

METODI CLASSICI DI RILEVAMENTO

Organizzazione delle operazioni di rilievo

L'organizzazione dei lavori di rilevamento è normalmente strutturata in fasi successive che seguono una "gerarchia" da un punto di vista logico (non sempre anche cronologico):

- 1) Inquadramento
- 2) Raffittimento
- 3) Rilievo di dettaglio

Passando dalla prima alla terza fase aumenta notevolmente il *numero* dei punti rilevati mentre *diminuisce l'accuratezza*, che nella fase conclusiva (dettaglio) deve essere compatibile con lo scopo del rilievo (cartografia a una certa scala, monitoraggio deformazioni o altro) mentre nelle fasi a monte deve essere superiore.

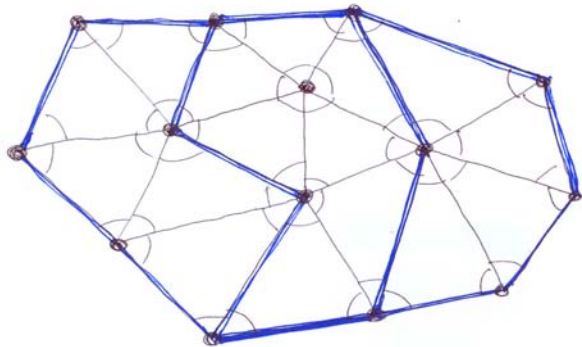
Ad es., per ottenere nel rilievo di dettaglio un'accuratezza planimetrica < 40 cm per una carta catastale 1:2.000, occorre che i punti di inquadramento abbiano accuratezza di ordine circa decimetrico.

1) Rilievi di inquadramento

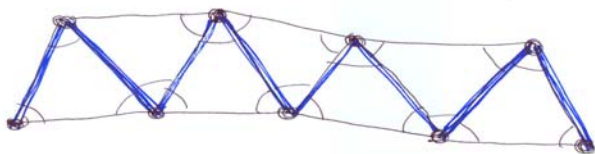
La prima fase prevede la istituzione e la misura di **RETI DI INQUADRAMENTO** costituite da un numero relativamente limitato di punti (detti **vertici**) opportunamente distribuiti sul territorio

Questa fase del rilevamento viene oggi svolta quasi sempre con la tecnica satellitare GPS, realizzando **RETI GPS**.

Prima del GPS si utilizzavano reti di **TRIANGOLAZIONE**, basate su misure di **angoli azimutali** e **distanze**, integrate (non sempre) da misure di livellazione trigonometrica per la parte altimetrica



Triangolazione a maglie contigue



Triangolazione a catena

Lo schema classico della triangolazione (XVIII sec.) sviluppava al massimo le misure angolari e al minimo le misure delle distanze dette **basi** (teoricamente ne basterebbe 1 sola per dimensionare la rete), che venivano determinate con misure dirette di precisione, molto laboriose.

Con l'avvento dei distanziometri (ca. 1960-70) le misure di distanza hanno assunto sempre più importanza nelle reti fino a realizzare anche in certi casi reti di sole distanze (**trilaterazioni**). La soluzione ottimale prevede oggi angoli e distanze pressoché in ugual quantità. Con gli schemi a rete si raggiunge una elevata **ridondanza** (n° di misure superiore allo stretto necessario) da cui deriva un'elevata accuratezza delle coordinate dei vertici e un buon controllo della propagazione degli errori e della presenza di eventuali errori grossolani.

Esempi di reti di inquadramento

- **RETE IGM 95:** rete GPS coprente tutta l'Italia, realizzata attorno al 1995 in un unico "ordine". Datum WGS84-ETRF89, coordinate Roma40 determinate con parametri di trasformazione
- **RETE DI TRIANGOLAZIONE IGM:** rete classica coprente tutta l'Italia, organizzata in ordini (I, II, III e IV) con densità crescente e accuratezza decrescente. Datum Roma40.
- **RETE DI TRIANGOLAZIONE DEL CATASTO:** raffittimento della rete IGM (escluso IV ordine) articolato in 3 livelli gerarchici (rete, sottorete e dettaglio). Datum catastali Bessel.
- **RETI REGIONALI:** Raffittimenti della rete IGM95 e della rete classica di triangolazione IGM operati dalle Regioni per l'inquadramento della carta tecnica
- **RETI LOCALI** possono essere realizzate per l'inquadramento di cantieri di opere e infrastrutture, per il monitoraggio di deformazioni del suolo o di manufatti o per altre esigenze ingegneristiche

2) Rilievi di raffittimento

Nella fase di raffittimento si dispone già di una rete di inquadramento, e con ulteriori misure si determinano nuovi punti raffittendo o "densificando" localmente la rete

Le tecniche normalmente impiegate per il raffittimento sono:

- a) reti di raffittimento
- b) poligonali
- c) metodi di intersezione o riattacco

2.a) Reti di raffittimento

Si realizza una rete locale di triangolazione comprendente i vertici di nuova determinazione e un congruo numero di vertici della rete di inquadramento

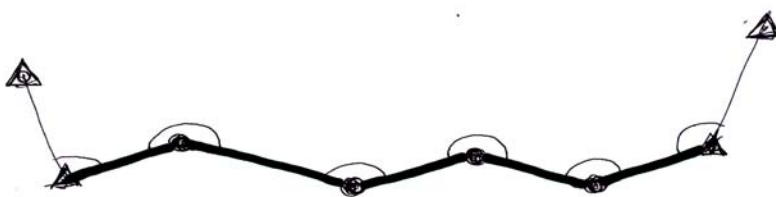
Le misure (angoli e distanze) collegano i nuovi punti tra loro e a quelli della rete di inquadramento, in modo da raggiungere una adeguata ridondanza

Il calcolo della rete di raffittimento può essere effettuato considerando i vertici di inquadramento noti e privi di errore (quindi fissando tali vertici),

oppure eseguendo un primo calcolo intrinseco (a minimi vincoli o a rete libera) seguito da una rototraslazione (Helmert) sui vertici della rete di inquadramento

2.b) Poligonali

La poligonale è un caso particolare di rete di triangolazione in cui ogni vertice è collegato solo con il precedente e il successivo, mediante misure angolari e di distanza



a) Poligonale aperta a estremi vincolati a scopo di raffittimento



b) Poligonale chiusa non orientata (sistema di riferimento locale) utilizzata per rilievi locali

- ▲ Vertici noti (rete inquadramento)
- Vertici da determinare

Vantaggi delle poligonali sono la rapidità (e quindi economia) di esecuzione, e la possibilità di attraversare aree difficili per il rilevamento come zone urbane (anche vicoli dei centri storici), zone a bosco, gallerie

Svantaggio delle poligonali è la scarsa ridondanza. Ad es. nei due schemi (planimetrici) della figura soprastante si ha:

a) Incognite: 4 nuovi vertici \times 2 coordinate = 8

Osservazioni: 6 angoli + 5 distanze = 11

$$r = 11 - 8 = 3$$

b) Incognite: $4 \times 2 + 1 = 9$ (il vertice sull'asse x ha solo la x incognita)

Osservazioni: 6 angoli + 6 distanze = 12

$$r = 12 - 9 = 3$$

Per questo motivo il numero dei vertici di una poligonale non deve essere troppo alto, in genere < 10

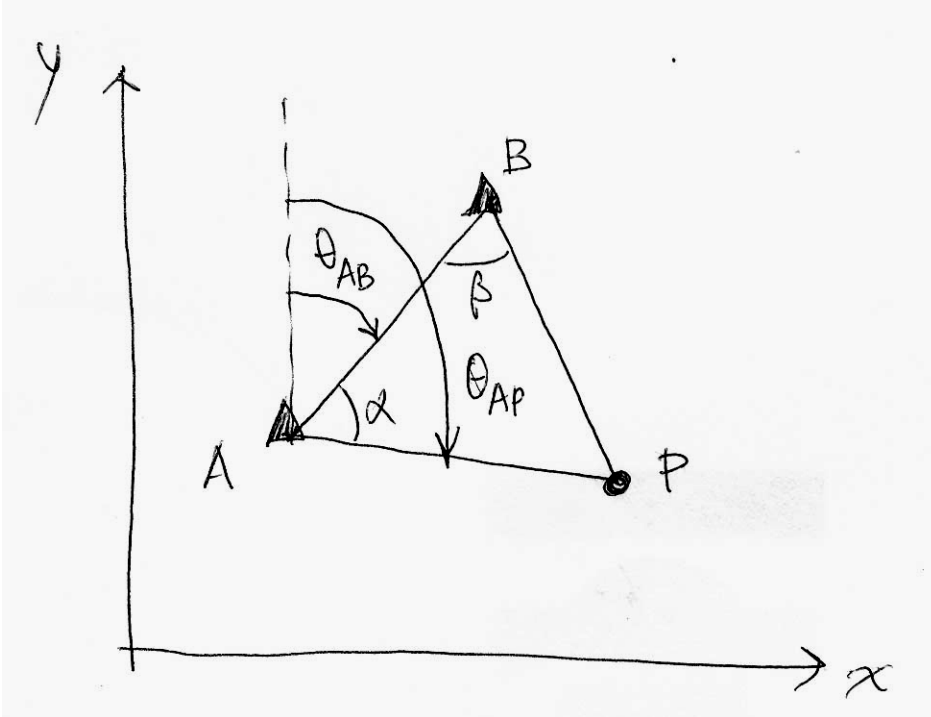
Una poligonale può essere solo planimetrica o plano-altimetrica. Per la parte altimetrica i dislivelli vengono determinati contestualmente alle altre misure mediante gli angoli zenitali (livellazione trigonometrica) e in genere compensati a parte

2.c) Metodi di intersezione o riattacco

Sono schemi di rilevamento tra i più classici, che consentono in genere di determinare un solo punto incognito ed hanno, nella formulazione classica, ridondanza nulla (numero di osservazioni pari allo stretto necessario). Nella pratica vengono integrati con alcune osservazioni aggiuntive per avere una ridondanza non nulla, e gli schemi classici vengono utilizzati per calcolare le coordinate di prima approssimazione

2.c.1) Intersezione in avanti o diretta

Si fa stazione con un teodolite su due vertici noti, e misurando due angoli azimutali si determina un terzo punto incognito



Incognite:

$$X_P, Y_P$$

Dati:

$$X_A, Y_A$$

$$X_B, Y_B$$

$$\alpha, \beta \text{ (misure) } \text{ridondanza } r = 2 - 2 = 0$$

Soluzione:

$$d_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$\vartheta_{AB} = \arctan \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} + k \cdot 180^\circ, \quad k = 0, 1, 2$$

$$\gamma = \hat{BPA} = 180^\circ - \alpha - \beta$$

$$d_{AP} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta$$

$$\vartheta_{AP} = \vartheta_{AB} + \alpha$$

$$X_P = X_A + d_{AP} \cdot \sin \vartheta_{AP}$$

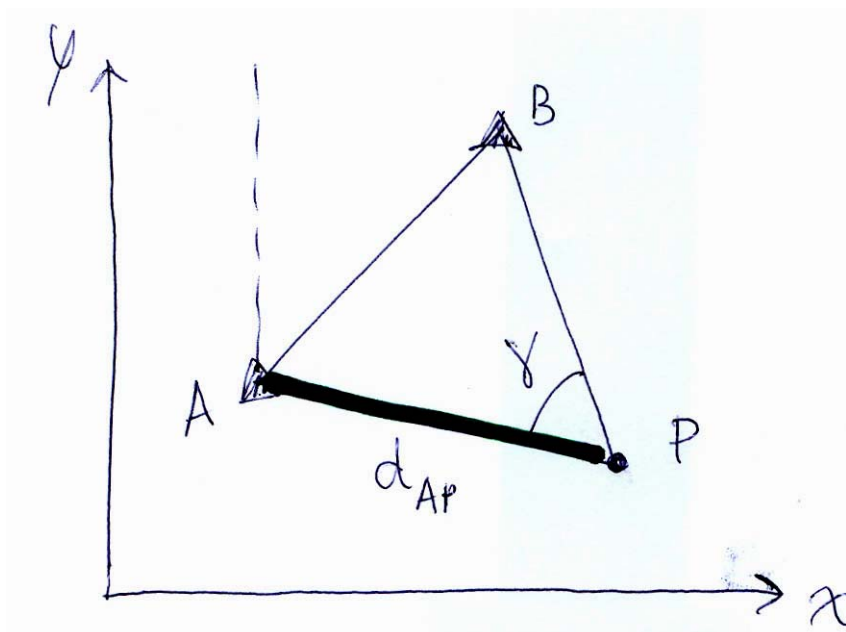
$$Y_P = Y_A + d_{AP} \cdot \cos \vartheta_{AP}$$

Questa tecnica permette la determinazione di punti inaccessibili dato che nel punto incognito P non si deve fare stazione né porre riflettori per misura di distanze, è sufficiente che il punto P sia visibile

La quota di P può essere determinata mediante i 2 dislivelli da A e B misurati con livellazione trigonometrica e successiva compensazione con pesi inversamente proporzionali ai quadrati delle distanze

2.c.2) Apertura a terra

Si fa stazione con un teodolite integrato nel punto incognito, e si misura un angolo e una distanza rispetto a 2 vertici noti



Incognite:

$$X_P, Y_P$$

Dati:

$$X_A, Y_A$$

$$X_B, Y_B$$

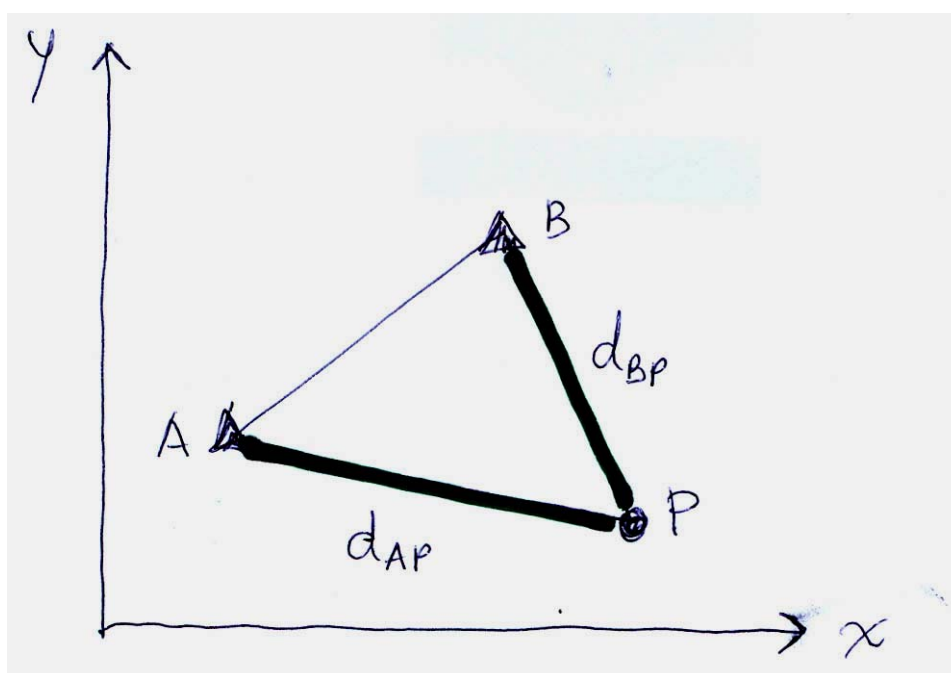
$$\gamma, d_{AP} \text{ (misure) } \text{ ridondanza } r = 2 - 2 = 0$$

La soluzione è del tutto analoga a quella del caso precedente, cambiano solo gli elementi di cui si dispone nel triangolo ABP

E' una tecnica semplice e molto utilizzata nei rilievi catastali, dove di solito il punto A è un trigonometrico o PF accessibile, o uno spigolo di edificio, mentre B è un altro trigonometrico a cui non serve accedere.

2.c.3) Intersezione con 2 distanze

Si fa stazione con un teodolite integrato nel punto incognito, e si misurano 2 distanze rispetto a 2 vertici noti



Incognite:

$$X_P, Y_P$$

Dati:

$$X_A, Y_A$$

$$X_B, Y_B$$

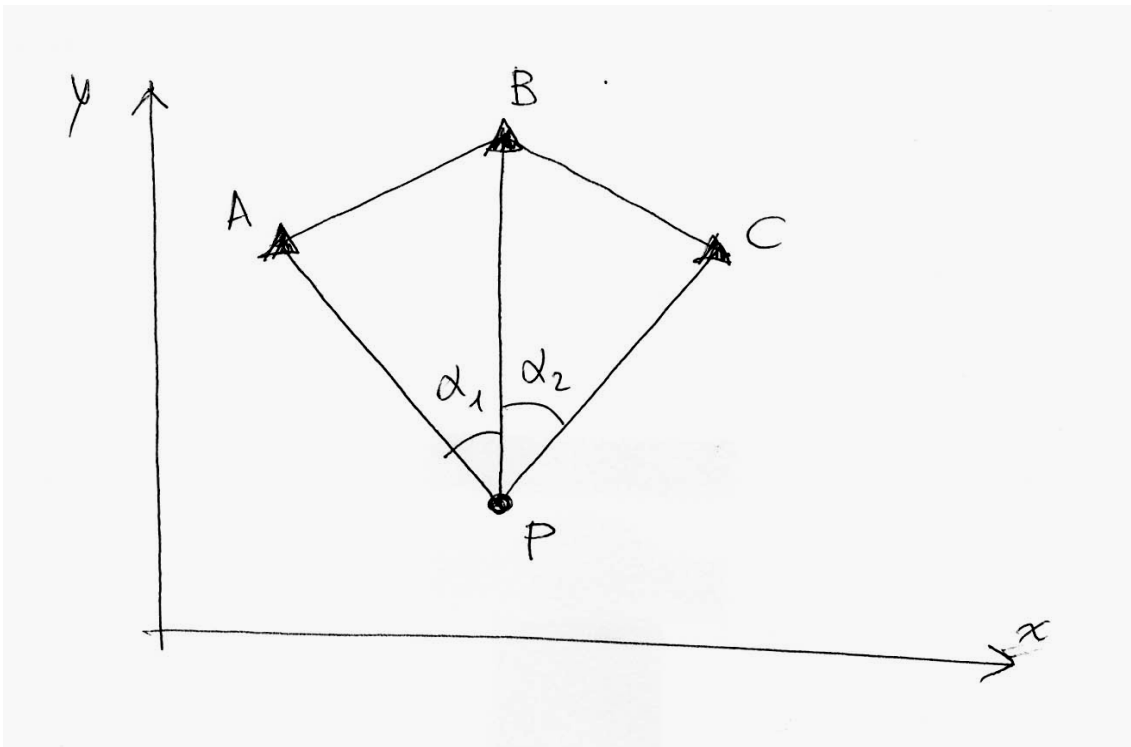
$$d_{AP}, d_{BP} \text{ (misure) } \text{ridondanza } r = 2 - 2 = 0$$

La soluzione è del tutto analoga a quella dei casi precedenti, cambiano solo gli elementi di cui si dispone nel triangolo ABP

Questa tecnica può essere utile per rilievi locali (ad es. per determinare un punto rispetto a 2 fabbricati esistenti)

2.c.4) Intersezione inversa

Si fa stazione con un teodolite solo nel punto incognito, e si misurano 2 angoli rispetto a 3 vertici noti. Questo metodo ha il vantaggio di non richiedere stazioni sui trigonometrici, ma solo che essi siano visibili



Incognite :

$$X_P, Y_P$$

Dati:

$$X_A, Y_A$$

$$X_B, Y_B$$

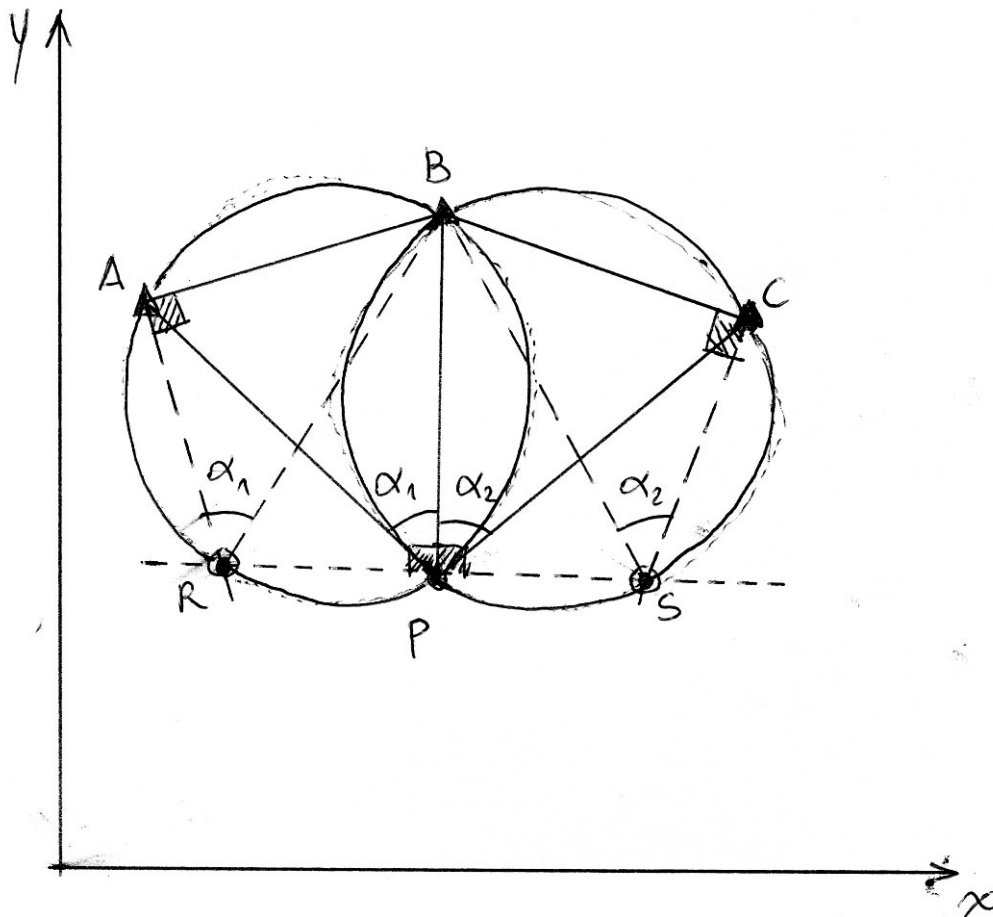
$$X_C, Y_C$$

$$\alpha_1, \alpha_2 \text{ (misure) } \text{ ridondanza } r = 2 - 2 = 0$$

Soluzione :

dalle coordinate dei 3 vertici noti è possibile calcolare le distanze d_{AB} e d_{BC} e l'angolo $\hat{CBA} = \vartheta_{BA} - \vartheta_{BC}$ ma poi non si riesce a risolvere il quadrilatero con le consuete formule trigonometriche (teoremi dei seni e di Carnot)

Esistono varie soluzioni a questo problema (metodo di Snellius, Pothenot, ecc.) tra le quali una delle più usate è quella di Cassini, basata sulla seguente costruzione grafica :



- dal punto A si conduce la perpendicolare ad AB
- dal punto C si conduce la perpendicolare a CB
- dal punto P si conduce la perpendicolare a BP, che interseca le precedenti due in R ed S
- si traccia la semicirconferenza circoscritta al triangolo rettangolo ABR e quella circoscritta al triangolo rettangolo BPR, che sono le due metà di una stessa circonferenza avendo il diametro BR in comune
- per i punti B, C, P, S si traccia una circonferenza analoga alla precedente
- gli angoli ARB e BSC sono rispettivamente uguali ad α_1 e α_2 in quanto angoli alla circonferenza che sottendono lo stesso arco
- il punto P si trova all'intersezione delle due circonferenze e può quindi essere trovato graficamente determinando R ed S in base agli angoli α_1 e α_2 e poi tracciando le due circonferenze per 3 punti
- se i punti A, B, C, P appartengono a 1 stessa circonferenza si ha il cosiddetto caso critico, indeterminato; conviene adottare configurazioni lontane da quella critica

Stante questa costruzione, si dimostra che la soluzione analitica è data dalle seguenti formule:

$$\begin{cases} X_R = X_A + (Y_B - Y_A) \cot \alpha_1 \\ Y_R = Y_A + (X_A - X_B) \cot \alpha_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_S = X_C + (Y_C - Y_B) \cot \alpha_2 \\ Y_S = Y_C + (X_B - X_C) \cot \alpha_2 \end{cases}$$

$$\tan \vartheta_{RS} = \frac{X_S - X_R}{Y_S - Y_R}$$

$$\tan \vartheta_{BP} = -\frac{1}{\tan \vartheta_{RS}}$$

e infine:

$$\begin{cases} Y_P = \frac{X_B - X_R - Y_B \tan \vartheta_{BP} + Y_R \tan \vartheta_{RS}}{\tan \vartheta_{RS} - \tan \vartheta_{BP}} \\ X_P = X_B + (Y_P - Y_B) \tan \vartheta_{BP} \end{cases}$$

3) Rilievo di dettaglio

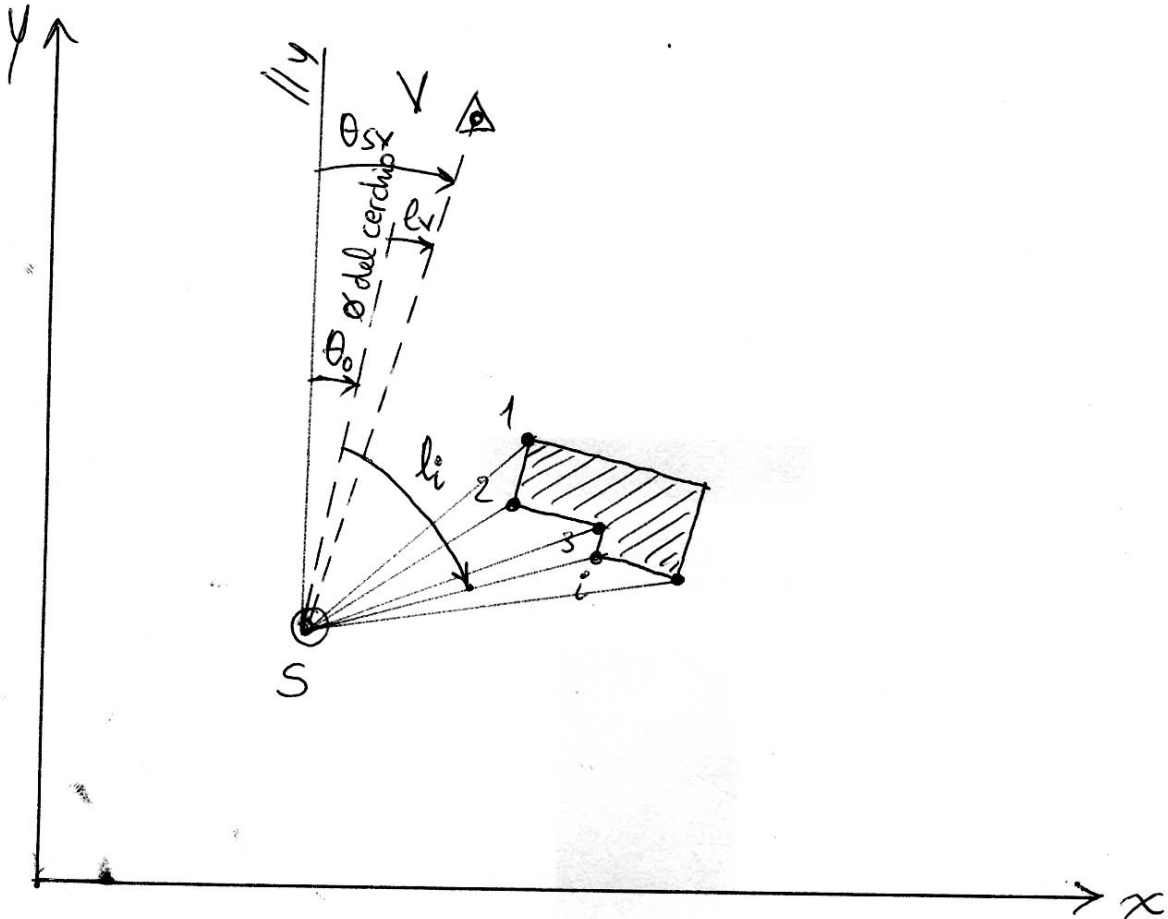
Le tecniche normalmente impiegate per il rilievo di dettaglio sono:

- a) rilievo per coordinate polari o "celerimetrico"
- b) intersezione in avanti
- c) GPS "stop and go" o RTK

3.a) Rilievo per coordinate polari o celerimetrico

Si fa stazione in un punto S di coordinate note (X_S, Y_S) con un teodolite integrato (con distanziometro) e per ogni punto da rilevare si misura:

- lettura cerchio orizzontale l_i
- angolo zenitale φ_i
- distanza inclinata d_i
- altezza della mira h_i



Tra i punti osservati da S va incluso almeno un punto noto V necessario per l'orientamento della stazione :

lettura azimutale su V l_v

anomalia direzione SV $\vartheta_{SV} = \arctan \frac{x_v - x_s}{y_v - y_s} + k \cdot \pi$

per confronto si ricava la costante di orientamento :

$$\vartheta_0 = \vartheta_{SV} - l_v$$

che sommata alle letture azimutali fornisce le anomalie dei punti osservati :

$$\vartheta_{Si} = l_i + \vartheta_0$$

Le distanze inclinate si riducono al piano orizzontale :

$$d_{0i} = d_i \cdot \sin \varphi_i$$

e infine le coordinate dei punti di dettaglio osservati si ottengono con le formule del trasporto di coordinate :

$$x_i = x_S + d_{0i} \cdot \sin \vartheta_{Si}$$

$$y_i = y_S + d_{0i} \cdot \cos \vartheta_{Si}$$

Per la parte altimetrica, i dislivelli tra la stazione e i punti osservati si calcolano dagli angoli zenitali (livellazione trigonometrica) :

$$\Delta_{Si} = d_{0i} \cdot \cot \varphi_i + \frac{1-k}{2R} d_{0i}^2 + h_S - h_i$$

e infine le quote dei punti osservati si ottengono da :

$$z_i = z_S + \Delta_{Si} \quad (\text{somma algebrica})$$

3.b) Rilievo per intersezione in avanti

Si adotta quando i punti da rilevare sono inaccessibili; lo schema e relativa soluzione sono quelli già trattati tra i metodi di riattacco

