che l'orientamento altimetrico sia del volo alto che di tutti i modelli del volo basso venisse fatto su punti a terra di quota nota ottenuti con misura diretta.

### 3. *Operazioni di collaudo eseguite dal Centro.*

Poiché il Centro è stato nominato collaudatore in corso d'opera di questo rilievo, è opportuno dividere le operazioni di collaudo in due fasi distinte e cioè quella che precede la consegna dell'elaborato definitivo, e quella che riguarda l'accettazione del medesimo.

Durante la prima fase di collaudo le operazioni eseguite sono state le seguenti:

a) - Controllo della rete trigonometrica catastale per l'inquadramento della rete dei punti di appoggio.

b) - Controllo della rete di inquadramento ottenuta infittendo quella di cui al punto a).

Questo controllo, come pure il precedente, è stato eseguito per via puramente analitica sfruttando le misure eseguite dalla Ditta stessa per rilevare i punti di appoggio necessari all'orientamento assoluto dei modelli del volo alto. Si è detto infatti che questi punti sono stati rilevati mediante intersezioni multiple inverse e le direzioni osservate erano sempre più di cinque, talvolta perfino dieci.

Le intersezioni, come si è detto, sono state calcolate con un programma del Centro elaborato dal calcolatore elettronico; tale programma esegue il calcolo mediante il metodo dei minimi quadrati ed oltre a fornire l'errore quadratico medio con cui vengono calcolate le coordinate incognite del punto, calcola lo scarto delle equazioni generatrici, cioè fa vedere come la stella di direzioni uscenti dal punto incognito si adatta sui punti noti.

Un'eventuale grosso scarto di un'equazione generatrice può significare due cose:

o che si è sbagliata la misura dell'angolo eseguita sul terreno o che le coordinate del punto noto relative a quella direzione sono sbagliate; mediante successive misure si determina quale delle due ipotesi è vera.

Se invece tutti gli scarti ottenuti dalle equazioni generatrici sono inferiori a un certo limite imposto a priori, ciò è garanzia oltre che della buona precisione delle coordinate del punto incognito, anche della buona precisione delle coordinate dei punti noti.

c) - Esecuzione dei calcoli per la determinazione delle coordinate dei punti di appoggio rilevati mediante intersezione multipla inversa e valutazione della precisione delle medesime.

d) - Calcolo e valutazione della precisione mediante il programma elettronico del Centro degli orientamenti assoluti dei modelli del volo alto e trasformazione delle coordinate strumentali dei punti di appoggio del volo basso in coordinate terreno.

e) - Controlli di una certa percentuale di modelli del volo basso in sede di restituzione. I controlli avvengono come segue:

— Si controlla innanzitutto la precisione dell'orientamento assoluto plano-altimetrico del modello e si registrano le coordinate strumentali dei punti sui quali è stato eseguito l'orientamento planimetrico. La registrazione di queste coordinate permetterà di valutare in maniera rigorosa l'errore quadratico medio con cui sono stati eseguiti gli orientamenti assoluti.

Si controlla inoltre che il modello sia orientato, come prescritto, su più di sei punti a terra, poiché questi sono stati rilevati fotogrammetricamente; e che il modello del volo alto da cui sono stati ricavati sia stato orientato con almeno sei punti a terra.

— Vengono quindi fatti restituire un certo numero di punti in tre diverse zone della parte del modello che si sovrappone a quelli già restituiti confinanti con esso e si controlla che gli scarti che si hanno su tali punti non superino le tolleranze previste dal contratto; in questo caso le tolleranze vanno moltiplicate per la  $\sqrt{2}$  in quanto in questa parte del modello gli scarti sono dovuti agli errori di due differenti restituzioni.

— Si passa quindi a verificare il modello in restituzione facendo restituire un buon numero di punti distribuiti in varie zone del modello stesso, controllando che la entità degli scarti sia consona alla precisione richiesta.

Una volta eseguito l'elaborato definitivo, su tutto il territorio rilevato si eseguono tre tipi di controlli: un controllo della altimetria, uno della planimetria e uno qualitativo.

— *Controllo altimetrico.*

Viene fatto eseguendo diverse livellazioni chiuse all'interno di ciascun foglio; vengono controllate circa un centinaio di quote distribuite in varie parti di ciascun foglio. Una parte delle quote viene determinata attraverso due misure indipendenti, inserendo cioè il punto livellato in due diverse livellazioni; dal confronto delle quote di un medesimo punto ottenuto in due livellazioni diverse e dagli errori di chiusura delle livellazioni stesse è possibile stabilire l'errore medio di determinazione delle quote dei punti in sede di controllo.

Tale errore è dovuto sia al fatto che non sempre la quota assoluta di partenza di ciascuna livellazione può essere individuata con esattezza, sia alla impossibilità di individuare esattamente sul terreno il punto restituito.

Nel caso quindi si riscontrino degli scarti fuori tolleranza è opportuno riesaminare il punto sul terreno per vedere se uno di questi fattori abbia contribuito a portare lo scarto oltre il valore massimo consentito.

— *Controllo planimetrico.*

Il controllo planimetrico viene eseguito misurando direttamente mediante nastro d'acciaio graduato circa un centinaio di distanze per foglio tra punti caratteristici restituiti, cioè spigoli di case, muri, aiuole spartitraffico o qualsiasi altro particolare planimetrico rintracciabile sul terreno.

Ovviamente durante le operazioni di campagna si eseguono soltanto le misure sul terreno ed il confronto con quelle restituite viene fatto in un secondo tempo sugli originali di restituzione.

— *Controllo qualitativo.*

Il controllo qualitativo delle carte si effettua mediante delle ricognizioni sul terreno e controllando che non siano state commesse delle omissioni o degli errori di interpretazione.

Mano a mano che si procede nei sopralluoghi vengono annotate le eventuali discordanze od omissioni; se queste sono in numero non trascurabile la ditta viene invitata ad eseguire una revisione generale della carta.

Successivamente si controlla che i difetti riscontrati dai collaudatori durante il primo sopralluogo siano stati effettivamente corretti.

A conclusione di quanto brevemente esposto conviene ribadire ancora una volta come sia particolarmente indicato per i lavori fotogrammetrici il collaudo in corso d'opera; un collaudo cioè non puramente fiscale ma che può consentire alla Ditta esecutrice del lavoro di risolvere con tranquillità problemi non previsti e la cui soluzione comporta l'applicazione di metodi non ancora definitivamente codificati.