

IMPIEGO DELLA PROGRAMMAZIONE PER PROBLEMI TOPOGRAFICI

Dr. Ing. RICCARDO GALETTO

*Comunicazione presentata al X Congresso Nazionale SIFET
Varese, aprile 1965*

Nei rilievi cartografici a grande scala eseguiti mediante la fotogrammetria, si rende necessaria la determinazione, con i mezzi classici della topografia, di punti a terra per eseguire l'orientamento assoluto dei modelli in sede di restituzione; ed è ovvio che dalla precisione con cui le coordinate di tali punti vengono calcolate dipende in maniera diretta la qualità della carta. La determinazione dei punti a terra avviene in genere secondo schemi di volta in volta variabili e quasi sempre impostati su criteri approssimativi tali da condurre talvolta a risultati per nulla soddisfacenti. I punti vengono cioè calcolati più volte mediante ripetute applicazioni dell'intersezione semplice in avanti e dell'intersezione inversa, e viene preso come risultato il valore medio di quelli ottenuti; questo modo di procedere potrebbe essere soddisfacente, anche se non rigoroso, ai fini del calcolo delle coordinate, ma non ci fornisce un elemento valido per giudicare la precisione conseguita nella determinazione del punto.

Più giusto e più pratico sarebbe usare il metodo dell'intersezione multipla, sia in avanti che inversa, non solo per effettuare le misure, ma anche per il calcolo delle coordinate del punto, ed applicare il principio dei minimi quadrati per eseguire la compensazione. In tal modo infatti si standardizza il metodo di rilevamento dei punti e lo si riduce a uno schema ben preciso e al tempo stesso flessibile; mentre in sede di compensazione oltre ad avere validi criteri per la valutazione della precisione delle misure non si corre il rischio di commettere errori di calcolo o concettuali.

Infatti la compensazione col metodo dei minimi quadrati ci fornisce il mezzo, attraverso l'esame degli scarti delle equazioni generate, di individuare gli eventuali errori grossolani di misura ed in un secondo tempo ci dà, mediante l'errore medio delle coordinate compensate, un sicuro elemento di giudizio per valutare l'effettiva precisione con cui i punti a terra sono stati determinati. Quest'ultimo dato risulta della massima importanza in sede di collaudo della carta, in quanto mette il collaudatore davanti a due elementi assolutamente obbiettivi e cioè i quaderni di campagna e il risultato di un calcolo rigoroso sia come impostazione che come esecuzione ed eseguito impersonalmente dalla macchina.

Ma l'ostacolo da superare per accettare questo schema operativo è costituito dal fatto che la suddetta compensazione, oltre a non essere del tutto elementare nella sua impostazione, implica un notevole incremento dei tempi di calcolo. È cioè questo uno dei casi in cui si presenta opportuno l'uso delle calcolatrici elettroniche, che permettono di risolvere vantaggiosamente problemi concettualmente semplici ma di lunga elaborazione; ed infatti molti grandi enti cartografici hanno già da anni una loro serie di programmi con i quali risolvono non solo i complessi problemi della fotogrammetria, ma anche quelli della topografia classica. Ora sarebbe oppor-

tuno che anche i piccoli enti non solo venissero a conoscenza dell'esistenza di questi programmi di calcolo, ma si sforzassero di staccarsi dagli schemi consueti per accettare questo nuovo mezzo che la tecnica ci ha messo a disposizione. Vedremo infatti come la convenienza dell'uso dei programmi di calcolo non riguardi soltanto il miglioramento della precisione, ma sia allo stesso tempo vantaggioso per il risparmio di tempo e per il lato economico.

Per vedere in modo concreto quali possono essere i vantaggi derivanti dall'uso dei programmi, prendiamo in esame quello di intersezione multipla in avanti e quello di intersezione multipla inversa. Essi si compongono delle seguenti parti principali:

- Programma di intersezione multipla in avanti
 - a) lettura dei dati
 - b) calcolo delle coordinate delle stazioni eccentriche
 - c) calcolo delle coordinate approssimate mediante intersezione semplice
 - d) calcolo dei coefficienti del sistema delle equazioni generate
 - e) formazione e risoluzione del sistema normale da cui si ricavano le correzioni da apportare alle coordinate approssimate
 - f) calcolo degli scarti delle equazioni generate
 - g) calcolo degli errori quadratici medi delle coordinate
 - h) vengono stampati:
 - i dati
 - le coordinate delle stazioni fuori centro
 - le coordinate approssimate del punto
 - il sistema delle equazioni generate
 - gli scarti delle equazioni generate
 - le coordinate compensate
 - gli errori quadratici medi delle coordinate compensate.
 - Programma di intersezione multipla inversa
 - a) lettura dei dati
 - b) scelta dei punti con cui eseguire l'intersezione semplice all'indietro
 - c) calcolo delle coordinate approssimate mediante intersezione semplice inversa
- Seguono i punti d), e), g) del programma precedente
- h) riduzione al centro della stazione, nel caso che sia eccentrica
 - i) vengono stampati:
 - i dati
 - il nome dei punti con cui è stata eseguita l'intersezione semplice
 - le coordinate approssimate
 - il sistema delle equazioni generate
 - gli scarti delle equazioni generate
 - le coordinate compensate
 - gli errori quadratici medi delle coordinate compensate.

Esaminando brevemente questi programmi, vediamo che essi, non solo risolvono il problema nella sua posizione generale, ma contemplano casi particolari che, quando si presentano, complicano notevolmente le ordinarie operazioni di calcolo.

Nel primo infatti si tiene conto del fatto che il piú delle volte, data la natura

dei punti di riferimento (in genere punti della rete geodetica nazionale in cui non è possibile fare stazione), è necessario effettuare le misure da stazioni fuori centro; il programma esegue un'analisi preventiva delle stazioni ed effettua la riduzione al centro di quelle eccentriche. Tale riduzione non consiste nel calcolare l'angolo che si sarebbe misurato stando sul punto di coordinate note (procedimento che richiede delle approssimazioni), bensì nel calcolare le coordinate dei punti in cui si è effettivamente fatta stazione, la qual cosa può essere fatta in modo esatto e in accordo con le esigenze della teoria. Una volta effettuata la riduzione al centro per i punti che la richiedono, si determinano per mezzo di una intersezione semplice delle coordinate approssimate del punto incognito. Tali punti, stabiliti dall'operatore che ha eseguito le misure, vengono fissati col criterio di ottenere l'intersezione sotto un angolo sufficientemente ampio; notiamo inoltre che l'intersezione può anche non seguire lo schema classico di questa operazione, ma usufruire di misure rilevate da stazioni che non sono tra loro visibili.

Anche nel programma di intersezione multipla all'indietro occorre determinare le coordinate approssimate del punto incognito; esse si ottengono risolvendo il problema di Snellius con una delle possibili terne di punti noti e relativi angoli misurati. La scelta di questa terna viene fatta dal programma; la precisione della intersezione infatti, dipende notevolmente dalla geometria dei punti che vi intervengono e quindi è opportuno che tali punti siano quanto più possibile discosti dalla situazione che rende il problema indeterminato. È infatti praticamente difficile che si verifichi il caso della soluzione indeterminata, ma può accadere invece che, per essere i punti vicini alla circonferenza critica, si ottenga un risultato scarsamente approssimato, mentre invece è preferibile che i valori iniziali abbiano già una buona approssimazione.

La necessità di avere dei valori approssimati delle coordinate da determinare è dovuto al fatto che la compensazione viene eseguita per variazione di coordinate col metodo delle osservazioni indirette; con tale metodo si esprimono gli angoli di direzione tra il punto incognito e i punti noti in funzione delle coordinate dei medesimi.

Ottenute dunque delle coordinate approssimate del punto, viene eseguita la compensazione per variazione di coordinate col metodo dei minimi quadrati e si determinano le correzioni da apportare alle coordinate approssimate. Prima di accettare il risultato, vengono esaminati gli scarti delle equazioni generate, il cui valore ci dà un indice della precisione con la quale sono state eseguite le misure che hanno dato luogo alle equazioni. Se un'equazione ha uno scarto molto superiore agli altri deve essere eliminata, poiché il suo apporto pregiudicherebbe, anziché migliorare, la precisione delle coordinate incognite. È possibile quindi imporre al programma, in relazione alla precisione con cui si eseguono le misure, un valore massimo che può essere assunto dagli scarti.

Stabilito dunque che non ci sono errori grossolani di misura, il programma apporta alle coordinate approssimate le correzioni ottenute dal sistema normale e quindi calcola l'errore quadratico medio da cui è affetta ciascuna coordinata; in tal modo si può giudicare se la precisione è sufficiente per i fini ai quali l'intersezione deve servire.

I vantaggi tecnici che in questo caso la programmazione ci offre sono dunque i seguenti:

- 1) impostazione delle operazioni di misura secondo uno schema ben determinato
- 2) massima precisione nella esecuzione dei calcoli
- 3) eliminazione di ogni ricerca tabellare
- 4) localizzazione degli errori grossolani di misura
- 5) possibilità di valutare la precisione delle coordinate ottenute
- 6) esecuzione della riduzione al centro per le stazioni eccentriche
- 7) scelta dei punti che piú si prestano alla determinazione delle coordinate approssimate (solo per il programma di intersezione inversa).

Ma esaminando la questione al riguardo del risparmio di tempo e dell'aspetto economico vediamo che anche in questi campi i suoi vantaggi non sono indifferenti. È opportuno premettere però che l'uso dei programmi sulle calcolatrici elettroniche è proficuo e vantaggioso qualora l'entità del lavoro da eseguire sia notevole, mentre ha scarso significato l'usufruirne solo saltuariamente e per lavori limitati.

Per una analisi approssimativa ci riferiamo alla calcolatrice IBM 7040 del Centro di Calcolo del Politecnico di Milano e prendiamo in considerazione il programma di intersezione multipla in avanti. Il programma, che contempla l'uso sia del sistema sessagesimale che centesimale, è in grado di eseguire la determinazione delle coordinate di un punto col relativo errore quadratico medio in 8-10 secondi circa; questo tempo dipende dal numero dei punti noti che intervengono nella intersezione (numero che può variare da 3 a 30), e dalla eventuale presenza di errori grossolani che impongano la ripetizione della compensazione. Alla tariffa che il Centro di Calcolo ha stabilito per gli utenti esterni (che è di circa 160 000 all'ora), la determinazione di un punto implica perciò il costo di circa 400 lire; ad esso si aggiunge quello della perforazione dei dati su schede che è dell'ordine delle 100 lire per ogni punto da determinare e una certa quota (ad esempio 100 lire al punto) per l'uso del programma, qualora esso non sia di proprietà di chi lo impiega ma venga richiesto ad un altro ente. L'operazione di perforazione non richiede alle ditte nessuna attrezzatura particolare, in quanto, una volta eseguita la registrazione dei dati su opportuni moduli standardizzati, essa può venire eseguita direttamente dal personale del Centro di Calcolo. Si può dire quindi che il costo medio sia di circa 600 lire al punto; il che significa che, quando siano stati perforati i dati su schede, in meno di un'ora e con una spesa di circa 180 000 lire si possono avere le coordinate e l'errore quadratico medio di 300 punti.

Ora, anche ammettendo che una persona, con l'aiuto di una calcolatrice a mano, riesca a calcolare le coordinate di un punto mediante intersezioni semplici e la relativa compensazione in circa mezz'ora (e la cosa è poco probabile qualora le stazioni siano eccentriche), si vede che il costo è in tal caso, rispetto al precedente, per lo meno raddoppiato, mentre il tempo passa da un'ora ad almeno venti giorni; e non si avrebbero inoltre i valori degli errori medi, che vengono sostituiti da controlli sulle coordinate ottenute da piú direzioni o da confronti tra angoli di direzione, che sono sempre poco soddisfacenti.

I vantaggi dunque ci sono sia dal punto di vista tecnico che per quanto ri-

guarda tempo ed economia e sono ancora piú notevoli se si affrontano con questo metodo problemi piú complessi, quali possono essere, ad esempio, quello del calcolo della triangolazione di base, quasi sempre necessaria per infittire quella a cui ci si appoggia e per verificarne la precisione; oppure quello del calcolo e della compensazione di reti di poligoni appoggiate a una rete trigonometrica e che si intrecciano comunque tra loro. In tutti questi casi è inoltre possibile ottenere le coordinate dei punti direttamente nella proiezione di Gauss.

I programmi generali già predisposti e applicati automaticamente possono essere perciò adottati non solo in casi sporadici, ma per risolvere ogni problema topografico, per complesso che esso sia; usandoli sistematicamente, gli enti che fanno della fotogrammetria non avrebbero piú l'onere dei calcoli e potrebbero rivolgere la loro attenzione unicamente alla corretta esecuzione delle misure; poiché nessun metodo di calcolo o di compensazione può dare ai risultati una buona precisione se questa non è già stata conseguita nel rilevamento dei dati.

