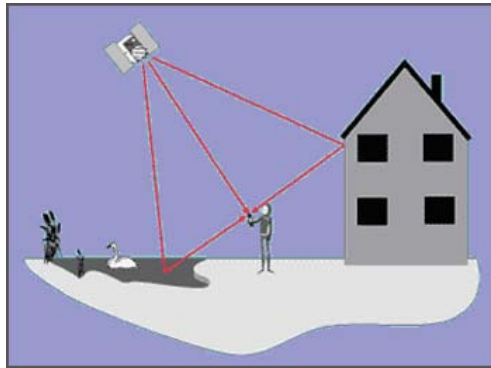




# Pianificazione delle misure della rete GPS

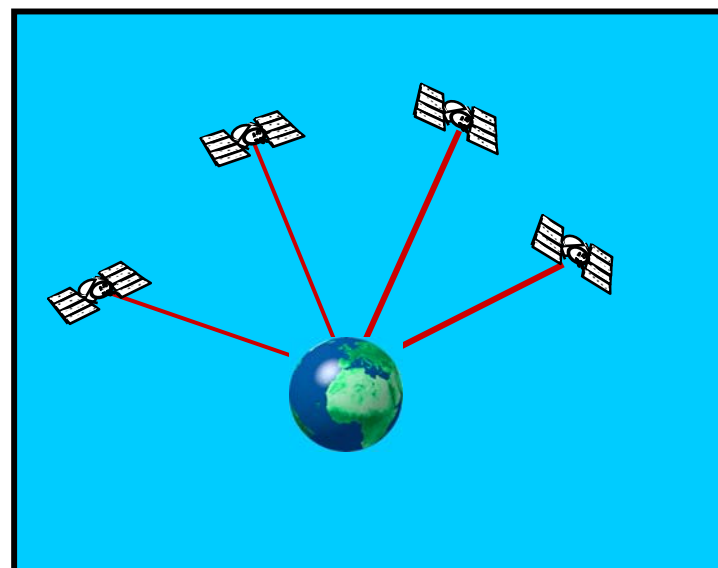
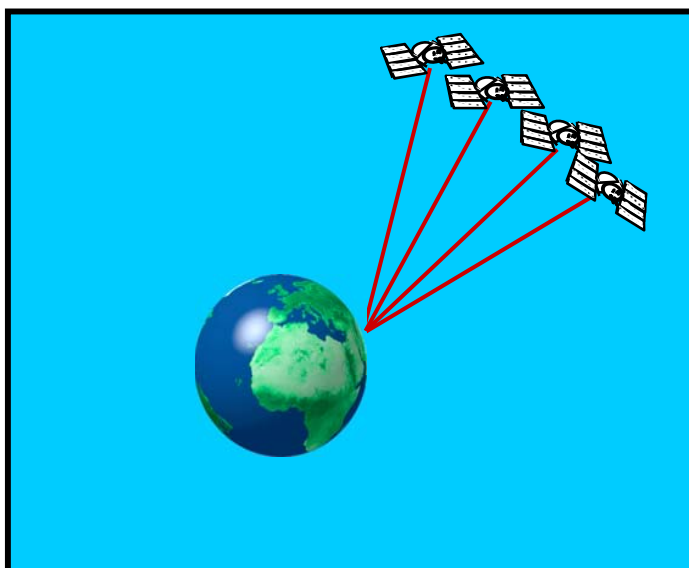




La **deviazione standard** o **scarto quadratico medio** è un indice di dispersione (vale a dire una misura di variabilità di una popolazione o di una variabile casuale) derivato direttamente dalla varianza, che ha la stessa unità di misura dei valori osservati (mentre la varianza ha come unità di misura il quadrato dell'unità di misura dei valori di riferimento). La deviazione standard misura la dispersione dei dati intorno al valore atteso. Se non indicato diversamente, è semplicemente la radice quadrata della varianza, la quale viene coerentemente rappresentata con il quadrato di sigma ( $\sigma^2$ ).

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

dove  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  è la media aritmetica



Se tutti i satelliti sono nello stesso quadrante la precisione è bassa.  
Se i satelliti sono allineati la precisione è bassa.

È auspicabile che i satelliti siano ben distribuiti nella volta celeste.

Il valore dell'indice GDOP non deve superare 6-7

Il valore dell'indice PDOP non deve superare 2-3



L'effetto della configurazione geometrica dei satelliti è espresso dal fattore *Dilution Of Precision* (DOP), che rappresenta il rapporto fra l'errore nel posizionamento e l'errore nella misura, ovvero

$$\sigma = \text{DOP} \sigma_0$$

dove:

$\sigma_0$  l'errore delle misure (deviazione standard)

$\sigma$  è l'errore nella posizione (deviazione standard)

DOP è uno scalare che rappresenta il contributo della configurazione geometrica all'errore nel posizionamento.



Sono stati definiti vari tipi di DOP, a seconda di quali coordinate, o combinazioni di esse, siano coinvolte. I più comuni sono:

$VDOP \cdot \sigma_0$  che rappresenta la deviazione standard nella quota,

$HDOP \cdot \sigma_0$  è l'errore nella posizione orizzontale

$PDOP \cdot \sigma_0$  è l'errore nella posizione tridimensionale

$TDOP \cdot \sigma_0$  è la deviazione standard nel tempo

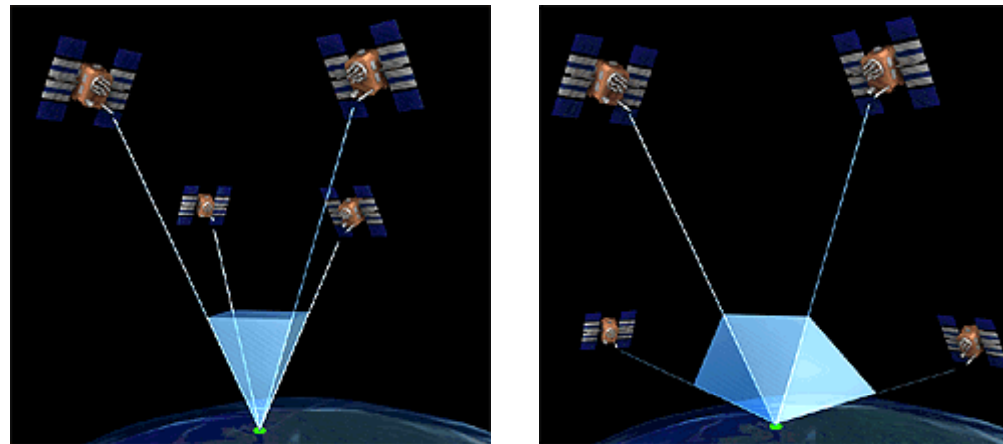
$HTDOP \cdot \sigma_0$  è l'errore nella posizione orizzontale e nel tempo

$GDOP \cdot \sigma_0$  è l'errore nella posizione tridimensionale e nel tempo



Come si vede dalla formule, occorre che il DOP sia il più piccolo possibile, almeno inferiore a 6, in modo da minimizzare l'errore sul posizionamento. Questa condizione è verificata quando i satelliti sono disposti nella cosiddetta configurazione ad "ombrello aperto", rappresentata in figura.

È importante tener conto di questo fattore quando si deve scegliere l'intervallo di tempo nel quale effettuare le osservazioni.





## I parametri logistici

È indispensabile pianificare le misure della rete in modo da cercare di minimizzare i tempi richiesti per gli spostamenti dei ricevitori per passare dalle stazioni di una sessione a quelle della successiva.

Tale problema diventa importante quando in una stessa giornata si vogliono rilevare più sessioni, soprattutto per diminuire i tempi di attesa richiesti per l'occupazione da parte di tutti i ricevitori delle nuove stazioni.

La soluzione può essere trovata per via analitica (second order design) [Baldi et al., 1989], ma molto spesso, soprattutto per reti di elevata estensione, va calibrata tenendo conto del diverso grado di accessibilità dei punti, della viabilità delle strade di accesso ecc.



## La progettazione con programmi commerciali

Con questo termine intendiamo la fase di progetto che è possibile gestire attraverso l'uso di programmi commerciali. Tali programmi, salvo casi particolari, sono costituiti da tre moduli: un primo modulo di progettazione satellitare, un secondo di compensazione a singola base ed un terzo di compensazione della rete per basi indipendenti.

Alcuni permettono poi la trasformazione delle coordinate WGS84 nel sistema cartografico nazionale.

La fase di progettazione consiste nel prevedere la precisione nel posizionamento assoluto di un punto singolo della rete a partire dalle posizioni approssimate dei satelliti (almanacco), dalla posizione approssimata del punto e dall'identificazione di eventuali ostacoli alla visibilità dei satelliti. È evidente che il nostro scopo è quello di soddisfare i requisiti di precisione in termini di posizionamento relativo dei vertici della rete.





I parametri di progetto sono gli indici DOP (dilution of precision: decremento di precisione) [Manzino, 1996], in particolare sono usati i valori GDOP, PDOP, HDOP e VDOP che sono indici di precisione rispettivamente nella determinazione delle tre coordinate, delle coordinate planimetriche e della sola altimetria.

Si è visto che per ricavare la posizione dei punti a terra (assoluta o relativa) si parte dall'idea di conoscere la posizione dei satelliti ad un dato istante. Grazie alle effemeridi trasmesse dai satelliti nel messaggio navigazionale  $D$  possiamo quindi prevedere in un dato giorno dell'anno quanti satelliti saranno visibili in un certo istante in un certo punto della superficie ed in che posizione apparenti.



Se dovessimo fare un rilievo, ad esempio a Palermo, conosceremmo ad esempio le coordinate approssimate (ad una decina di km) del luogo e, grazie alle effemeridi, quanti satelliti passeranno nelle ventiquattro ore del giorno stabilito per il rilievo.

Vogliamo determinare quale potrà essere il momento migliore per eseguire il rilievo, nell'ipotesi che altre considerazioni quali la dimensione della rete, la lunghezza media delle basi ecc., mi permettono di ricavare a priori che dovrebbe essere sufficiente acquisire dati per circa tre ore con almeno cinque satelliti. Occorre scegliere la finestra temporale migliore per l'acquisizione dal punto di vista della precisione ottenibile del rilievo.



Il posizionamento assoluto, eseguito sia con misure di pseudorange che di fase, deriva in definitiva dalla conoscenza delle distanze stazione-satellite. Ipotizzando che queste distanze  $\rho$  si possano conoscere con una precisione data a priori, ad esempio:

$$\sigma_{\rho} = \pm \text{ura},$$

(ura sta per User Range Accuracy, parametro noto a priori dalle effemeridi inviate), ciò permette di progettare a priori il rilievo in funzione della precisione finale delle coordinate del punto a terra. Si ricordi che, quando si progetta una rete ai minimi quadrati, occorre stabilire le coordinate approssimate dei punti della rete, le misure che si faranno e la loro precisione.



Non occorre eseguire materialmente le misure, è possibile ricavare ugualmente la matrice di varianza covarianza delle coordinate dei punti incogniti, a meno di una costante . Anche in questo caso, stabilito che si conoscono a priori le coordinate approssimate dei satelliti ad una certa ora, e la precisione delle distanze stazione satelliti, è possibile ricavare la matrice di varianza covarianza dei parametri relativi al posizionamento del punto  $P$ .

Tale matrice è di dimensione quattro in quanto le incognite coinvolte sono le coordinate  $(X, Y, X)$  del punto ed un offset di tempo  $\tau$  .

Supponiamo di aver ricavato tale matrice in un sistema di riferimento cartesiano locale che indichiamo con lettere minuscole  $(x, y, z)$ ; l'asse  $z$  rappresenta all'incirca l'altimetria ed il piano  $xy$  la planimetria della rete:



$$C_{xx} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{xt} \\ & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} & \sigma_{yt} \\ & & \sigma_{zz} & \sigma_{zt} \\ \text{simm} & & & \sigma_{tt} \end{pmatrix}$$

È possibile dunque prevedere quale sarà la precisione secondo gli assi  $(x, y, z)$  e l'asse dei tempi del punto  $P$ . Gli indici DOP sono definiti come la radice quadrata di somme di elementi diagonali della matrice  $C$ . Il termine DOP indica «Diluizione di (Of) Precisione». Precisamente l'indice GDOP è definito:

$$\text{GDOP} = \sqrt{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} + \sigma_{tt}}$$



dove la traccia di una matrice indica la somma degli elementi diagonali della stessa. Si ha poi:

$$\text{PDOP} = \sqrt{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}} \quad \text{HDOP} = \sqrt{\sigma_{xx} + \sigma_{yy}}$$

$$\text{VDOP} = \sqrt{\sigma_{zz}} \quad \text{TDOP} = \sqrt{\sigma_{tt}}$$

Tanto più piccolo è il valore di questi indici tanto maggiore è la precisione nel posizionamento assoluto. Le case costruttrici consigliano di progettare rilievi con GDOP < 7. I valori di questi indici dipendono dalla buona disposizione dei satelliti in vista e dal loro numero. Vedremo con il programma Occupation Planning l'andamento degli indici DOP per un vertice sito a Palermo



## Esempio: Calcolo GDOP

GPS GDOP Example - Peter H. Dana - 4/24/96

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeris Parameters and SV Time

$SVx_0 := 15524471.175$	$SVy_0 := -16649826.222$	$SVz_0 := 13512272.387$	SV 15
$SVx_1 := -2304058.534$	$SVy_1 := -23287906.465$	$SVz_1 := 11917038.105$	SV 27
$SVx_2 := 16680243.357$	$SVy_2 := -3069625.561$	$SVz_2 := 20378551.047$	SV 31
$SVx_3 := -14799931.395$	$SVy_3 := -21425358.24$	$SVz_3 := 6069947.224$	SV 7

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

$Rx := -730000$        $Ry := -5440000$        $Rz := 3230000$

For Each of 4 SVs       $i := 0..3$

Ranges from Receiver Position Estimate to SVs (R) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - Rx)^2 + (SVy_i - Ry)^2 + (SVz_i - Rz)^2}$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - Rx}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - Ry}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - Rz}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad P := (A^T \cdot A)^{-1}$$

Compute Geometric Dilution of Precision (GDOP) terms:

$$GDOP := \sqrt{P_{0,0} + P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3}} \quad GDOP = 6.806$$

$$PDOP := \sqrt{P_{0,0} + P_{1,1} + P_{2,2}} \quad PDOP = 6.171$$

$$TDOP := \sqrt{P_{3,3}} \quad TDOP = 2.871$$

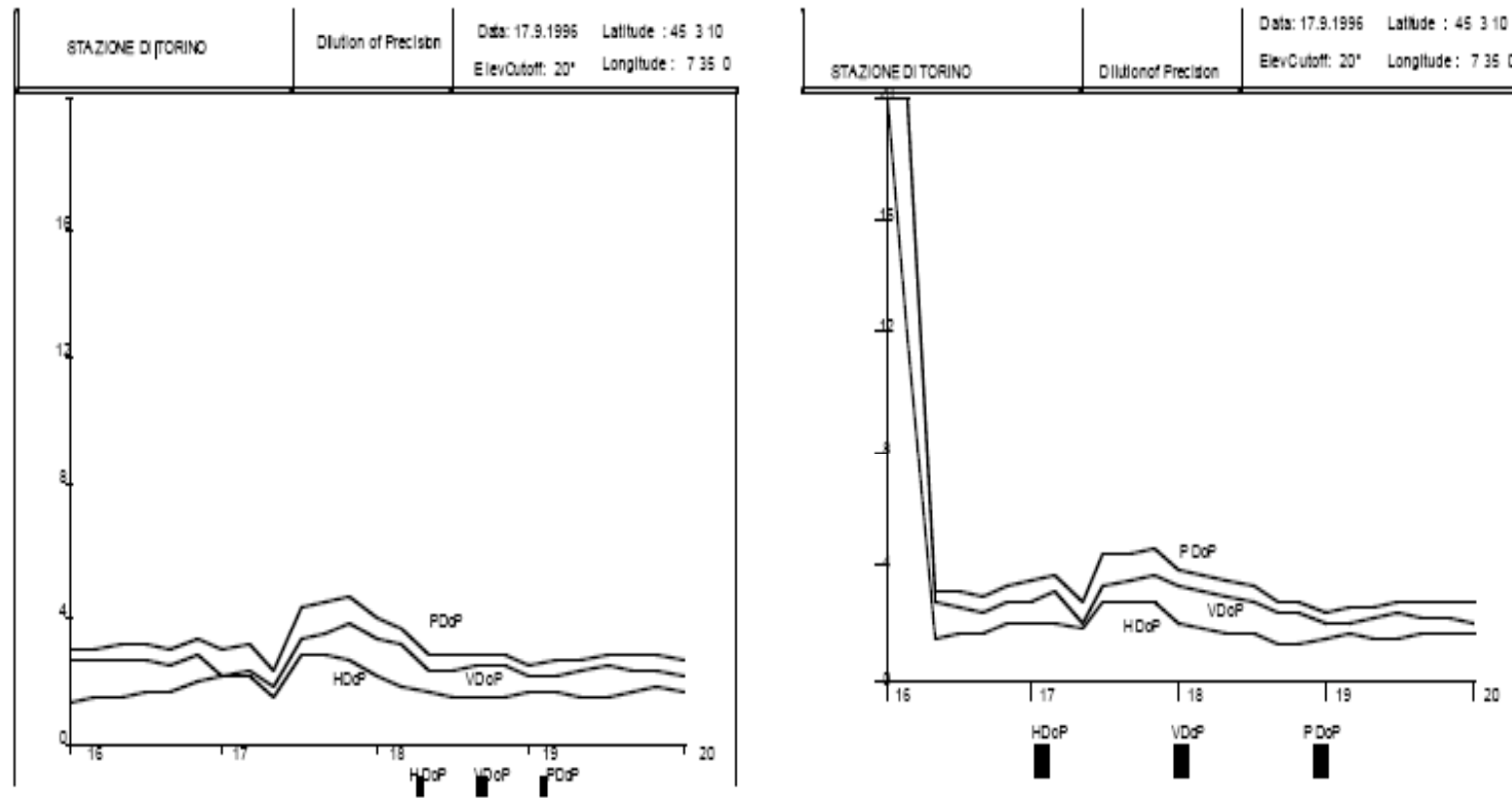


Fig. 15.5 – Indici DOP non tenendo conto e considerando le ostruzioni del segnale.

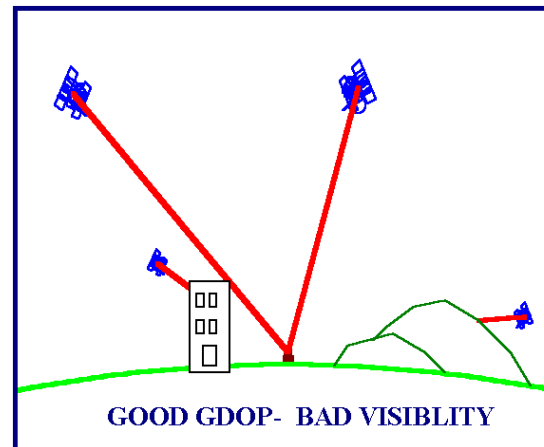


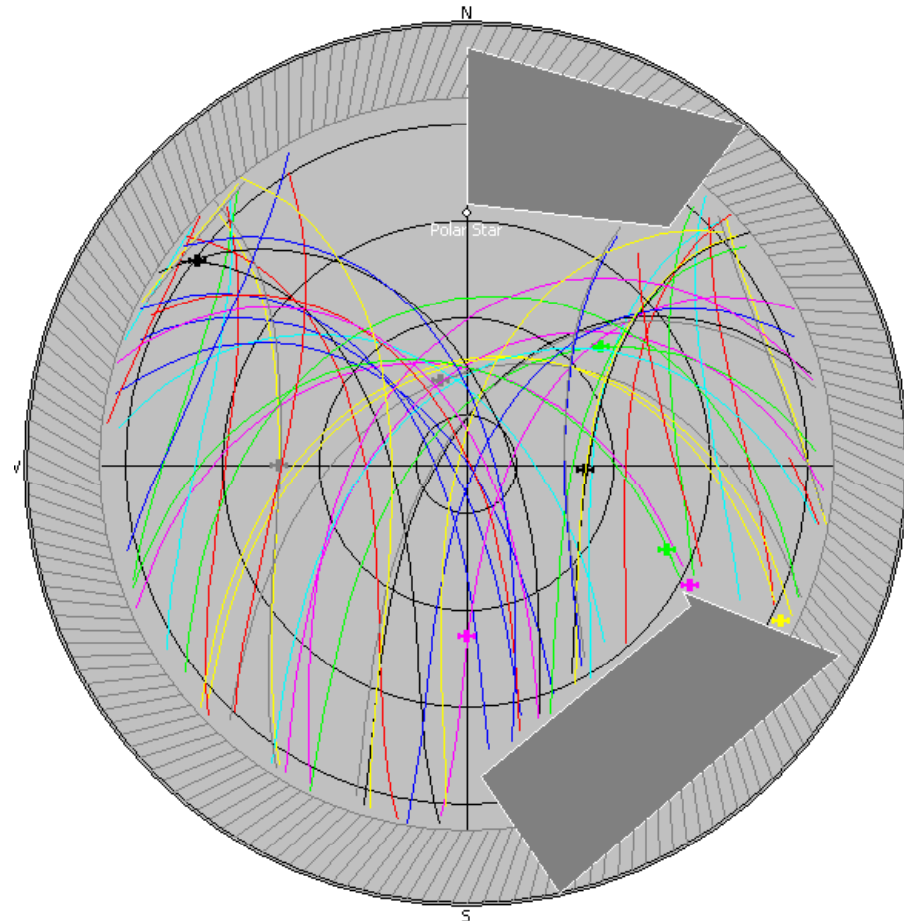


## Importante:

Il posizionamento di precisione è ottenuto con un trattamento differenziale dei dati di fase: gli indici DOP non forniscono dunque un'informazione sulla precisione del posizionamento relativo dei vertici della rete, ma aiutano a scegliere la finestra di osservazione.

Tutti i programmi commerciali inoltre forniscono un grafico polare delle orbite dei satelliti riferito al punto di stazione (sky plot); la distanza dal polo rappresenta l'elevazione decrescente del satellite e l'angolo di direzione è l'azimut del satellite.





Date: 09/09/2007  
Local Time: 16.55.35 - 16.55.35 next day  
Current Local Time: 16.55.35  
UTC Offset: 0:00  
Lat: 38:8:0 N  
Lon: 13:19:0 E  
El. Height: 0.00 m



La figura mostra lo sky plot relativo ad un vertice della rete. Lo sky plot permette di valutare l'effetto di ostruzioni, presenti in una stazione e rilevate dal sopralluogo, sugli indici DOP, quali vegetazione, edifici ecc. E' importante ricordare che la variazione degli indici DOP, deve essere effettuata tenendo conto delle ostruzioni, evidenziate nel corso del sopralluogo preliminare.

È bene ricordare che, in caso di ostruzione, occorrerà verificare sugli estremi di una base la contemporanea presenza di almeno quattro satelliti comuni.

I programmi commerciali non dispongono quindi di un modulo di simulazione che consenta di sviluppare il progetto di un'intera campagna o almeno di una sessione, ma consentono solo di valutare la migliore finestra di osservazione.



Come premesso, la durata di acquisizione è legata non solo agli indici DOP ma anche alla lunghezza della base, alla precisione richiesta, al tipo di trattamento, agli effetti ionosferici ecc. Con l'uso di programmi commerciali la scelta di questi e di molti altri parametri di progetto segue criteri empirici, peraltro ben consolidati. Ad esempio, per rilievi statici alcune case costruttrici forniscono dei grafici come, quello riportato in figura seguente, che legano i tempi di osservazione massimi al numero di satelliti in vista (almeno uno per quadrante) ed alla lunghezza della base.

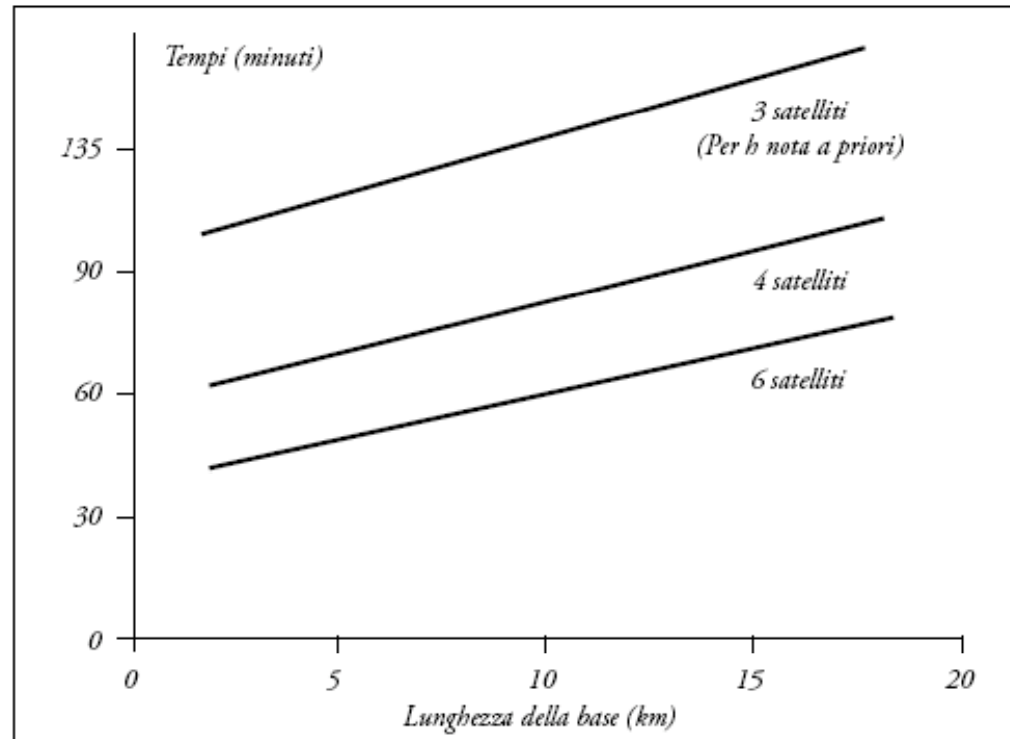


Fig. 15.7 – Grafico dei tempi di osservazione in funzione dei satelliti in vista e della lunghezza delle basi.



Nei rilievi rapido statici la tabella fornisce il tempo minimo di osservazione, in minuti, richiesto in relazione al numero di satelliti e per basi di lunghezza massima di una decina di km; alcuni ricevitori determinano automaticamente sul posto il tempo minimo necessario al rilievo rapido statico.

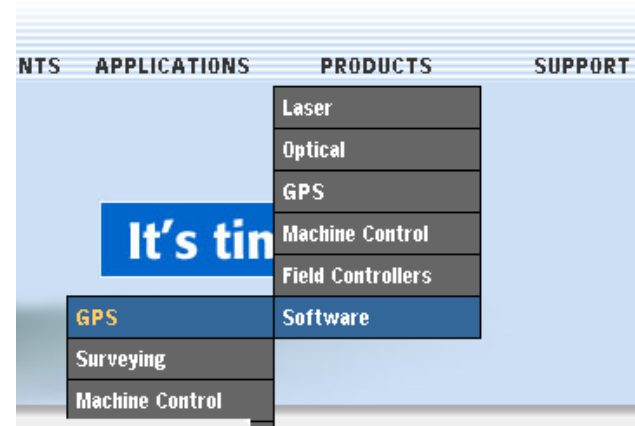
**Tab. 15.1** – Tempi minimi di osservazione, per numero dei satelliti in vista, per basi < 10 km nei rilievi rapido statici.

N° SATELLITI	TEMPO MINIMO (MINUTI)
4	>20
5	10-20

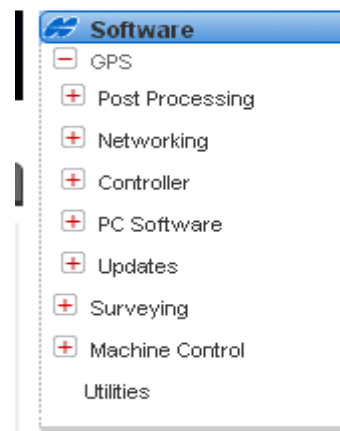


## SCARICO ALMANACCO DAL SITO TOPCON

1. ACCEDERE AL SITO INTERNET [www.topconpositioning.com/](http://www.topconpositioning.com/)
2. SELEZIONARE LA COLONNA PRODUCTS/SOFTWARE/GPS



1. DALLA FINESTRA CHE COMPARE, SELEZIONARE UTILITIES APPARTENENTE ALLA COLONNA SOFTWARE

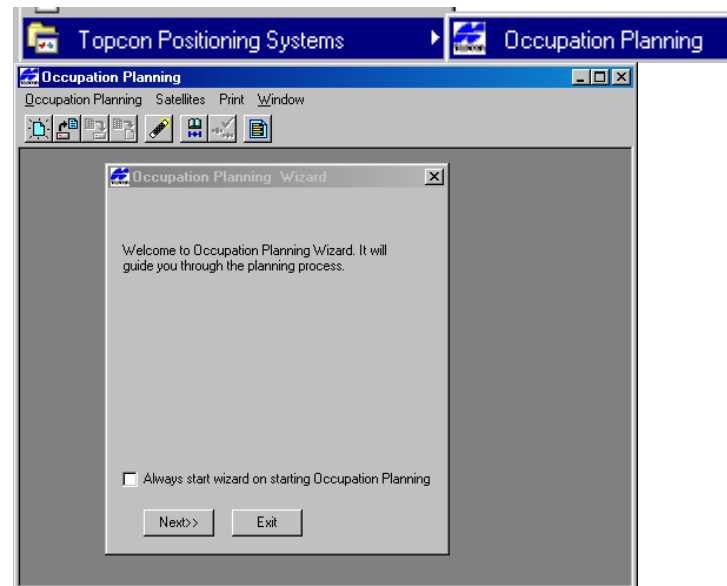




# PIANIFICAZIONE DI UN RILIEVO

## USO DEL PROGRAMMA MISSION PLANNING

1. LANCIARE IL PROGRAMMA DI PIANIFICAZIONE OCCUPATION PLANNING







## Operazioni preliminari

Planning satellitare

Ricognizione e sopralluogo

Rilievo: monografie, diagrammi  
di ostruzione, determinazione  
altezza strumentale, tempo di  
acquisizione



## Ricognizione e sopralluogo





Si riportano di seguito alcuni esempi di modulistica adottabile per misure statiche. DI sotto la scheda da compilare per ogni stazione eseguita, che riporta i dati essenziali della sessione statica eseguita sul punto. I disegni monografici possono comprendere una planimetria del punto rilevato ed elementi circostanti, e anche se necessario uno schema della misura dell'altezza dell'antenna.

<b>SCHEDA STAZIONE GNSS</b>	
Lavoro	
Data	
Denominazione punto	
Ora inizio sessione	
Ora fine sessione	
Ricevitore	
Antenna	
Altezza antenna	
tipo misura altezza	
N. sat inizio sessione	
N. sat fine sessione	
Operatore	
Note e osservazioni	

Disegni monografici



## Esempi monografie



FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
UNIVERSITÀ DEGLI  
STUDI DI PALERMO



DIPARTIMENTO DI RAPPRESENTAZIONE

### RILIEVO DI UNA RETE GPS

#### Monografia del vertice V2

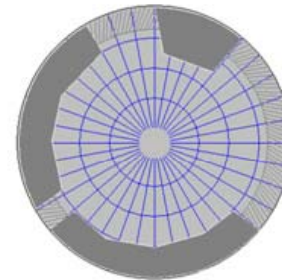
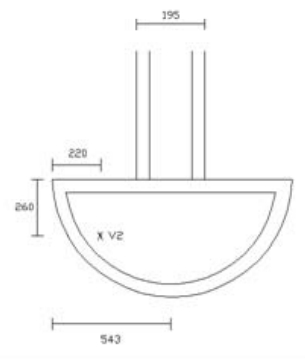
Data: 28/03/2007  
Nome del punto: V2  
Operatori: M. Sciortino, M. Vinci  
F. Bordonaro  
Tipo di rilievo: GPS Statico

**Descrizione:** il punto V2 si trova materializzato con apposito chiodo sull'isola pedonale posta alle spalle della facoltà di Ingegneria, di fronte ai padiglioni che ospitano i laboratori del Dipartimento di Idraulica.

Aerofotogramma



Monografia



Coordinate piane (Gauss-Boaga):

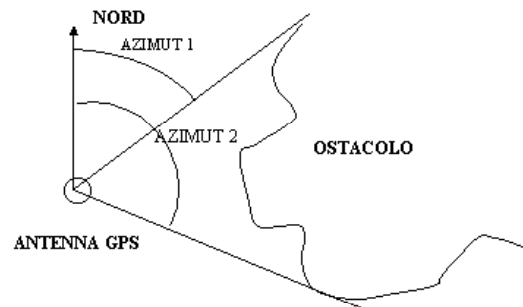
N 4218807.72 (m) E 2375070.04 (m) Q 44.87 (m)

	<b>ANAS S.p.A.</b> SETTORE PROGRAMMAZIONE E PROGETTAZIONE																																
	<b>VERTICI RETE DI INQUADRAMENTO RAFFITTIMENTO E POLIGONALI</b> BRETELLA DI COLLEGAMENTO ALCAMO EST																																
a29 - svincolo alcamo est - km 45+000	<b>Codice:</b> 593060001 <b>Nome:</b> VTR020 <b>Deriv. Quota:</b> GPS <b>Vertice Esist.:</b> CTR-C VTR020																																
Esecuzione: 13-giu-05																																	
<b>ACCESSO:</b>  sulla ss187, in direzione palermo, al km 47+550 circa sulla destra e' materializzato il centro.	<b>MATERIALIZZAZIONE:</b>  centrino metallico cementato su basamento di raccolta acque in cemento armato.																																
<b>SCHIZZO MONOGRAFICO:</b>  	<b>FOTOGRAFIA:</b>  																																
<b>PARTICOLARE CON MISURE:</b>  	<b>COORDINATE DEL VERTICE GPS:</b> <table border="1"> <tr> <th>Piane (Gauss-Boaga)</th> <th>Geografiche (ROMA40)</th> </tr> <tr> <td>N: 4211125,20</td> <td><math>\phi</math>: 38° 1' 45,325"</td> </tr> <tr> <td>E: 2339584,58</td> <td><math>\lambda</math>: 0° 29' 31,708"</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th>FUSO EST</th> <th>H.ort</th> <th>N:</th> <th>43,45</th> </tr> <tr> <th>Piane (UTM-WGS84)</th> <th>Geografiche (WGS84)</th> </tr> <tr> <td>N: 4211127,80</td> <td><math>\phi</math>: 38° 1' 47,675"</td> </tr> <tr> <td>E: 319590,29</td> <td><math>\lambda</math>: 12° 56' 39,945"</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th>FUSO 33</th> <th>H.ell</th> <th>50,67</th> </tr> <tr> <th>Rettilinee</th> <th>Geografiche (ED50)</th> </tr> <tr> <td>N: <math>\phi</math>: 38° 1' 51,697"</td> </tr> <tr> <td>E: <math>\lambda</math>: 12° 56' 42,542"</td> </tr> </table> <b>RIFERIMENTI PLANIMETRICI</b> <table border="1"> <tr> <td>R.1 spigolo tombino</td> <td>0,21</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>R.2 spigolo tombino</td> <td>0,14</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>R.3 spigolo tombino</td> <td>1,73</td> <td>m</td> </tr> </table>	Piane (Gauss-Boaga)	Geografiche (ROMA40)	N: 4211125,20	$\phi$ : 38° 1' 45,325"	E: 2339584,58	$\lambda$ : 0° 29' 31,708"	FUSO EST	H.ort	N:	43,45	Piane (UTM-WGS84)	Geografiche (WGS84)	N: 4211127,80	$\phi$ : 38° 1' 47,675"	E: 319590,29	$\lambda$ : 12° 56' 39,945"	FUSO 33	H.ell	50,67	Rettilinee	Geografiche (ED50)	N: $\phi$ : 38° 1' 51,697"	E: $\lambda$ : 12° 56' 42,542"	R.1 spigolo tombino	0,21	m	R.2 spigolo tombino	0,14	m	R.3 spigolo tombino	1,73	m
Piane (Gauss-Boaga)	Geografiche (ROMA40)																																
N: 4211125,20	$\phi$ : 38° 1' 45,325"																																
E: 2339584,58	$\lambda$ : 0° 29' 31,708"																																
FUSO EST	H.ort	N:	43,45																														
Piane (UTM-WGS84)	Geografiche (WGS84)																																
N: 4211127,80	$\phi$ : 38° 1' 47,675"																																
E: 319590,29	$\lambda$ : 12° 56' 39,945"																																
FUSO 33	H.ell	50,67																															
Rettilinee	Geografiche (ED50)																																
N: $\phi$ : 38° 1' 51,697"																																	
E: $\lambda$ : 12° 56' 42,542"																																	
R.1 spigolo tombino	0,21	m																															
R.2 spigolo tombino	0,14	m																															
R.3 spigolo tombino	1,73	m																															

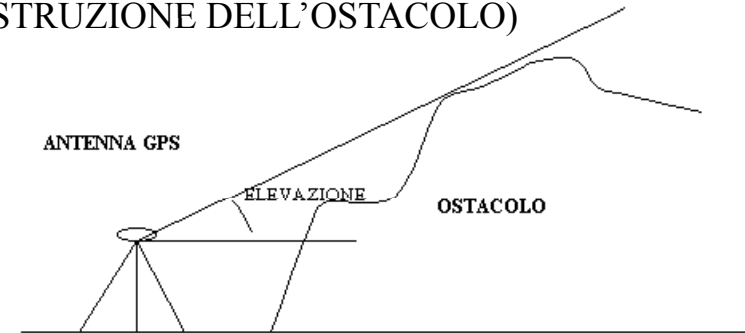


## Costruzione del Diagramma di Ostruzione

(PER PRIMA COSA BISOGNERA' CONOSCERE L'ANGOLO AZIMUTALE  
E DI ELEVAZIONE D'OSTRUZIONE DELL'OSTACOLO)



PLANIMETRIA



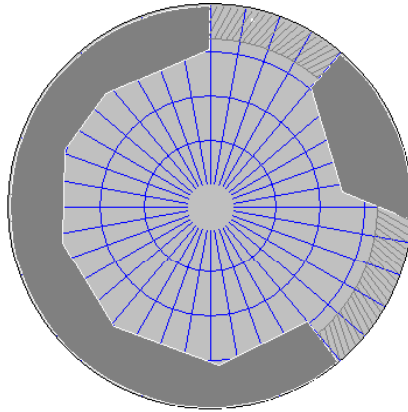
SEZIONE

1. PER L'INSERIMENTO DEGLI OSTACOLI ESEGUIRE LA SEGUENTE PROCEDURA:

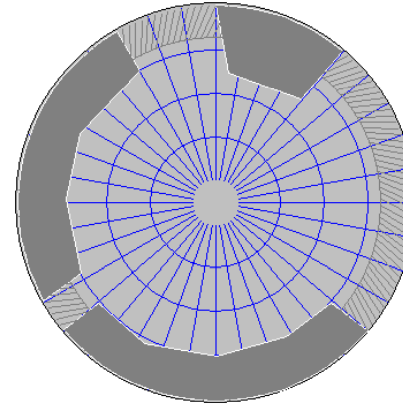
- a. DALLA FINESTRA OBSTRUCTION WINDOW, POSIZIONARE IL PUNTATORE DEL MOUSE SUL BORDO IN MODO CHE IL VALORE DELL'AZIMUT SIA UGUALE ALL'AZIMUT 1 DELL'OSTACOLO E PREMERE IL TASTO SINISTRO DEL MOUSE;
- b. SPOSTARE IL PUNTATORE IN MODO CHE L'AZIMUT 1 SIA COSTANTE, MENTRE L'ELEVAZIONE ARRIVI VICINO AL VALORE DELL'OSTACOLO E PREMERE IL TASTO SINISTRO DEL MOUSE;
- c. MANTENERE COSTANTE L'ELEVAZIONE E SPOSTARSI IN MANIERA CHE L'AZIMUT CAMBI FINO AD ARRIVARE ALL'AZIMUT 2 (OGNI TANTO PREMERE IL TASTO SINISTRO DEL MOUSE PER FISSARE LE LINEE - VEDERE FIGURA IN BASSO LINEA BIANCA);
- d. AL RAGGIUNGIMENTO DELL'AZIMUT PREMERE IL TASTO SINISTRO E SCENDERE AD ELEVAZIONE ZERO CON AZIMUT COSTANTE UGUALE AD AZIMUT 2;



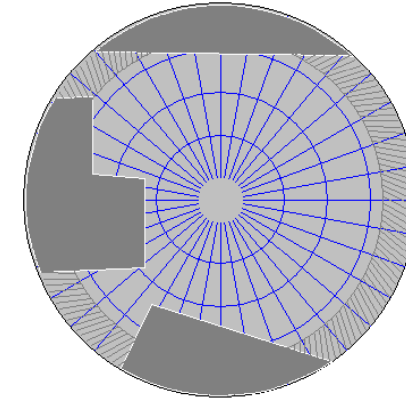
Si sono tenute in considerazione le ostruzioni che avrebbero potuto ridurre o impedire la ricezione del segnale GPS.



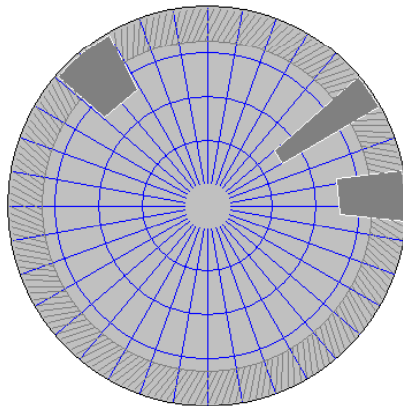
V1



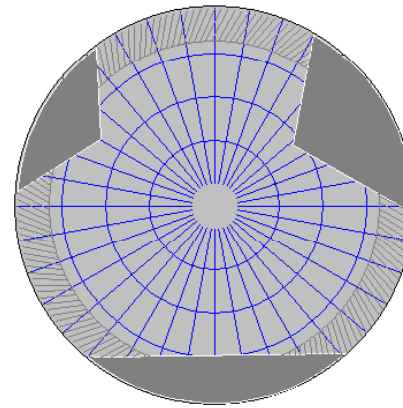
V2



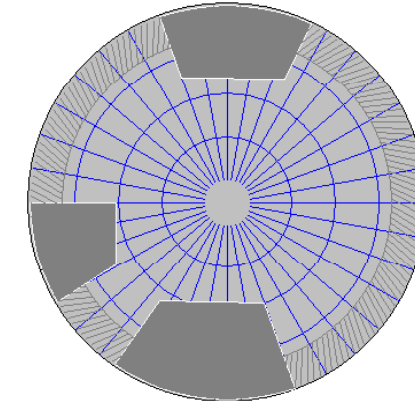
V3



V4



V5



V6



## *Operazioni di campagna*

Le operazioni di campagna nei rilievi in statico sono molto semplici: si tratta di porre in stazione l'antenna GNSS sul treppiede, misurarne correttamente l'altezza, effettuare i necessari collegamenti, accendere il ricevitore e avviare la registrazione del file proprietario. Al termine della sessione, si interrompe la registrazione e si spegne il ricevitore. Una serie di operazioni apparentemente banali ma che vanno eseguite con ordine e attenzione in quanto nascondono piccole insidie che possono compromettere il buon esito del rilievo. Si ritiene pertanto opportuno fornire alcune indicazioni più dettagliate.



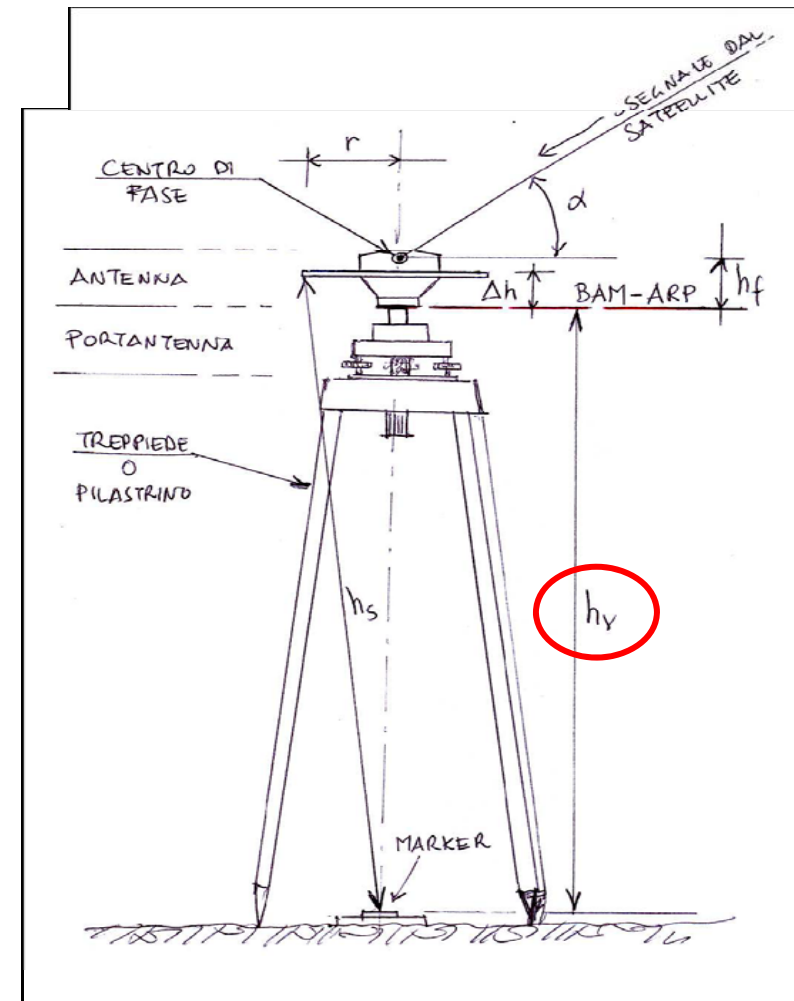
## Nota sul calcolo dell'altezza strumentale

La misura dell'altezza (offset verticale) dell'antenna può essere effettuata in diversi modi tra i quali i più comuni sono i seguenti:

### *a) offset verticale del piano di base ( $h_v$ )*

Va individuato innanzitutto il piano di base dell'antenna, ovvero il piano su cui l'antenna poggia sul portantenna o pilastrino su cui viene posta in stazione; su questo piano si trova la filettatura femmina (passo standard 5/8") di montaggio. Questo piano viene detto ARP (antenna reference point) o BAM (base of antenna mount). L'offset  $h_v$  viene misurato verticalmente dal piano di base al marker.

(OPERAZIONE NON SEMPRE FACILE)







## Nota sul calcolo dell'altezza strumentale

### b) altezza inclinata o slant ( $h_s$ )

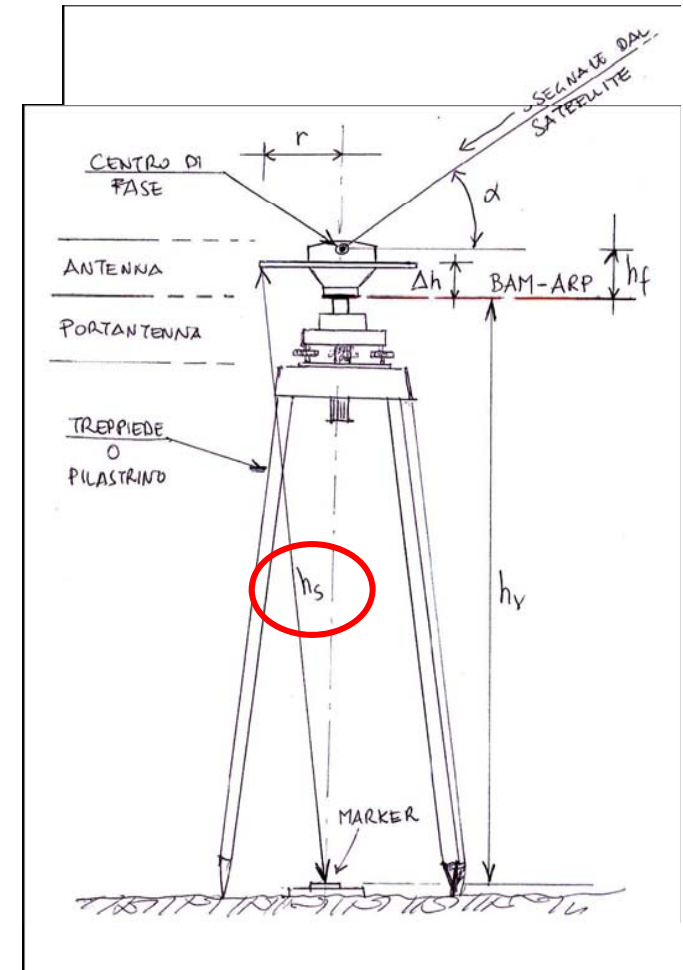
Viene misurata la distanza inclinata  $h_s$  dal centro del marker a un punto P dell'antenna della quale sia nota la distanza  $r$  (raggio) dall'asse e l'offset verticale  $\Delta h$  tra il punto P e il piano di base dell'antenna. La relazione tra i due tipi di altezza è la seguente:

$$h_v = \sqrt{h_s^2 - r^2} + \Delta h$$

L'offset verticale effettivo del centro di fase dell'antenna rispetto al marker viene calcolato dal software applicativo sommando all'offset del piano di base l'ulteriore offset  $h_f$  del centro di fase rispetto al piano di base. Quest'ultimo è funzione della frequenza (è diverso per L1 ed L2) e dell'elevazione  $\alpha$  del satellite (ed quindi diverso per ogni satellite). Si ha pertanto:

$$h_{L1} = h_v + h_{f1}(\alpha)$$

$$h_{L2} = h_v + h_{f2}(\alpha)$$





## Approfondimento

La legge di variazione di  $hf$  con l'elevazione  $a$  del satellite (PCV = Phase Center Variation) è valutata dai software di processamento mediante un file delle antenne, che contiene un database di parametri di calibrazione per vari tipi di antenne predefiniti. Per lavori di importanza ordinaria, è in genere sufficiente verificare che la propria antenna sia inclusa nel database del software che si utilizza, e se necessario aggiornarlo o integrarlo con dati reperibili sul web (ad es. nel sito dell'NGS: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> ). Per tutti i rilievi in cui si richiede una notevole accuratezza e in particolare se si opera nel datum ITRF2005 – IGS05, si raccomanda di ricorrere a parametri PCV di calibrazione assoluta. Di norma, tutti i software applicativi GNSS prevedono sempre tra le varie opzioni l'inserimento dell'offset verticale  $h_v$  come definito al punto a). Alcuni software prevedono anche l'immissione diretta dell'altezza slant, e la trasformano in offset verticale con i dati geometrici dell'antenna ricavati da un database di antenne. Qualora vi siano dubbi a questo proposito, si raccomanda di misurare e utilizzare sempre l'offset verticale  $h_v$  definito al punto a).



## Nota sul tempo di acquisizione

La tecnica statica propriamente detta è la versione più classica del metodo, e richiede sessioni di durata lunga in relazione alla distanza, con intervalli di campionamento di 30 o 60 secondi. È adatta alla determinazione di baselines lunghe ( $> 30$  km) e si utilizza nell'ambito delle reti di inquadramento, nell'ambito di ricerche scientifiche (ad es. in geofisica), o in rilevamenti di alta precisione a scopo di monitoraggio, tutte applicazioni caratterizzate da lunghi periodi di osservazione.

Lo “statico rapido” è la tecnica più utilizzata nei rilievi correnti. È adatta alla determinazione di baselines di lunghezza inferiore ai 30 km e quindi si presta ai rilievi locali in cui l'esigenza primaria è la rapidità e la produttività. Gli intervalli di campionamento più adatti sono in genere 5 o 10 secondi, e le sessioni hanno durata inferiore a quella che richiederebbe lo statico su una pari distanza. Nell'uno e nell'altro caso, vengono utilizzati ricevitori a doppia frequenza. Essi sono indispensabili per le basi lunghe per una efficace correzione ionosferica, e consentono di raggiungere una ottima efficienza nello statico rapido, con tempi di sessione brevi. Si riporta di seguito una tabella contenente durate delle sessioni e intervallo di campionamento consigliati in funzione della lunghezza della baseline. Si tratta di dati di massima a scopo puramente indicativo.



## Nota sul tempo di acquisizione

L (km)	durata sessione (min.)	intervallo campionamento (s)	parametri a (mm)	accuratezza b (p.p.m.)
0-1	10	5	3	1
	30	10	2	1
1-5	20	5	3	1
	60	10	2	1
5-10	30	5	3	1
	60	20	2	0.5
10-30	40	10	3	1
	90	30	2	0.5
30-50	120	30	2	0.5
50-100	180	30	2	0.3
> 100	> 240	30	2	0.2

Tabella 3 - Parametri di progetto indicativi per sessioni di misura statiche (ricevitori a doppia frequenza).

$$\sigma_{pl} = \sqrt{a^2 + (bL)^2}$$
$$\sigma_{alt} \cong 1.5 \cdot \sigma_{pl}$$