

Generalita' sulle operazioni topografiche

Prof. ing. Raffaella Cefalo
GeoSNV Laboratory – DIA
Universita' di Trieste

Punti di inquadramento e punti di dettaglio

- Spesso il rilievo topografico, specie alle scale piu' grandi (1:500 ÷ 1:2000), viene effettuato per limitate estensioni ed ha lo scopo di fornire il documento necessario per la progettazione di un'opera di ingegneria civile;
- In questo caso i **punti trigonometrici** hanno la doppia funzione di servire come base per il rilievo di dettaglio, e di servire come riferimento per il *tracciamento* dell'opera;

Vertici trigonometrici

- I vertici trigonometrici saranno quindi ubicati in relazione alle necessita' del rilievo vero e proprio del terreno, ma anche in posizioni che consentano un'operazione di **tracciamento** agevole e tecnicamente corretta.
- Per la progettazione esecutiva di una strada, ad es., e' necessario il rilievo a scala 1:1000 o 1:2000 di una fascia sufficientemente ampia di terreno, entro la quale verra' definito l'asse e tutti gli altri particolari.

- La costruzione della carta richiederà il rilievo di un certo numero di vertici trigonometrici, mentre altri vertici trigonometrici, posti in vicinanza dell'asse della strada, permetteranno di individuarne agevolmente sul terreno i punti caratteristici, quali ad es. i vertici dei rettifili, i punti di tangenza, punti sulle curve o altro.
- Il **rilievo di vertici trigonometrici** viene anche effettuato per operazioni di collaudo di grandi manufatti, come **dighe, ponti o viadotti**.
- Anche nel rilievo del **terreno digitale** si possono distinguere i punti trigonometrici e i punti di dettaglio, con la differenza rispetto al rilievo cartografico che anche per questi ultimi si procede al calcolo delle coordinate plano-altimetriche

Terreno digitale

- Il *terreno digitale* descrive difatti il terreno per via puramente numerica, dando per ogni punto le tre coordinate che ne definiscono la posizione;
- Un esempio particolare di terreno digitale e' costituito dal Catasto Numerico, ove ogni particella, cioe' ogni area delimitata da un certo perimetro e appartenente ad un determinato proprietario, viene definita dalle coordinate dei punti che identificano tale perimetro.

Rilievi

- In generale in un lavoro di rilievo si possono distinguere le seguenti fasi:
- a) ***Progettazione***

In tale fase, definito il tipo di rilievo e la zona da rilevare, si procede alla raccolta di tutte le informazioni utili circa l'esistenza o meno, o l'utilizzabilità, di reti trigonometriche preesistenti, di rilievi già eseguiti, di linee di livellazione ed altro ricercando sul terreno, sulla base delle monografie, i segnali che materializzano i vertici e i caposaldi di livellazione noti.

- Accurate ***ricognizioni*** conducono poi alla definizione della ***rete di inquadramento*** e ad una serie di scelte circa gli strumenti da utilizzare e le misure per rilevarla, come pure alla definizione del metodo per eseguire il rilievo di dettaglio.

- b) **Esecuzione delle misure**

Sulla base del **progetto**, studiati ed organizzati i movimenti degli operatori con gli strumenti tenendo conto delle strade percorribili e delle difficoltà di accesso a determinati punti, si eseguono nella maniera più produttiva possibile le misure, e al contempo si controllano in modo da poter ripetere subito, cioè prima del rientro in sede della squadra operativa, quelle misure **che risultassero affette da errori grossolani**.

Esecuzione dei calcoli e dei disegni

- **c) Esecuzione dei calcoli**

Questo lavoro viene eseguito al calcolatore, utilizzando opportuni software, una volta scaricati i files che contengono i risultati delle misure fatte sul terreno.

- d) Esecuzione dei disegni e riproduzione**

In questa fase, con modalita' diverse, si ricostruiscono in 3D le posizioni dei punti rilevati e si procede al delineamento delle particolarita' del terreno e dei manufatti.

Collaudo

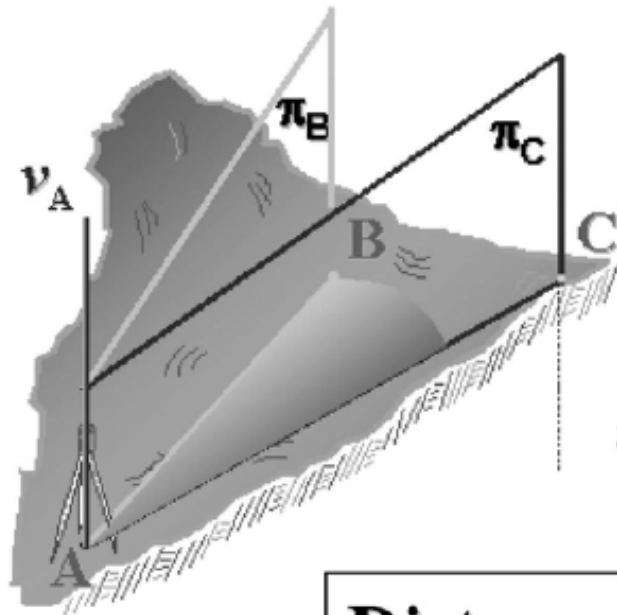
- e) **Collaudo**

Consiste nell'eseguire misure e calcoli di controllo che permettono di verificare la rispondenza del rilievo eseguito alle norme contenute nel capitolato d'appalto, relative alla precisione degli elementi che costituiscono il rilievo e alla quantità e qualità dei particolari che descrivono il terreno.

Rete trigonometrica

- Il **rilievo planimetrico dei punti trigonometrici** viene eseguito mediante misure di azimuth o angoli di direzione, di angoli azimutali e di distanze.
- In passato gli schemi di misura e di calcolo per il rilievo di un complesso di punti trigonometrici erano limitati e si ricorreva sempre in pratica a triangolazioni, poligonazioni o intersezioni, ad operazioni cioè in cui le misure angolari sono in numero preponderante;

In Topografia le grandezze oggetto di misura sono essenzialmente:



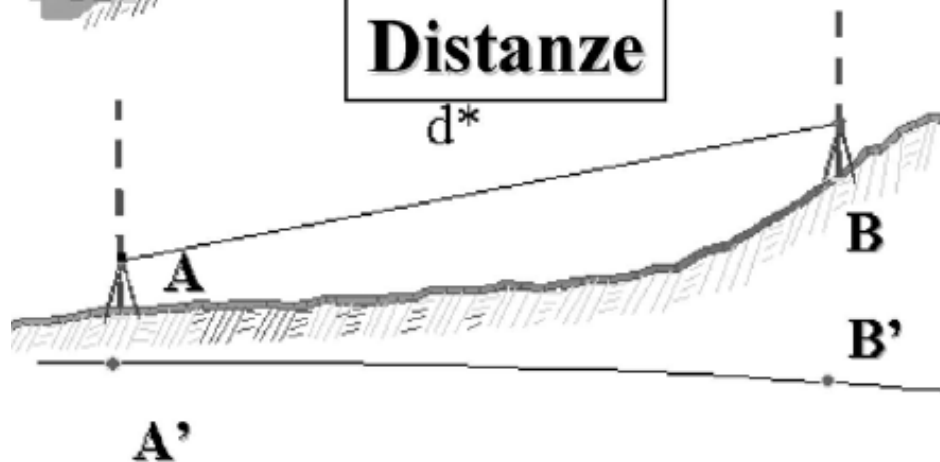
Angoli

azimutali

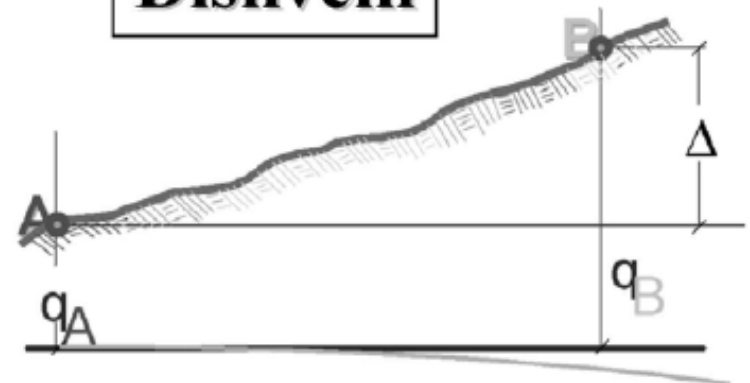
zenitali

Distanze

d^*



Dislivelli



- La disponibilit  dei distanziometri ad onde facendo si' che le misure di distanza possano essere considerate alla pari, per quanto riguarda precisione e rapidita' di esecuzione, alle misure angolari, ha notevolmente allargato le possibilita'.
- E' quindi necessario inquadrare il problema del rilievo di una rete trigonometrica nella maniera piu' generale.

Definizione di rete trigonometrica

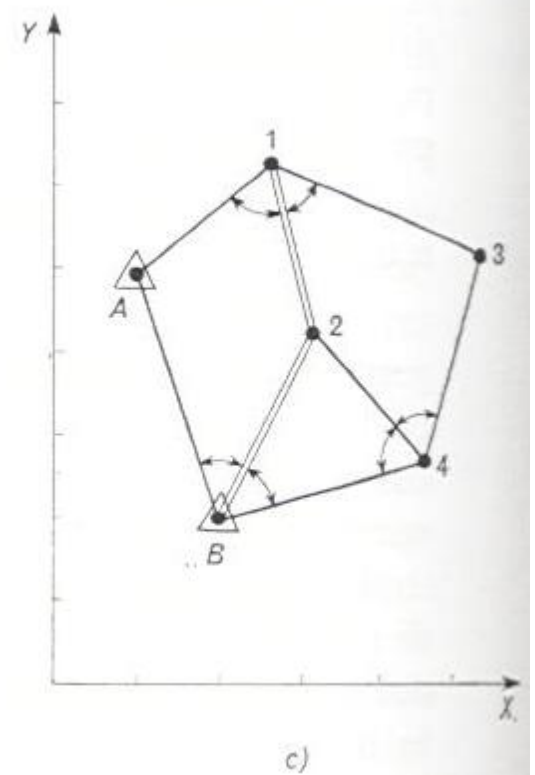
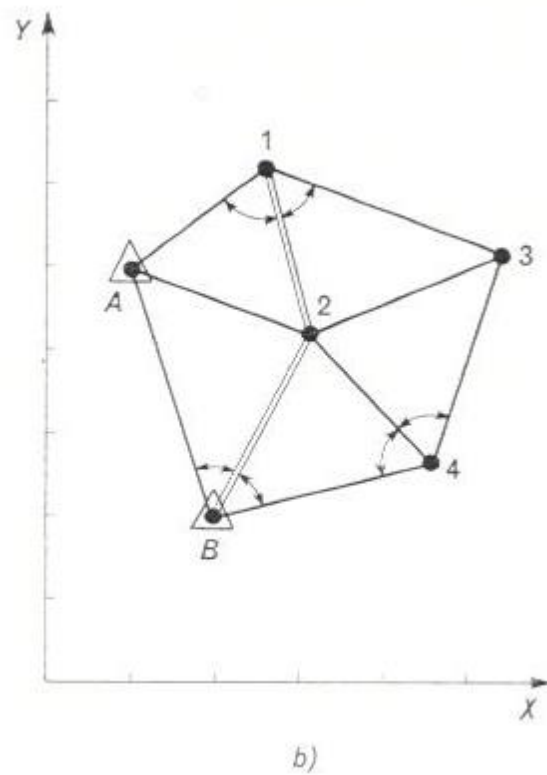
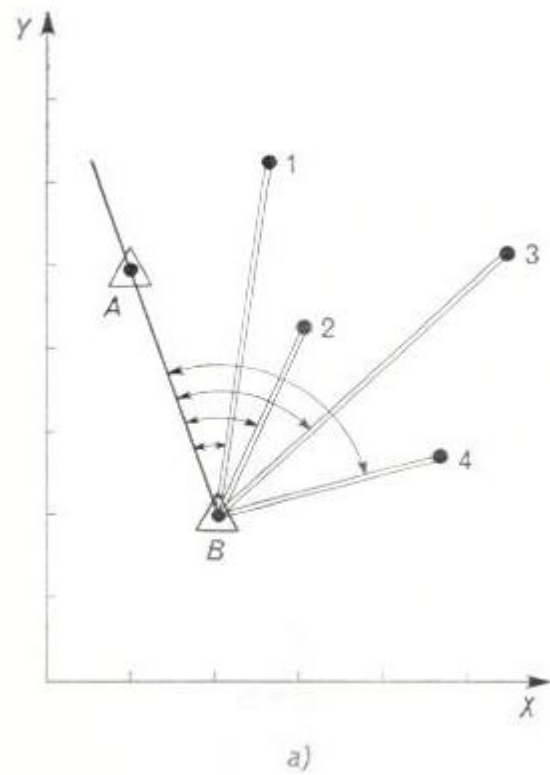
- In figura e' riportato uno schema di rilievo in cui i punti A e B sono punti di coordinate note mentre i punti 1, 2, 3 e 4 sono da rilevare; in tale schema ogni punto viene rilevato indipendentemente dagli altri mediante le misure degli angoli

e le distanze

$\hat{A}1, \hat{A}2, \hat{A}3, \hat{A}4$

$\overline{B1}, \overline{B2}, \overline{B3}, \overline{B4}$

Schemi di reti trigonometriche



- E' ovvio che in questo caso la precisione della posizione di ogni punto e' indipendente dalla posizione del punto e funzione solo delle **fluttuazioni accidentali di misura o degli errori sistematici** da cui e' affetta la misura dell'angolo e della distanza che gli compete.
- Nello schema di figura 1 b) il rilievo degli stessi punti viene eseguito seguendo un criterio diverso, immaginando cioe' i punti congiunti a due a due in modo da formare una **rete**, ovvero un complesso di figure geometriche aventi lati in comune (fig. 1 b), le figure sono triangoli;
- Per determinare la posizione dei punti, ovvero la **forma** e le **dimensioni** della rete, da cui si dedurranno le coordinate,

- Si eseguono le **misure degli angoli**:

$$\hat{A}_{2,2}, \hat{B}_{4,4}, \hat{A}_{12,2}, \hat{A}_{13,3}, \hat{B}_{42} \text{ e } \hat{A}_{23}$$

e le **misure di distanze**:

$$\overline{2B} \text{ e } \overline{21},$$

E' evidente che tali misure sono sufficienti a determinare la rete (si possono calcolare per via trigonometrica tutti gli elementi di tutti i triangoli)

- La posizione di ogni punto in questo caso dipende dalla posizione degli altri, ad esempio non si potrebbe ricavare la posizione del punto 3 se preventivamente non si fossero ricavate le posizioni dei punto 1 e 4, definite a loro volta dalla posizione del punto 2.
- La **precisione** dei punti rilevati dipende dal **complesso** delle misure eseguite.
- Nello schema di figura 1 b) il rilievo degli stessi punti viene eseguito seguendo un criterio diverso, immaginando cioè i punti congiunti a due a due in modo da formare una **rete**, ovvero un complesso di figure geometriche aventi lati in comune (fig. 1 b), le figure sono triangoli;
- Per determinare la posizione dei punti, ovvero la *forma* e le *dimensioni* della rete, da cui si dedurranno le coordinate,

- Ad es. la precisione del punto 2 dipende dalla precisione di due sole misure, mentre quella del punto 3 dipende dalla precisione di tutte le misure fatte.
- Non si puo' tuttavia trarre la conclusione che lo schema a misure indipendenti sia piu favorevole di quello a rete, perche' bisogna tener presente che:

- a) **non e' possibile per questioni di visibilita' eseguire misure fra punti lontani** (a meno di non operare con misure satellitari) e spesso, a causa della morfologia del terreno anche tra punti relativamente vicini;
- per determinare punti trigonometrici su un territorio vasto e' giocoforza ricorrere ad uno schema di **rilievo a rete** (ad es. la triangolazione del 1° ordine italiana);
- b) anche ammesso che la visibilita' fra punti lo permetta, ovvero che i punti trigonometrici vadano distribuiti in una zona avente dimensioni di qualche decina di km e che siano quindi visibili tra loro anche i punti piu' distanti, non e' detto che lo schema a rilievo indipendente sia favorevole perche' occorre tener presene che in generale la precisione delle misure di angoli e distanze diminuisce all'aumentare della distanza fra i punti -

- e quindi lo schema a rete, permettendo misure tra punti vicini, può consentire dei risultati migliori.
- Le situazioni vanno però analizzate caso per caso, tenendo presente anche le caratteristiche e la precisione degli strumenti che si hanno a disposizione;
- **c) agli effetti della precisione con cui la posizione di ogni punto viene determinata, ha spesso molta importanza, a parità di precisione delle misure, la forma della figura che ha per vertici il punto in questione e i punti rispetto ai quali il punto viene collegato**
- In relazione a ciò uno schema a rilievo indipendente è più rigido di quello a rete, infatti nel rilievo indipendente le figure sono per necessità determinate dai punti noti e dai vari punti da rilevare e possono assumere configurazioni sfavorevoli,

- mentre nello **schema a rete** si possono sempre, eventualmente inserendo altri punti nello schema, configurare le soluzioni piu' favorevoli, ovvero costituire la rete con *figure di forma ottimale*;
- d) per ottenere una valida compensazione occorre che gli elementi misurati di un sistema geometrico siano in numero sensibilmente superiore al minimo richiesto: uno schema a rete e' in tal senso favorito perche' puo' consentire un maggior numero di misure esuberanti.

Schema di rilievo indipendente e schema a rete

- In conclusione la differenza sostanziale fra uno **schema di rilievo indipendente ed uno schema di rilievo a rete** e' che in quest'ultimo caso i punti da rilevare vengono collegati *tra di loro* da misure dirette, mentre nel primo caso i punti da rilevare sono collegati solo ai punti di coordinate note, e sono determinati in maniera **indipendente** uno dall'altro; ne deriva pertanto un differente comportamento per quanto attiene **l'influenza delle fluttuazioni accidentali di misura**.

Definizione di rete trigonometrica

- Una rete di punti di inquadramento o **rete trigonometrica** e' quindi un insieme di punti le cui posizioni vengono rilevate mediante misure di angoli azimutali, azimut e distanze in numero superiore al minimo necessario, ed in modo che siano comunque eseguite misure che colleghino direttamente ciascun punto ai punti piu' vicini.

Schema di una rete

- Per definire lo ***schema geometrico*** di una rete si possono seguire due vie:
- a) Le posizioni approssimative dei vertici sono riportate su un foglio di carta e congiunte a due a due in modo da formare un complesso di figure poligonali, in genere triangoli, che si puo' chiamare *schema geometrico* della rete; su tale schema si denotano poi con opportuni simboli le misure che si intendono eseguire;

Schema di una rete

- tali misure possono essere in numero minimo sufficiente od in numero esuberante, in modo che ogni figura componente sia determinata nella sua forma e dimensioni, in modo cioè che sulla base delle misure previste si possano calcolare tutti i lati, azimut e angoli di direzione di lati che non sono stati misurati, ma che sono stati tracciati.
- Questa procedura favorisce il calcolo della rete per via trigonometrica dato che la conoscenza delle relazioni fra gli elementi di un triangolo, o di una figura poligonale, permette di individuare facilmente lo schema di calcolo; permette inoltre, conoscendo le condizioni di configurazione ottimale di ogni figura di tracciare uno schema che rispetti il più possibile tali condizioni.

Schema di una rete

- Ad esempio nel caso di una rete di punti rilevata per triangolazione, e' noto che le figure componenti sono triangoli, che questi vengono definiti mediante la misura degli angoli, e che **la forma ottimale di ciascun triangolo e' quella *equilatera*.**
- Così' facendo il rilievo viene concepito come determinazione della forma e delle dimensioni delle figure poligonali che hanno per vertici i punti da rilevare.

Schema di una rete

- b) riportate su un foglio le posizioni approssimative dei vertici si definiscono le misure di angoli, azimuth, angoli di direzione o distanze che permettono di determinare la posizione di ciascun punto della rete con riferimento agli altri punti della rete, e si tracciano solo i lati *osservati* ovvero quei lati di cui si intende misurare la **lunghezza**, **l'azimut o l'angolo di direzione**, o che definiscono una delle due direzioni che formano un angolo che si intende misurare;

- gli angoli e le distanze che si intendono misurare vengono comunque individuati con opportuni segni.
- Questa procedura puo' essere seguita piu' proficuamente, se non si opera con uno schema prefissato di rilievo (quali sono ad es. le **triangolazioni, trilaterazioni o poligonazioni**), ma si vuole rilevare la rete con diversi tipi di misure adatte alle situazioni, e scegliendo per ogni pto da misurare la combinazione di misure piu' favorevole in relazione alla posizione in cui si trova rispetto agli altri punti della rete;

- Per combinazione favorevole si intende quella che consente di ottenere la migliore precisione con le modalita' operative piu' semplici.
- Questa procedura e' conveniente specie se il calcolo della rete e' basato sulla risoluzione di un sistema di equazioni, un'equazione per ogni misura, sono evitate cosi' tutte le considerazioni sulla soluzione per via trigonometrica delle figure poligonali che costituiscono la rete.

Ordini delle reti trigonometriche

- Quando il numero di vertici trigonometrici da distribuire su un vasto territorio e' elevato, e' conveniente procedere al rilievo ed al calcolo dell'intera rete con operazioni successive dopo aver organizzato il complesso di vertici in **reti di ordine diverso**, ognuna delle quali e' costituita da un numero ridotto di vertici per i quali e' agevole programmare ed eseguire le misure ed i calcoli.

Vertici geodetici di diversi ordini

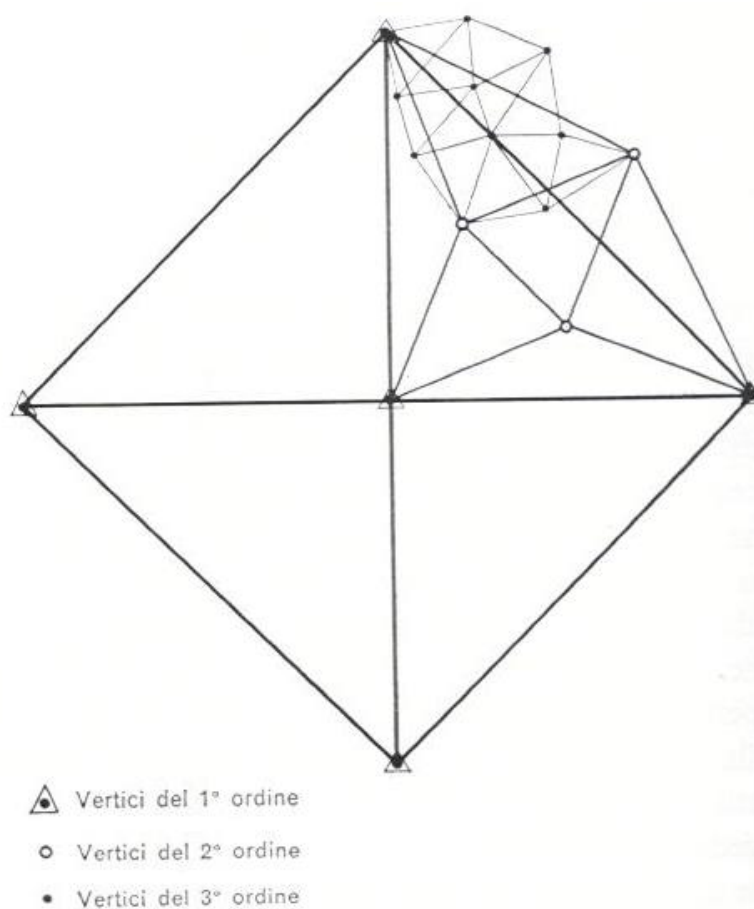


Fig. 2. Reti di 1°, 2° e 3° ordine.