

Generalita' sulle operazioni topografiche

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

Punti di inquadramento e punti di dettaglio

- Spesso il rilievo topografico, specie alle scale piu' grandi ($1:500 \div 1:2000$), 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

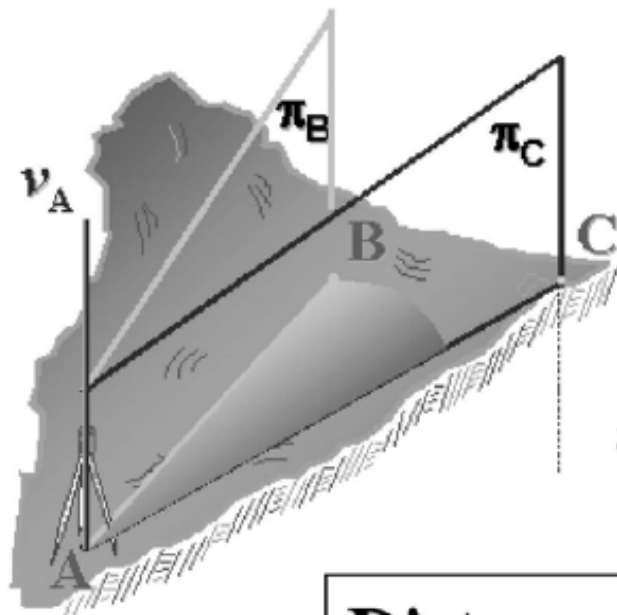
- e) Collaudo

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 azimut 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;

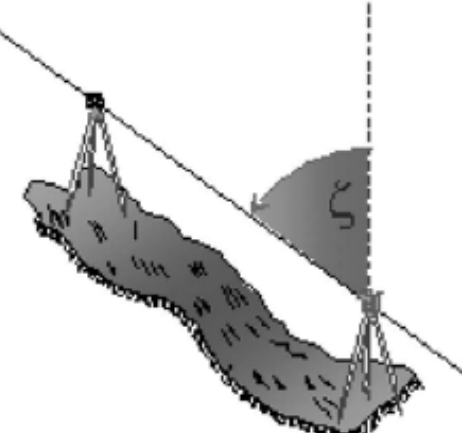
In Topografia le grandezze oggetto di misura sono essenzialmente:



Angoli

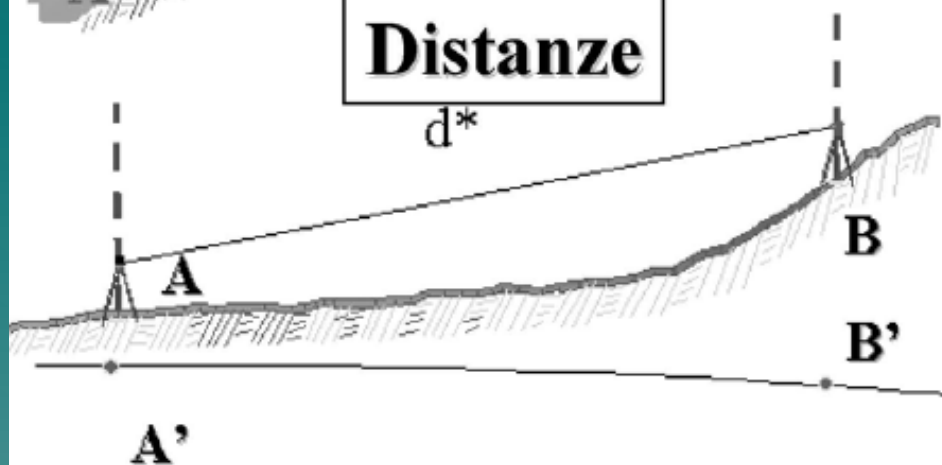
azimutali

zenitali

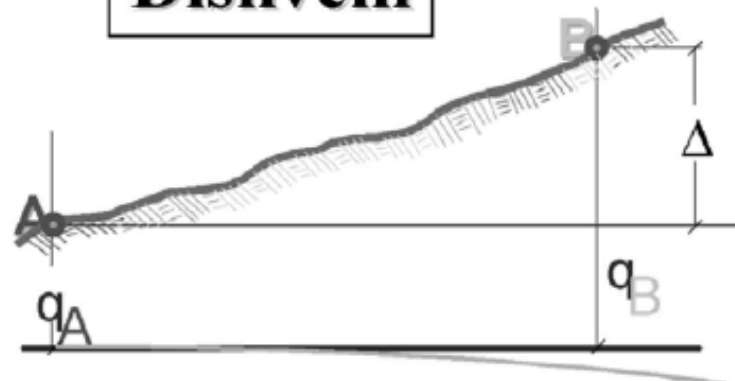


Distanze

d^*



Dislivelli



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

Definizione di rete trigonometrica

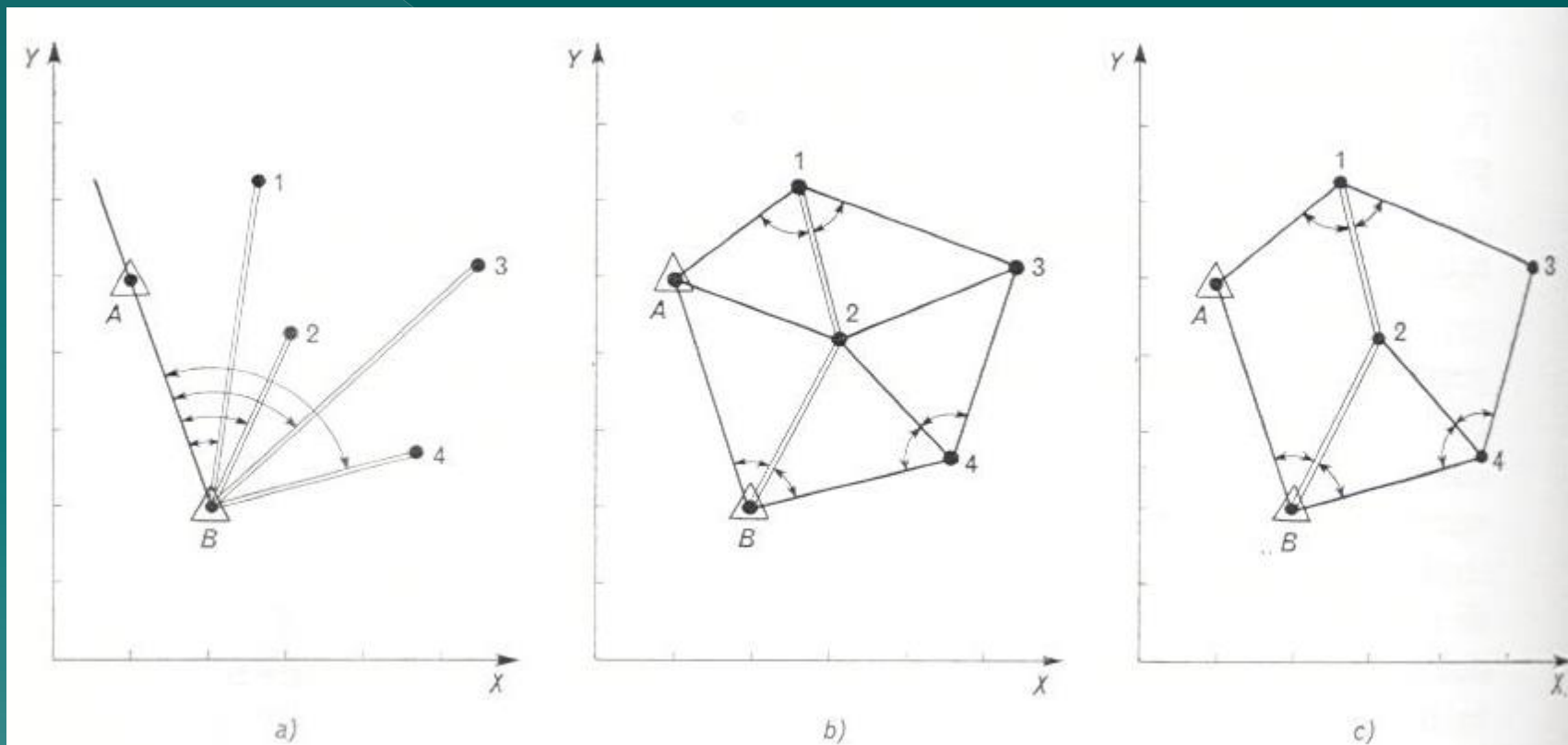
- In figura e' riportato uno schema di rilievo in cui i punti A e B sono punti di coordinate note mentre i punti 1, 2, 3 e 4 sono da rilevare; in tale schema ogni punto viene rilevato indipendentemente dagli altri mediante le misure degli angoli

$\hat{A}B1, \hat{A}B2, \hat{A}B3, \hat{A}B4$

e le distanze

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

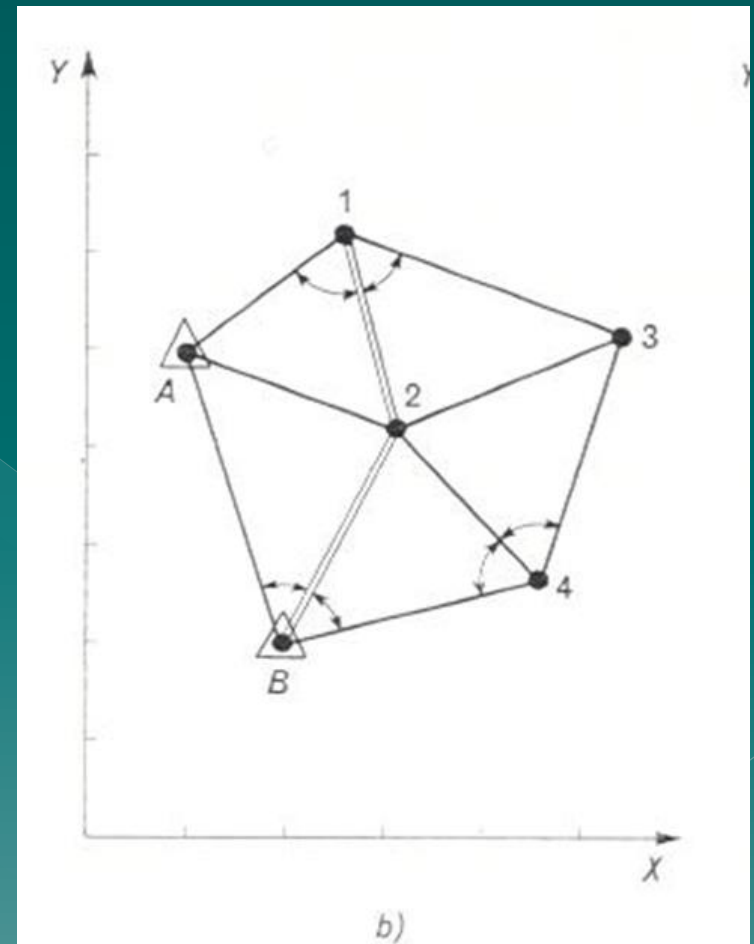
Schemi di reti trigonometriche



- 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.

Rete

- 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,



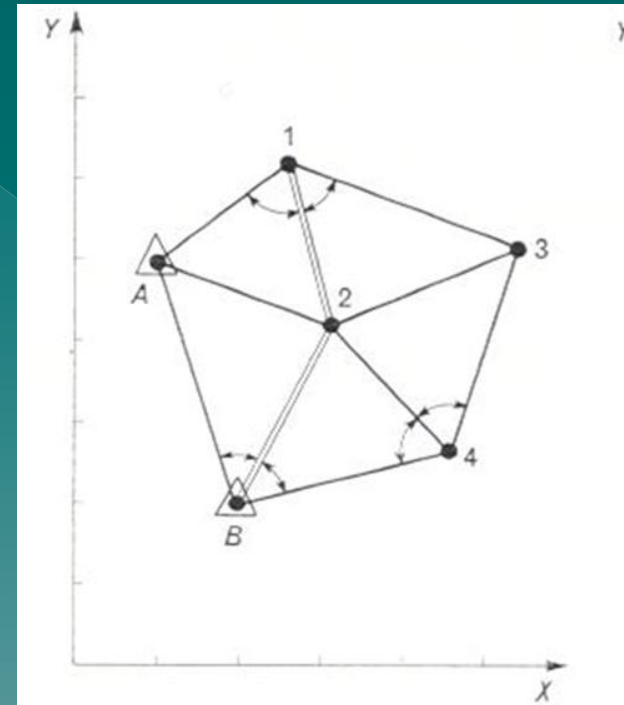
- Si eseguono le misure degli angoli:

$$\hat{A}2, \hat{2}4, \hat{A}12, \hat{2}13, \hat{B}42 \text{ e } \hat{2}43$$

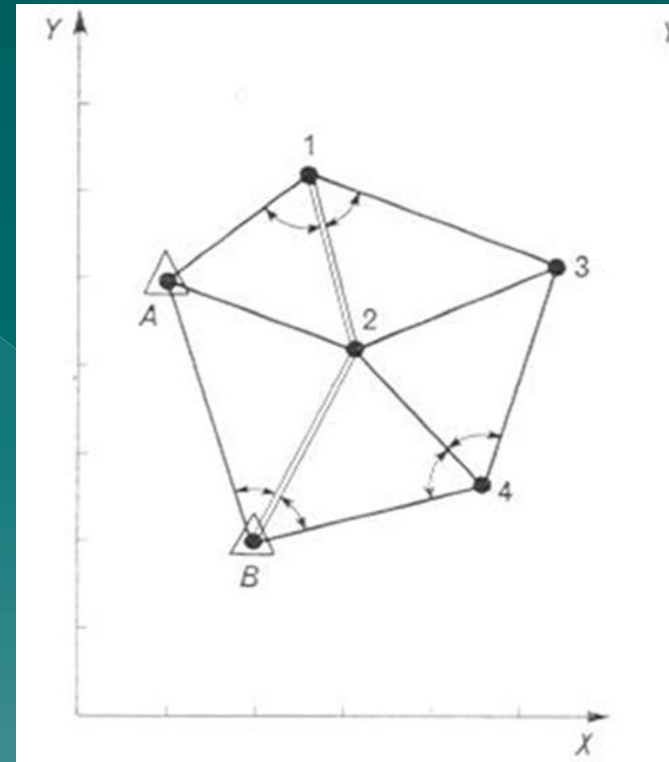
e le misure di distanze:

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

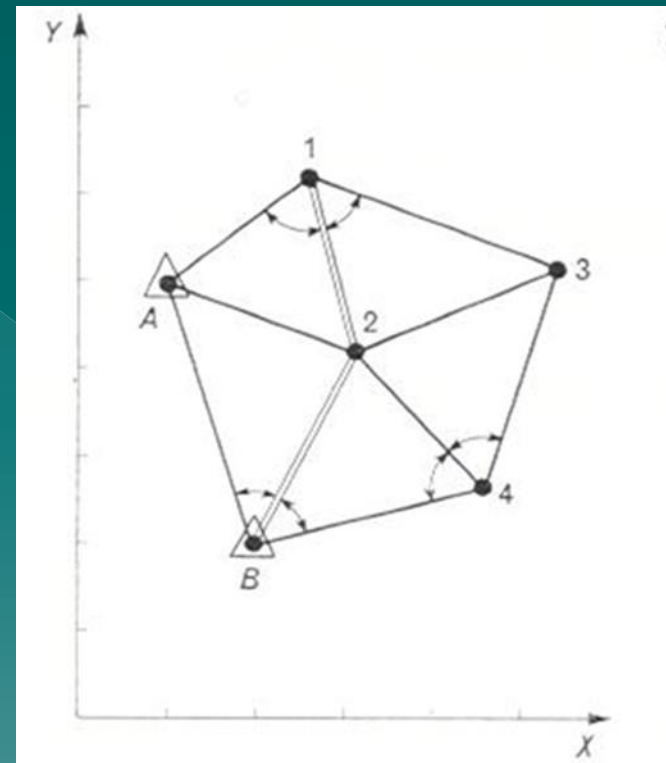
E' evidente che tali misure sono sufficienti a determinare la rete (si possono calcolare per via trigonometrica tutti gli elementi di tutti i triangoli)



- 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.



- 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 visibilità 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 più distanti, non è detto che lo schema a rilievo indipendente sia favorevole perché occorre tenere presente 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, puo' consentire dei risultati migliori.
- Le situazioni vanno pero' 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, azimuth 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 piu' 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, azimut, 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 può essere seguita più 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 più 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 modalità operative più semplici.
- Questa procedura è conveniente specie se il calcolo della rete è basato sulla risoluzione di un sistema di equazioni, un'equazione per ogni misura.

Ordini delle reti trigonometriche

- Quando il numero di vertici trigonometrici da distribuire su un vasto territorio è elevato, è 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 è costituita da un numero ridotto di vertici per i quali è agevole programmare ed eseguire le misure ed i calcoli.

Vertici geodetici di diversi ordini

