





alle curve, ed i punti indicati da queste vengono successivamente rilevati dall'operatore che registra le tre coordinate strumentali di ogni punto.

In ogni sezione vengono rilevati un ugual numero di punti a destra ed a sinistra dell'asse, iniziando sempre dall'estremo sinistro. L'apparecchiatura usata al Politecnico di Torino per rilevare le coordinate strumentali, apparecchiatura poco costosa ma molto efficace è visibile nella fig. 2. Gli elettronumeratori del Beta con i cavi opportunamente prolungati sono stati montati su un telaio; di fronte agli elettronumeratori è posta una macchina cinematografica Bell e Howell da 16 mm; gli elettronumeratori sono illuminati con due semplici lampade. Ad ogni collimazione l'operatore fa scattare l'apertura della cinepresa e le tre coordinate vengono fotografate.

Il film viene poi letto comodamente ad un proiettore, in cui gli elettronumeratori appaiono a grandezza naturale.

I dati così registrati vengono riportati su schede o su nastro per essere introdotti nel calcolatore elettronico. Naturalmente l'apparecchiatura più adatta per compiere tale lavoro è un registratore di coordinate, che fornisce direttamente i nastri o le schede per l'elaborazione elettronica.

*Calcolo e montaggio del profilo longitudinale* — Il primo calcolo che viene fatto è l'orientamento assoluto analitico del modello; si calcolano cioè sulla base delle coordinate terreno dei punti noti e delle corrispondenti coordinate strumentali i valori dei parametri che consentono la trasformazione delle coordinate strumentali in coordinate terreno. Vengono calcolati i valori più probabili di tali parametri, dato che in generale si hanno punti in esuberanza. Si può così controllare anche la bontà della restituzione esaminando i residui nei vari punti noti. Dopo di ciò si aggancia automaticamente il calcolo del profilo longitudinale; le schede vengono lette a gruppi corrispondenti ad ogni sezione, vengono individuati e trasformati i dati relativi all'asse su ogni sezione e vengono infine calcolate le distanze parziali e progressive. Il risultato fornito dal calcolatore è il profilo longitudinale scritto (fig. 3). Il profilo longitudinale viene infine montato graficamente affinché il progettista stradale possa determinare le livellette.

*Calcolo di progetto* — Si compila una tabella di dati di progetto, che vengono successivamente perforati su schede. Questa tabella contiene: i raggi orizzontali come si susseguono lungo il tracciato, i raggi verticali, la larghezza della strada, quella delle cunette, le caratteristiche delle scarpate, le caratteristiche dei muri, ed altri parametri determinati dal progettista; avanti ad ogni gruppo di schede di una sezione si mette una scheda, che ha preso il nome di « scheda pilota », in quanto reca indicazioni che pilotano il calcolatore elettronico secondo quanto stabilito dal progettista. I dati generali e poi successivamente i gruppi di schede di ogni sezione vengono letti dal calcolatore, che per ogni sezione fornisce tutti i dati di progetto stampandoli sul modulo della fig. 4. Sono visibili fra l'altro, nella parte inferiore del modello, i dati che descrivono numericamente la sezione di progetto e quella del terreno, sezione che, volendo, può essere montata sulla parte all'uopo destinata.

## AUTOSTRADA GENOVA-SESTRI LEVANTE (Profilo longitudinale)

Trigoso - Entella 1 11200113 100040

X	Y	Q	D PR	SEZ.	D PA
533897,75	901675,55	11,31	,00	1	19,80
533886,53	901691,87	11,41	19,80	2	20,23
533874,99	901708,49	11,36	40,03	3	20,30
533863,40	901725,16	11,05	60,34	4	19,27
533852,72	901741,21	10,90	79,62	5	19,28
533841,22	901757,56	10,95	99,60	6	19,95
533830,03	901774,08	10,90	119,56	7	19,92
533818,78	901790,52	11,34	139,48	8	20,19
533807,40	901807,20	11,04	159,67	9	20,45
533797,11	901724,88	11,39	180,13		19,50

Fig. 3.

Non è opportuno insistere su questo calcolo dato che esula dal campo fotogrammetrico; si vuole solo far notare che effettivamente il programma di calcolo esegue il disegno della sezione stradale, disegno che naturalmente viene eseguito

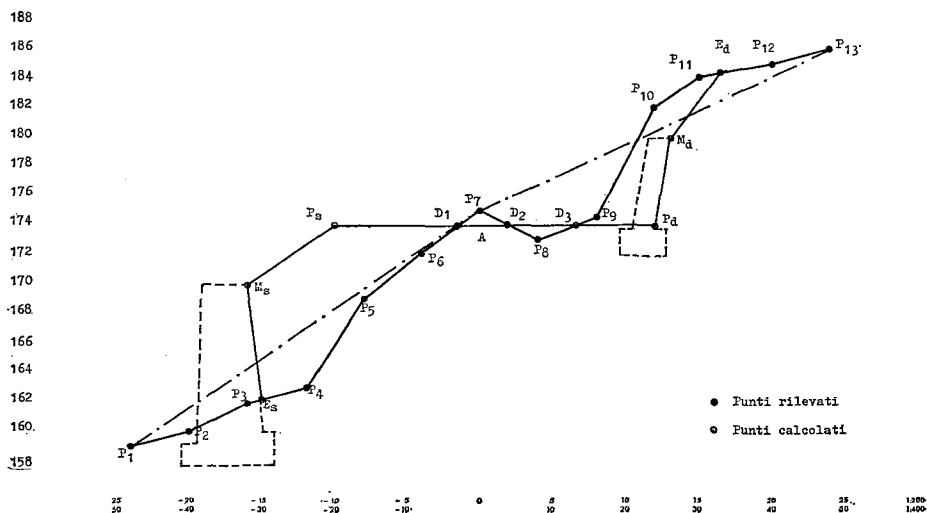


Fig. 5.

per via puramente analitica. Per convincersi di ciò si esamini la sezione riportata in fig. 5. Come si vede, i punti rilevati sul terreno contrassegnati da un dischetto scuro descrivono la sezione del terreno (punti  $P_1, P_2, \dots, P_{13}$ ). Essi sono stati ottenuti trasformando le coordinate strumentali in coordinate terreno, indi ruotando

gli assi in modo da avere la sezione descritta nel sistema distanze-quote. Dopo di ciò il programma determina le quote di progetto sull'asse (punto A), gli estremi della piattaforma  $P_s$ ,  $P_d$ , gli eventuali punti di intersezione  $D_1$  e  $D_2$ , nonché gli estremi della sezione  $E_s$  ed  $E_d$ , e le estremità dei muri  $M_s$  e  $M_d$ . Nella determinazione di questi punti, il programma di calcolo valuta parecchie soluzioni e fissa quelle volute dal progettista e comunicate al calcolatore elettronico mediante parametri numerici.

Giova ricordare a questo proposito che il disegno analitico della sezione fa sì che l'originaria precisione delle quote e delle distanze, sia integralmente sfruttata nei successivi calcoli relativi alle aree ed ai volumi.

Occorrerebbe ora parlare dei risultati e delle precisioni conseguiti da questo procedimento. Esperienze confermano la piena equivalenza, dal punto di vista della zera. Queste esperienze confermano la piena equivalenza, dal punto di vista della precisione, del dato fotogrammetrico al dato rilevato sul terreno. È infatti vero che le quote ricavate per via fotogrammetrica non hanno la stessa precisione di quelle ricavate sul terreno con il tacheometro; se si pensa però che le sezioni sia nel caso fotogrammetrico che in quello tacheometrico sono ricavate per punti, si può facilmente dedurre che la maggior precisione ottenibile con il tacheometro è rapidamente annullata dalle inevitabili accidentalità del terreno. Confermano ciò i confronti fra i volumi finali ricavati per lo stesso tronco, con dati rilevati a terra e con dati fotogrammetrici, eseguiti in uno studio del Ternryd. Qui in Italia il metodo fotogrammetrico-elettronico è stato severamente collaudato su un tronco dell'autostrada Genova-Sestri, su un terreno cioè quanto mai difficile; mancano però ancora i dati ricavati in maniera tradizionale che consentano di effettuare i confronti.

Ciò che si può invece confrontare è la notevole agilità e speditezza del metodo fotogrammetrico-elettronico di progettazione stradale nei riguardi del metodo tradizionale.

Un progettista può effettivamente scegliere il miglior tracciato, inteso in senso tecnico-economico, confrontando progetti che possono essere rapidamente eseguiti, può studiare varianti in breve tempo, può cioè avere benefici sia nella fase degli studi preliminari, che nella fase di affinamento del progetto.

Nel metodo esposto si possono operare cambi delle livellette di progetto con estrema facilità, e provare quindi anche in questo senso diverse soluzioni; ogni variante planimetrica richiede invece il rilievo di nuove sezioni al restitutore. Per evitare il rilievo di nuove sezioni quando si studiano le varianti si stanno mettendo a punto delle tecniche che permettono di rilevare il terreno come piano quotato da cui dedurre le sezioni trasversali nelle posizioni e nelle direzioni volute dai tracciati in studio.

Occorre infine notare, e ciò non meraviglia se si pensa che la Fotogrammetria numerica è agli inizi, che non c'è ancora la necessaria cooperazione fra gli ingegneri progettisti ed i fotogrammetri. È in questo senso che vanno fatti gli sforzi più seri: con una accorta opera di divulgazione e propaganda occorre che gli interessati siano informati, ed occorre che il fotogrammetra faccia di tutto perché l'ingegnere civile lo trovi prezioso e duttile compagno di lavoro.

# La fotogrammetria per progetti di sistemazione dei terreni a scopo irriguo

(Comunicazione presentata all'VIII Convegno della SIFET - Roma 1963)

Ing. GIAN PIERO LE DIVELEC

Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici - Firenze

1. - I primi esperimenti per mettere a punto i dettagli esecutivi di un procedimento di progettazioni irrigue che, ideato e brevettato dal Dr. Giorgio Bellipanni, fu perfezionato dai tecnici dell'Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici (E.I.R.A.), insieme a quelli dell'Organizzazione Tecnica Internazionale (O.T.I.), sono del 1961. Si svolsero in Sardegna e furono controllati dall'Ente Autonomo del Flumendosa.

Nel 1962 il procedimento fu adottato su vasta scala per le progettazioni delle sistemazioni irrigue d'Egitto, sistemazioni in corso ad opera della Italconsult e dell'Impresit. Non è improbabile che nel corso del grandioso lavoro egiziano esso sia suscettibile di ulteriori perfezionamenti. È ancora necessario stabilire una migliore definizione delle correlazioni esistenti da un lato fra i risultati numerici e il materiale fotografico e d'altro canto fra il procedimento d'impiego del materiale stesso e i limiti di accuratezza dei valori numerici calcolati.

Ciò potrà modificare ulteriormente le regole di applicazione del procedimento. Fin da ora però è certo che esso offre, nei confronti di metodi fin'ora usati per scopo analogo, vantaggi non indifferenti e precisamente: una maggiore elasticità di scelta della soluzione più economica, una maggiore rapidità di esecuzione, una minore difficoltà e fatica per gli esecutori.

2. - La sistemazione dei terreni a scopo irriguo deve portare ad un modellamento del terreno tale da consentire lo scolo delle acque superflue, l'adduzione e regolare distribuzione di acque proporzionate alle disponibilità e alle necessità delle culture, la razionale ripartizione dei campi secondo criteri agrari e sociali (elemento della progettazione, questo, non indifferente e non poco delicato).

I limiti di variabilità consentiti al progettista costituiscono i così detti « parametri imposti »; essi sono ad esempio le pendenze minime e massime dei canali di vario tipo e del terreno dopo la sistemazione, l'estensione della proprietà e dei campi, la superficie massima e minima dei gruppi di campi (comizi) che saranno contemporaneamente serviti d'acqua, ecc.

Entro i limiti dei « parametri imposti » progettista e realizzatore devono trovare la sistemazione realizzabile con la minor spesa, la sistemazione cioè attuabile con i minori spostamenti di terra, col minor percorso ai canali, col minor quantitativo di opere (sifoni, ponticelli, salti, ecc.).

Uno studio accurato della morfologia, anzi della micromorfologia del suolo, è evidentemente necessario. Questo studio deve essere condotto operando una sintesi fra l'attuale morfologia, la già predisposta ubicazione delle opere irrigue principali, e le possibili operazioni di sistemazione e modellamento di dettaglio.

L'originalità dell'idea del Bellipanni è insita innanzitutto nel sostituire ai sopraluoghi, all'esame di carte ecc. una osservazione stereoscopica dell'immagine fotografica del terreno da sistemare ed una fotointerpretazione della micromorfologia del suolo.

Con il gran parlare che da anni si va facendo intorno alla fotointerpretazione e alle sue molteplici applicazioni, potrebbe sembrare che l'invenzione del Bellipanni: « sostituire al sopraluogo per il progetto di sistemazione del suolo, la fotointerpretazione stereoscopica della micromorfologia », non rappresenti proprio niente di nuovo. Eppure qualcheduno doveva pensarci e soprattutto doveva trovare il modo di rendere utilizzabile ai fini progettuali questa fotointerpretazione. Credo anzi che, nonostante la parvenza di uovo di Colombo, la messa a punto del procedimento e del materiale da utilizzare per la nostra fotointerpretazione sia passibile di ulteriori perfezionamenti.

Si tratta di creare una tecnica che richieda sempre meno ai fotointerpreti specializzati una alta qualificazione (direi quasi genialità). Questa qualificazione li rende oggi difficilmente reperibili.

Al momento attuale i documenti fotografici utilizzati per la fotointerpretazione sono ingrandimenti raddrizzati delle fotografie originali. La scala di questi ingrandimenti è uguale a quella di una carta topografica disponibile (1:2500). Gli ingrandimenti raddrizzati portano il tracciato delle opere principali, tracciato dedotto dalla progettazione delle opere stesse, e portano anche la segnalazione di tutti i punti di riferimento noti.

Questa segnalazione, l'ingrandimento e il raddrizzamento alla scala della carta disponibile, servono innanzitutto per un corretto riporto del suddetto tracciato. Ma servono anche per seguire con l'aiuto della carta topografica plano altimetrica di cui disponiamo l'aspetto micromorfologico del terreno.

Il fotointerprete infine solo con gli ingrandimenti raddrizzati acquista la capacità di apprezzare le variazioni locali di pendenza, l'andamento generale e per blocchi del terreno, la posizione di linee dominanti (anche se tenuamente) ecc. apprezzamento per il quale il riferimento alle linee di livello della carta topografica è utilissimo perché consente saltuari controlli.

Il fotointerprete ha il compito di dividere il terreno in particelle irrigue (ecco la necessità di una scala ben nota e regolare) e riesce anche (salvo rare eccezioni) a definire pei canaletti di adacquamento (canali di IV ordine) la posizione più economica, quella cioè che consente di addurre e distribuire l'acqua a terreno modellato, con il più economico lavoro di spostamento di terra nell'interno della parcella e di costruzione di opere d'arte lungo i canali.

3. - La necessità di osservare stereoscopicamente gli ingrandimenti raddrizzati ha richiesto la predisposizione di particolari tipi di stereoscopi, i quali oltre a consentire la osservazione devono permettere al progettista di disegnare sulle fotografie.

Quando le fotografie originali sono, come nel nostro lavoro, alla scala 1:10000 ed hanno il formato  $23 \times 23$ , ingrandite alla scala 1:2500 assumono le dimensioni di  $92 \times 92$ . Tenuto conto dell'ingombro gli assi di osservazione monoculari dei due rami di uno stereoscopio, che ne consente l'osservazione, devono essere a circa 95 cm l'uno dall'altro.

Si tratta di uno stereoscopio un po' diverso da quelli normalmente usati dai fotointerpreti. Uno di quelli da noi impiegati è a specchi, sostenuto da un pantografo analogo a quello dei tavoli da disegno, può, nonostante le grandi dimensioni e il campo necessariamente ridotto, esplorare tutto il fotogramma.

Le dimensioni d'ingombro sono invece ridotte nell'altro stereoscopio montato su carrello scorrevole per i 92 cm nel senso normale alla direzione di volo ma con movimento assai ridotto nell'altro senso e con gli assi di osservazione alquanto ravvicinati.

Gli ingrandimenti raddrizzati sono poggiati su un tavolo che ha una fenditura centrale, fenditura nella quale essi si inseriscono in parte. Le zone omologhe possono restare ad una distanza analoga a quella di uno stereoscopio per l'esame di fotografie non ingrandite (25 cm circa).

4. - Il lavoro del fotointerprete sostituisce quello che precedentemente, per analoghe progettazioni, il progettista ed i suoi collaboratori compivano sulla carta topografica e con sopraluoghi.

È evidente che ove si disponga di una carta topografica plano-altimetrica molto accurata e dettagliata (diciamo per esempio con curve alla equidistanza di 5 o 10 cm) l'impiego di fotointerprete non sarebbe necessario. A conti fatti però il costo elevatissimo di una carta del genere inciderebbe sul costo della progettazione in modo tale da renderlo molte volte superiore a quello del procedimento Bellipanni.

La carta topografica dettagliatissima eliminerebbe anche le necessità di una osservazione diretta (sopraluogo) del terreno, ma costerebbe di più.

La fotointerpretazione riesce pure ad eliminare la necessità del sopraluogo, anzi pone il progettista in condizioni vantaggiose rispetto all'altro che va a guardare il terreno perché consente osservazioni d'insieme (di blocco) alternate con osservazioni di dettaglio e permette quindi di risolvere problemi di dettaglio senza perder di vista le necessità globali della sistemazione.

Questa particolare possibilità del procedimento costituisce una sua caratteristica saliente e un suo merito notevole. Evidentemente anche la dettagliatissima carta topografica raggiungerebbe lo stesso scopo, ma, abbiamo detto, lo farebbe in modo assai più costoso. Il sopraluogo non consente l'osservazione di insieme o di blocco perché il terreno pianeggiante, non offre punti di osservazione dominanti.

5. - Stabilito il parcellamento (e, come abbiamo visto, il Bellipanni compie questa prima fase del progettare con fotointerpretazione) il progettista dell'opera irrigua deve stabilire alcuni elementi numerici che costituiscono gli ordini, le indicazioni indispensabili all'esecutore. In primo luogo questi elementi numerici servono a stabilire il costo del lavoro di sistemazione e i conseguenti accordi fra l'esecutore e l'ente pagante. In secondo luogo essi servono per realizzare l'opera in modo da conservarle l'aderenza fra la esecuzione e la progettazione. È chiesto in definitiva al progettista di far conoscere le quote altimetriche future di alcuni punti caratteristici delle particelle e la pendenza del terreno a sistemazione avvenuta, in modo che lo spianatore abbia dei sicuri riferimenti nel movimento della terra, è chiesto pure di comunicare quale è il volume di scavo necessario per ottenere che a spianamento avvenuto la superficie della particella sia un piano ed abbia la pendenza prescelta,



è chiesto infine di studiare il profilo dei canali, la posizione e l'entità delle opere d'arte lungo i canali.

La disponibilità di un piano quotato nel quale le quote fossero segnate a distanze più o meno ravvicinate (secondo la micromorfologia del suolo) costituirebbe una base per tutti questi calcoli.

La maggiore o minore attendibilità dei risultati del calcolo è ovviamente connessa alla attendibilità delle quote misurate. Dal come misurare le quote e dal come esse vengono segnate può dipendere la frequenza di errori e la difficoltà di esecuzione dei successivi calcoli, e a parità d'ogni altro elemento può dipendere la maggiore o minore rapidità, il più o meno elevato costo della progettazione.

Il Bellipanni giudicò che l'attendibilità delle misure di quota altimetrica ottenute da resituzione fotogrammetrica fosse sufficiente allo scopo. Noi abbiamo messo a punto un procedimento di rilevamento (in gran parte fotogrammetrico) che, al momento attuale e con i fotogrammi di cui disponiamo in Egitto (immagini spesso incerte a causa di bassa nube di sabbia, quota di volo intorno ai 1500 m) fornisce le misure delle quote con una precisione sufficiente perché i dati calcolati abbiano una attendibilità ancora accettabile e probabilmente non inferiore, come mostriamo in seguito, a quella che si potrebbe conseguire con procedimento ordinario e corrente di livellazione su grandi superfici.

Valendoci dell'esperienza acquisita e basandoci sopra un bilancio economico fra le spese dei molteplici controlli impostici dalle condizioni tecniche delle fotografie di cui disponiamo e il costo della ripetizione di un nuovo volo, ci siamo convinti che converrà non appena la stagione ce lo consentirà, raccogliere in Egitto nuove fotografie e insistere per averne di fotograficamente ottime.

Riteniamo che la quota relativa di volo più idonea al nostro scopo sia compresa fra gli 800 e i 1000 m.

6. - Prima di descrivere i dettagli esecutivi mi preme richiamare la vostra attenzione sui vantaggi della misura delle quote altimetriche con restituzione fotogrammetrica anziché con procedimento ordinario di livellazione. Le sviste per calcolo di quota, trascrizioni, ricopiatura da registri ecc. sono, nella misura fotogrammetrica, ridotte al minimo. Qualora si disponga di apparato di restituzione completo di registrazione automatica di coordinate e tale registrazione avvenga su nastro perforato, gli errori per trascrizioni o impostazione dei calcoli sono assolutamente eliminati. Sono pure eliminati gli errori nel calcolo della quota eventualmente provocati da somme e differenze di letture di stadia. Infatti l'apparato di restituzione dà la quota del punto quotato direttamente, con la livellazione topografica classica invece si misura la differenza di livello fra i punti su cui poggiano due stadi.

La giusta distribuzione dei punti a intervalli prefissati è evidentemente assai più facile e meno laboriosa.

Sopprimendo l'operazione di misura al suolo si riduce la fatica del geometra, e contemporaneamente si riesce ad utilizzare meglio (come noi ci proponiamo di fare appena possibile) le giornate più idonee per effettuare le misure. Noi dovremo in quelle giornate più idonee fotografare e poi quelle fotografie (buone) saranno sempre a nostra disposizione anche quando sul terreno non si veda oltre il proprio naso.

È noto come sia difficile trovare le ore buone e le giornate buone per fare della

buona e rapida livellazione. Si consideri come ciò diventi difficile per le grandi estensioni da livellare in zone desertiche e clima torrido.

L'impiego della livellazione per aerofotogrammetria consente infine di semplificare tutto il procedimento di trascrizione o registrazione cartografica o catalogazione dei punti quotati perché la individuazione della posizione del punto e cioè le sue coordinate planimetriche (la cui conoscenza è indispensabile per una parte degli elementi da calcolare) può essere ridotta alla iscrizione (eventualmente automatica) di un numero codice, quando si adottino certi criteri nella successione della quotatura dei punti.

7. - Probabilmente è a motivo della qualità delle foto di cui disponevamo e disponiamo tuttora che abbiamo dovuto escogitare alcuni accorgimenti costituenti il nostro attuale metodo di lavoro.

Sono convinto che quando avremo fotografie migliori sarà sufficiente conservare una parte ridotta degli attuali accorgimenti ausiliari. In tal modo ridurremo il costo della progettazione e compenseremo forse interamente la maggior spesa per il volo a quota più bassa.

7.1. - Innanzi tutto noi ci siamo preoccupati di eliminare, o ridurre al minimo l'influenza degli errori (anche secondari) di misure di quota fotogrammetrica che conservano una certa uniformità locale nelle varie zone del modello ma variano da zona a zona.

Questi errori, come è noto, possono essere provocati da cause imponderabili e incontrollabili quali le deformazioni locali del materiale fotografico, le accidentalità locali della correzione di distorsione, le piccole imperfezioni nella stampa delle foto, le piccolissime irregolarità nell'apparato di restituzione.

Abbiamo inviato in campagna squadre di topografi col compito di materializzare il progetto sul terreno, lasciando dei picchetti che tracciano i limiti del parcellemento ed il percorso delle opere (canali, strade, ecc.).

Questo incarico comporta necessariamente l'uso di strumenti topografici di misura diretta. Abbiamo aggiunto l'incarico di quotare i punti picchettati. Con le misure planimetriche trasmesse dalla campagna costruiamo una carta dei picchetti ovvero una planimetria non più di progetto, ma della materializzazione del progetto.

Vi saranno inevitabili discordanze tra le due mappe: quella del progetto e quella della materializzazione. Ove le discordanze siano tollerabili si accetta come progetto definitivo quello materializzato, altrimenti vengono trasmessi in campagna gli ordini di correzione e rifacimento.

Finalmente noi diamo al restituitista il grafico del parcellemento materializzato a terra, sul quale egli deve distendere la sua rete di quote (la maglia dei punti quotati ha assai spesso la frequenza 20 metri, più raramente 10 metri; varia cioè da un minimo di 25 punti quotati per ettaro ad un massimo di 100).

Il restituitista effettua l'orientamento assoluto del modello utilizzando i consueti 5 punti (4 ai bordi ed 1 centrale), ma dispone di molti altri punti (ve ne sono dai 40 ai 50 per ogni modello nel lavoro egiziano) di quota nota: i vertici di parcella ad esempio.

Il restituista controlla meglio l'orientamento portando la punta scrivente sul picchetto e misurandone la quota restituita; egli riesce così ad eliminare certi errori di apprezzamento personale che possono essere causati dalla poca nitidezza delle immagini fotografiche.

Ciò che ci preme di più è che per ogni picchetto possiamo disporre di due valori di quota, quello misurato in campagna e quello ottenuto per restituzione. Utilizziamo questa conoscenza innanzi tutto per affinare (per così dire) l'orizzontamento dato al modello con una correzione delle quote seguendo un polinomio di 2° ordine in funzione delle coordinate planimetriche.

I sei coefficienti del polinomio sono scelti in modo da minimizzare la somma degli scarti quadratici residui su tutti i punti noti (sistema di  $n$  equazioni, in 6 incognite).

Successivamente apportiamo una ulteriore correzione alle quote restituite con un ritocco locale (parcella per parcella) eseguito seguendo una legge lineare per ogni porzione quadrangolare di terreno. Con questo ritocco locale delle quote riteniamo di essere riusciti ad eliminare, almeno parzialmente, le conseguenze delle imponderabili irregolarità localizzate nelle varie zone del modello.

7.2. - Come sarà reso evidente da alcuni successivi dati numerici se gli accorgimenti di cui sopra sono utili per aumentare l'attendibilità delle misure raccolte, essi non eliminano il pericolo di errori grossolani o di errori accidentali di entità eccezionale.

Qualunque sia il metodo di misura adottato la possibilità di questi guai è inevitabile. Purtroppo nel caso della sistemazione irrigua le conseguenze dannose di un errore eccezionale sono sgradevolissime, esse possono anche influire su particelle adiacenti e sul profilo completo di canali, per cui possono recar danno a lavori già eseguiti e richiedere correzioni e ritocchi di modellamento su vaste superfici contigue.

L'esecutore per svincolarsi dall'errore deve adottare provvedimenti diversi e complessi secondo i casi, provvedimenti che non possono essere affidati agli esecutori materiali, ma domandano l'intervento di un dirigente consapevole della situazione generale e delle direttive fondamentali del progetto.

Abbiamo sperimentalmente constatato che per la eliminazione quasi completa di questi errori eccezionali occorre disporre di almeno due serie di misure di quote fotogrammetriche che si confermino. Ciò che comporta generalmente un massimo di tre misure. Le serie di misure devono essere assolutamente indipendenti fra loro (orientamento ex novo e ripetizione di tutte le misure).

Il procedimento della ripetizione, se condotto in determinati modi consente di aumentare la ampiezza della maglia e consente anche di semplificare alcuni calcoli (medie aritmetiche anziché medie ponderate). La maggiore spesa provocata dalla ripetizione delle misure è compensata oltre che dalla maggior sicurezza della esecuzione anche della riduzione di altre spese ai progetti.

7.3. - Abbiamo già fatto osservare che la livellazione fotogrammetrica riduce notevolmente la possibilità di commettere alcuni tipi di errori involontari di misura o di calcolo di quota.

Ogni quota fornita dalla restituzione è però misurata indipendentemente dalle quote dei punti adiacenti. Nella misura topografica classica la quota di ogni punto è invece connessa (perché si misurano delle differenze di quota) alla quota di punti vicini. È più difficile quindi, nel caso della misura diretta il manifestarsi di incongruenze o irregolarità ingiustificate dalla effettiva morfologia del terreno.

Col nostro procedimento fotogrammetrico abbiamo dovuto escogitare un modo di eliminare gli errori grossolani di lettura o di altra origine come ad esempio quelli nei quali si è fatto una trasposizione di cifra o uno spostamento di virgola: è scritto 88,19 anziché 88,91 ovvero 8,81 anziché 88,10.

I cataloghi di quote fornite dalla restituzione se disposti con certo criterio, in modo cioè che siano avvicinati i punti adiacenti, consentono di eliminare visualmente molti di questi errori (generalmente e fortunatamente non frequenti), si può per esempio ritenere dubbie le quote di due punti adiacenti (che sono ad intervallo uniforme) quando la differenza di quota superi un certo valore (la pendenza locale divenga eccessiva) definito caso per caso dalla pratica.

In pratica poi quando, come noi facciamo, il calcolo è affidato ad una calcolatrice elettronica e i dati sono schedificati è ulteriormente possibile una cernita ed una eliminazione di schede errate usando la stessa calcolatrice alla quale con apposito programma viene passato l'ordine di analizzare la logica dei dati segnati su una scheda e analizzare se essi sono logicamente accettabili (in base ad una pendenza teorica massima del terreno) in confronto a dati segnati sulle schede dei punti circostanti.

8. - Abbiamo fin qui dettagliatamente esposto le caratteristiche fondamentali ed originali del procedimento ideato dal Dott. Giorgio Bellipanni per progettare sistemazioni irrigue con l'ausilio delle fotografie aeree e delle misure fotogrammetriche.

Abbiamo messo in evidenza i vantaggi del metodo e gli accorgimenti finora escogitati per ottenere, compatibilmente con le caratteristiche tecniche dei mezzi disponibili, risultati sufficientemente buoni. Accenniamo appena alla possibilità che le calcolatrici elettroniche offrono per rendere meno faticoso il calcolo di progetto.

L'uso della calcolatrice elettronica nelle progettazioni irrigue è indipendente dall'impiego di uno o di un altro metodo di progettazione e di misura.

Evidentemente è stata nostra cura sfruttare le caratteristiche del metodo fotogrammetrico per facilitare, in quanto possibile, la trasmissione di ordini alla calcolatrice.

Il numero delle operazioni di calcolo da compiere non è indifferente. Il nostro programma è stato predisposto per la IBM 704, stiamo però cercando di modificare ed adattare i calcoli ed i dati raccolti alle necessità del progettista quali ci sono apparse evidenti nei lavori finora compiuti. Il programma quindi che stiamo attualmente usando subirà notevoli modifiche e ne parleremo in altra sede e a tempo debito.

Dal calcolo elettronico si ottiene già o si otterrà con la modificazione del programma:

a) la compensazione e correzione delle quote sulla base dei punti quotati noti (i vertici di parcelle);

b) la quota media e la superficie dell'appezzamento (parcella), la quota media deve corrispondere alla quota assoluta sul livello del mare del piano realizzabile spianando e orizzontando il terreno contenuto nei limiti della parcella;

c) la pendenza (orientamento e entità) media naturale della parcella che equivale alla pendenza di un piano realizzabile con la terra disponibile operando il minor spostamento di terra.

d) la pendenza da realizzare, contenuta nei parametri imposti, la più economica ed il conseguente movimento di terra, nonché le quote future dei vertici della parcella.

e) la quota di fondo e la lunghezza dei canali, nonché i movimenti di terra necessari a realizzarli.

f) le superfici degli appezzamenti della proprietà, dei comizi, dei distretti e dei compressori, ed altri elementi accessori.

Alcuni di questi dati servono al progettista per la scelta di soluzioni più economiche, quando la scelta è consentita. Altri servono per i computi metrici.

Non ci soffermeremo ulteriormente su questo argomento, ne ripareremo in altra sede. Qui ci interessa far rilevare che ai fini della progettazione irrigua assume maggior importanza la corretta valutazione di quote medie calcolate utilizzando misure di quote in vari punti che non la valutazione accuratissima di poche quote isolate.

Per questo motivo i controlli di sondaggio che abbiamo eseguito sono basati sul calcolo di quote medie, intendendo come tali le medie di tutte le quote comunque misurate sul terreno contenuto fra i limiti di una parcella.

La calcolatrice farà in alcuni casi delle medie aritmetiche, in altri delle medie ponderate, ma tutti i dati calcolati sono sempre il risultato di calcoli di valori medi.

Consideriamo, a titolo di esempio, il calcolo delle quote future dei vertici. Queste quote sono assai poco dipendenti dalle quote attuali degli stessi punti, per determinarle infatti si dovrà: calcolare il volume di terra attualmente contenuto fra un piano orizzontale di paragone (quello per esempio al livello del mare) e la superficie del terreno interpolata, secondo una legge giudicata logica, fra i punti quotati (interni o lungo le linee di limite della parcella); determinare l'equazione di un piano che, con la pendenza imposta dai « parametri » possa, rispetto allo stesso riferimento, dare identico volume; calcolare infine l'intersezione di questo piano con le verticali per i vertici della parcella.

È evidente come le quote future dei vertici siano connesse alle misure di tutte le quote nell'interno della parcella e quindi alla quota media.

9. - Per esprimere un giudizio sul procedimento di progettazione irrigua fotogrammetrico ideato dal Bellipanni e messo a punto dalla EIRA e dalla OTI mi sembrano necessari due tipi di controlli. Il principale è fornito dai risultati della realizzazione dei progetti stessi.

Attualmente le macchine della Impresa « Bonifica » (la Impresa e la Intersult) stanno spianando il terreno nel distretto di Isna in Egitto secondo le direttive del progetto che noi abbiamo eseguito col procedimento fotogrammetrico. Non-

stante la inevitabile e talvolta giustificata titubanza degli esecutori che si sono trovati a dover realizzare un lavoro alquanto impegnativo basandosi sopra un procedimento di progettazione nuovo, nonostante la consuetudine che porta ognuno di noi ad incolpare altri dei guai, nei quali ci veniamo a trovare, il collaudo « psicologico » del distretto di Isna mi sembra abbastanza soddisfacente perché gli impropri e le recriminazioni della impresa esecutrice contro i progettisti sono ridotti in limiti molto modesti e manifestati con correttezza veramente encomiabile.

Per un controllo numerico abbiamo ripetuto prima e dopo lo spianamento la livellazione di una certa superficie con il livello sul terreno, abbiamo ripetuto almeno tre volte la livellazione fotogrammetrica ed abbiamo calcolato le quote medie di ciascuna parcella come media aritmetica delle quote misurate.

Nella tav. 1 e nella Tav. 2  $T_0$  è la quota media dedotta da misure topografiche prima dello spianamento  $T_1$  e  $T_2$  la stessa quota ottenuta per misure topografiche dopo lo spianamento,  $R_1$   $R_2$   $R_3$  quote medie ottenute da misure fotogrammetriche con maglie di 10 o 20 metri  $R_m$  la media di queste quote medie.

Si sono esaminati i valori di  $R_1$   $R_2$   $R_3$  confrontandoli con  $R_m$  e si è constatato che 5 valori nella Tav. 1 ed uno nella Tav. 2 differiscono di più di 10 cm dai valori medi (i valori della Tav. 2 sono compensati).

La compensazione è evidentemente utile; essa è stata effettuata nei modi detti (in 7.1.).

Abbiamo calcolato gli scarti  $t_1$  e  $t_2$  dei valori  $T_1$  e  $T_2$  rispetto a  $T_0$ , constatato che essi erano dello stesso ordine di grandezza degli scarti di  $R_1$   $R_2$   $R_3$  rispetto a  $T_0$ , quando si siano eliminati i valori sicuramente errati. Abbiamo adottato come valore più attendibile delle quote medie, il valore  $H_m$  che è la media dei  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

(I valori medi quadratici di  $t_1$  e  $t_2$  sono rispettivamente  $\pm 3,73$  cm e  $\pm 6,35$  cm., il valore medio quadratico dello scarto  $r = T_0 - R_m$  è prima della compensazione  $\pm 9,02$  cm e dopo  $\pm 4,24$  cm).

Nelle tab. 1 (dei valori bruti) e 2 (dei valori compensati) sono infine riportati gli scarti  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  ed  $r_m$  fra  $H_m$  ed  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ed  $R_m$ .

Gli scarti quadratici medi sono rispettivamente in cm.

prima della compensazione	$\pm 3,98$	$\pm 5,47$	$\pm 6,78$	$\pm 4,26$
dopo la compensazione	$\pm 4,10$	$\pm 4,97$	$\pm 4,87$	$\pm 2,00$

La compensazione quindi non apporta nessuna variazione notevole allo scarto quadratico medio dei singoli valori. Riduce del 50% lo scarto quadratico medio dei valori medi delle quote medie delle parcelle.

9.1. - Inoltre la compensazione riduce gli errori grossolani della quota media che da 5 su 66 passano ad 1 su 66 (intendendo nel nostro caso errori grossolani di misura quelli nei quali le quote medie risultano di almeno 10 cm diverse dalla media ( $R_m$ ) delle quote medie).

9.2. - Migliora la distribuzione degli scarti. Intorno all'errore medio quadratico si ha:

	prima	e dopo la compensazione
scarti compresi fra $0 \times$ e $1 \times$	58	54
scarti compresi fra $1 \times$ e $2 \times$	16	27
scarti superiori a $2 \times$	10	3
	—	—
totale	84	84

9.3. - Nonostante la già segnalata deficienza delle fotografie la quota media delle parcelle ottenuta come media delle quote medie fotogrammetriche scarta in media dal valore teorico di  $\pm 4,26$  cm se non compensata e di  $\pm 2,00$  cm se compensata.

Esaminiamo i singoli valori della colonna r della tab. 2 si vede come il valore assoluto dello scarto supera i 3 cm solamente per 3 parcelle su 22 e non raggiunge mai i 4 cm.

Crediamo di poter essere soddisfatti e di essere riusciti a dare una garanzia sufficiente all'esecutore. Riteniamo che i futuri miglioramenti serviranno a ridurre le incertezze ma i risultati numerici sono già soddisfacenti.

10. - Con i dati delle misure topografiche e con quelli delle misure fotogrammetriche sono stati calcolati i movimenti di terra necessari per dare alle singole particelle la pendenza piú conveniente o per essere piú esatti quella stabilita dal progettista.

Volevamo con questo confronto dimostrare all'esecutore che i dati economici forniti dal nostro progetto erano, almeno per la parte principale: i movimenti di terra, da lui accettabili con tranquillità.

La tabella 3 fornisce i risultati dei calcoli dei volumi desunti da misure topografiche  $V_t$  e da misure fotogrammetriche  $V_f$  per 14 parcelle scelte a caso in un modello. La colonna  $S_v = V_t - V_f$  ci dà lo scarto fra gli uni e gli altri volumi; in A abbiamo riportato la superficie di ogni parcella ed  $s$  esprime in  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  la variazione media di volume. Essa rappresenta cioè l'alzamento o l'abbassamento da dare alla quota media della parcella perché i volumi di spostamento risultino eguali. Il valore di  $s$  solamente 4 volte ha superato 1 cm senza mai raggiungere in valore assoluto i 2 cm.

Nel complesso delle 14 parcelle l'errore di calcolo di volume è stato di 7 mc (la superficie complessiva è di 13 ettari).

Ritengo che questi dati provino a sufficienza la attendibilità delle misure fotogrammetriche usate nel metodo di progettazione del Bellipanni.

Se poi si considera che sui 13 ettari di cui diamo alcuni dati nella 3.a tabella il movimento di terra previsto è di circa 12000 metri, si rileva che il progettista è riuscito a realizzare il suo compito con movimenti di terra inferiori ai 920 mc per ettaro. A detta degli esperti questo risultato è assai soddisfacente e sta a dimostrare come la fotointerpretazione abbia permesso di valutare convenientemente la micro-morfologia del suolo.

TAV. 1. - Quote medie delle parcelle prima della compensazione

N° plots	Hm topog. prima di spianare	Hm topog. dopo lo spianam.	T <sub>1</sub>	Hm topog. dopo lo spianam.	T <sub>2</sub>	I Restit. M. 20 da comp.	R <sub>1</sub>	II Restit. M. 10 da comp.	R <sub>2</sub>	III Rest. M. 20 da comp.	R <sub>3</sub>	$\frac{R_1+R_2+R_3}{N}$	Rm	To --- Rm	r	To --- T <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	To --- T <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>	$\frac{T_1+T_2+T_3}{R_1+R_2+R_3}$	Hm	R <sub>1</sub> Hm - R <sub>2</sub> Hm - R <sub>3</sub> Hm	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	Hm - R <sub>3</sub>	$\frac{r_1+r_2+r_3}{N}$
1	88.91	88.92	—	88.90	88.73	88.92	88.910	0	—	1	—	88.912	+ 1.2	+ 18.2	—	0.8	—	—	—	—	88.912	+ 1.2	+ 18.2	—	0.8	—	0.2
2	88.84	88.89	88.72	88.75	88.57	88.70	88.725	+ 11.5	+ 12	5	+ 12	88.780	+ 3.0	+ 21.0	+ 8.0	—	—	—	—	—	88.780	+ 3.0	+ 21.0	+ 8.0	—	—	5.5
3	88.38	—	88.36	88.40	88.31	88.31	88.340	+ 4.0	+ 2	—	+ 2	88.352	+ 4.8	+ 4.2	+ 4.2	—	—	—	—	—	88.352	+ 4.8	+ 4.2	+ 4.2	—	—	1.2
4	87.95	87.92	87.94	87.96	87.93	87.95	87.947	+ 0.3	+ 1	—	+ 1	87.942	+ 1.8	+ 1.2	+ 0.8	—	—	—	—	—	87.942	+ 1.8	+ 1.2	+ 0.8	—	—	0.4
5	87.43	87.44	87.43	87.39	87.41	87.37	87.390	+ 4.0	+ 0	—	+ 0	87.412	+ 2.2	+ 0.2	+ 4.2	—	—	—	—	—	87.412	+ 2.2	+ 0.2	+ 4.2	—	—	2.2
6	87.01	86.98	86.99	87.02	87.01	86.97	87.000	+ 1.0	+ 2	—	+ 2	86.997	+ 2.3	+ 1.3	+ 2.7	—	—	—	—	—	86.997	+ 2.3	+ 1.3	+ 2.7	—	—	0.3
7	88.85	88.90	88.83	88.80	88.67	88.73	88.733	+ 11.7	+ 2	—	+ 2	88.797	+ 10.0	+ 12.7	+ 6.7	—	—	—	—	—	88.797	+ 10.0	+ 12.7	+ 6.7	—	—	6.3
8	—	88.48	88.55	86.65	88.55	88.52	88.573	—	—	—	—	88.550	+ 10.0	0	+ 3.0	—	—	—	—	—	88.550	+ 10.0	0	+ 3.0	—	—	2.3
9	88.49	88.44	88.34	88.46	88.47	88.45	88.460	+ 3.0	+ 15	—	+ 15	88.442	+ 1.8	+ 2.8	+ 0.8	—	—	—	—	—	88.442	+ 1.8	+ 2.8	+ 0.8	—	—	1.8
10	88.14	88.14	88.06	88.06	88.08	87.94	88.027	+ 11.3	+ 8	—	+ 8	88.070	+ 1.0	+ 1.0	+ 13.0	—	—	—	—	—	88.070	+ 1.0	+ 1.0	+ 13.0	—	—	4.3
11	87.65	87.64	87.64	87.61	87.62	87.37	87.615	+ 3.5	+ 1	—	+ 1	87.632	+ 2.2	+ 1.2	+ 26.2	—	—	—	—	—	87.632	+ 2.2	+ 1.2	+ 26.2	—	—	1.7
12	87.05	86.99	86.99	86.97	86.98	87.09	87.013	+ 3.7	+ 6	—	+ 6	87.012	+ 4.2	+ 3.2	—	—	—	—	—	—	87.012	+ 4.2	+ 3.2	—	—	—	0.1
13	—	—	88.86	88.53	88.47	88.56	88.520	—	—	—	—	88.520	+ 0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 0.7	—	—	—	—	—
15	88.76	88.70	88.70	88.68	88.65	88.63	88.653	+ 10.7	+ 6	—	+ 6	88.687	+ 4.2	+ 3.7	+ 5.7	—	—	—	—	—	88.687	+ 4.2	+ 3.7	+ 5.7	—	—	3.4
16	88.32	88.29	88.33	88.32	88.22	88.19	88.243	+ 7.7	+ 3	—	+ 3	88.278	+ 1.8	+ 5.8	+ 8.8	—	—	—	—	—	88.278	+ 1.8	+ 5.8	+ 8.8	—	—	3.5
17	87.67	87.69	—	87.70	87.66	87.69	87.683	+ 1.3	+ 2	—	+ 2	87.682	+ 2.2	+ 2.2	+ 0.8	—	—	—	—	—	87.682	+ 2.2	+ 2.2	+ 0.8	—	—	0.1
18	87.14	87.07	—	87.15	87.13	87.26	87.180	+ 4.0	+ 7	—	+ 7	87.150	0	+ 2.0	+ 11.0	—	—	—	—	—	87.150	0	+ 2.0	+ 11.0	—	—	3.0
22	88.47	88.45	88.50	88.46	88.26	88.26	88.260	+ 21.0	+ 2	—	+ 2	88.388	+ 7.2	+ 12.8	+ 12.8	—	—	—	—	—	88.388	+ 7.2	+ 12.8	+ 12.8	—	—	12.8
23	87.53	87.50	—	87.55	87.62	87.40	87.585	+ 5.5	+ 3	—	+ 3	87.550	0	+ 7.0	+ 15.0	—	—	—	—	—	87.550	0	+ 7.0	+ 15.0	—	—	3.4
24	87.39	87.37	—	87.33	87.28	87.26	87.290	+ 10.0	+ 2	—	+ 2	87.326	+ 0.4	+ 4.6	+ 6.6	—	—	—	—	—	87.326	+ 0.4	+ 4.6	+ 6.6	—	—	3.6
30	88.40	88.37	—	88.17	88.24	88.22	88.210	+ 19.0	+ 3	—	+ 3	88.280	+ 11.0	+ 4.0	+ 6.0	—	—	—	—	—	88.280	+ 11.0	+ 4.0	+ 6.0	—	—	7.0
31	87.41	87.38	—	87.36	87.29	87.39	87.347	+ 6.3	+ 3	—	+ 3	87.366	+ 0.6	+ 7.6	+ 2.4	—	—	—	—	—	87.366	+ 0.6	+ 7.6	+ 2.4	—	—	1.9
							N	116.9	33	51	19		20	19								20	19				21





TAV. 3. - *Confronto di volumi*

N°	V t mc	V f mc	S <sub>v</sub> V t - V f mc	A m <sup>2</sup>	S <sub>v</sub> <sup>s</sup> S <sub>v</sub> / A cm
2	1173	1153	+ 20	10643	+ 0.18
3	825	769	+ 56	10470	+ 0.53
4	824	871	- 47	10726	- 0.43
5	938	980	- 42	8890	- 0.47
6	801	728	+ 73	9787	+ 0.73
7	1071	1120	+ 51	11000	+ 0.46
9	712	632	+ 80	6720	+ 1.19
10	627	548	+ 79	6600	+ 1.19
11	806	847	- 41	9380	- 0.43
12	812	830	- 18	9240	- 0.19
15	412	460	- 48	7350	- 0.65
16	750	892	- 142	7962	- 1.78
17	1312	1231	+ 81	11390	+ 0.71
18	1218	1033	+ 185	11457	+ 1.61
	12081	12074	+ 7	131615	+ 0.006

### IL PROSSIMO CONVEGNO DELLA S.I.F.E.T.

Invito tutti i Soci al Convegno annuale che sarà tenuto a Cagliari nei primi giorni di maggio 1964.

Prego i Soci che avessero delle comunicazioni da presentare nel campo della Topografia e Fotogrammetria teorica ed applicata e scienze affini, di inviarle al più presto al Segretario Generale (c/o S.I.F.E.T., via Taddeo Alderotti 23 - Firenze).

IL PRESIDENTE DELLA S.I.F.E.T.

Ing. dr. h. c. Ermenegildo Santoni

(V. a pag. 30 il programma di massima ed il tema del Convegno)