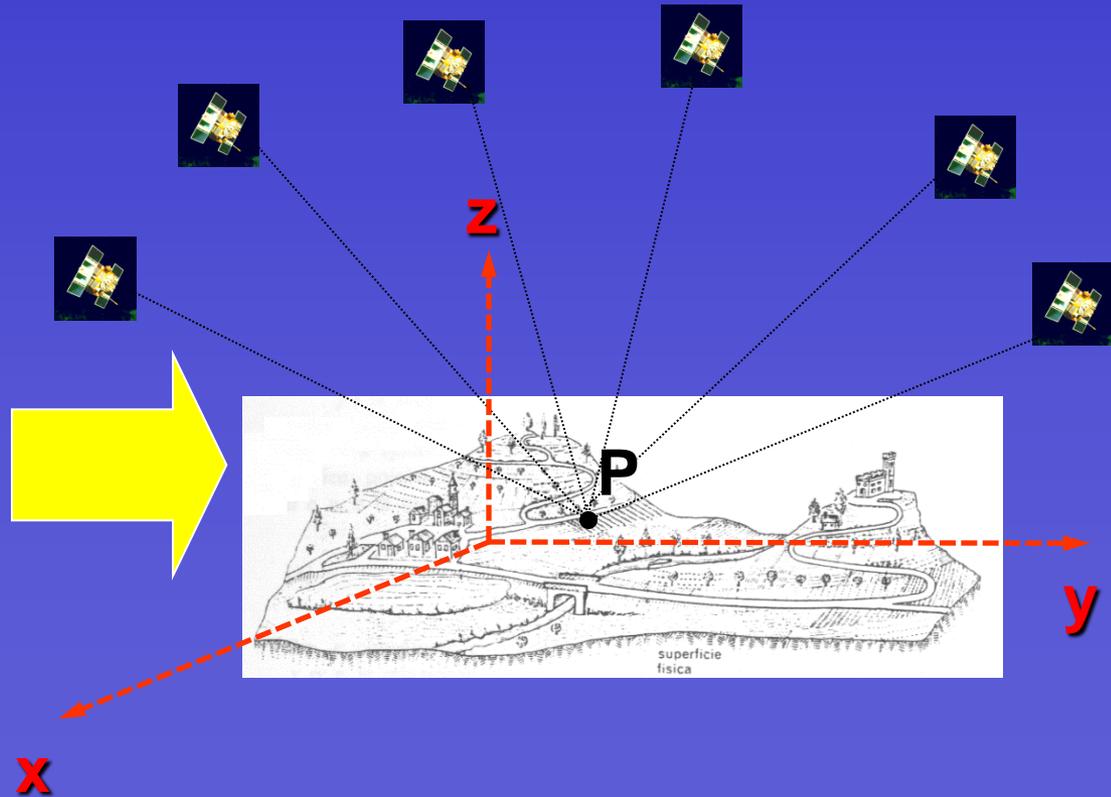
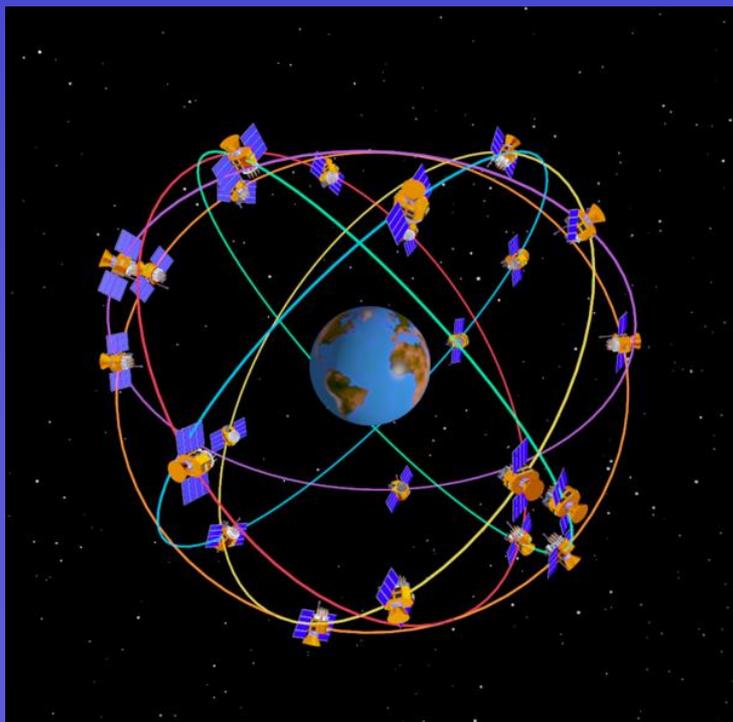


GPS: Global Positioning System negli ultimi anni sostituito con GNSS: Global Navigation Satellite System

Sistema di Posizionamento/Navigazione Globale Satellitare

<http://www.gps.gov/>; <https://www.gsc-europa.eu/>; <https://www.glonass-iac.ru/en/>;

Sistema di rilevamento satellitare in grado di fornire la posizione di un punto della superficie della terra con elevata accuratezza



Sistemi Satellitari di Navigazione – GNSS

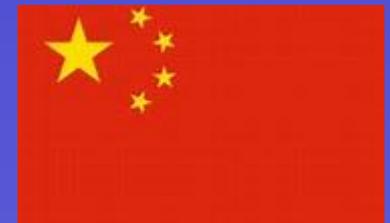
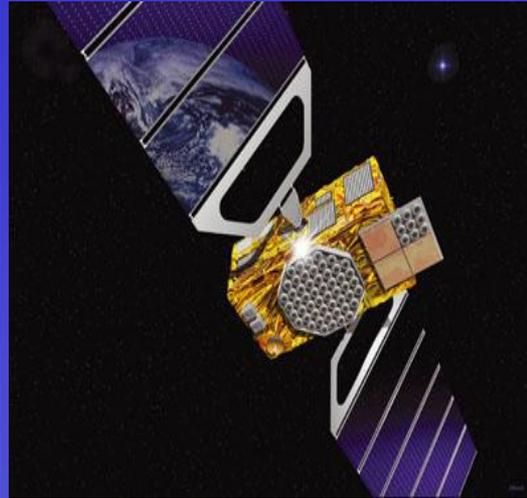
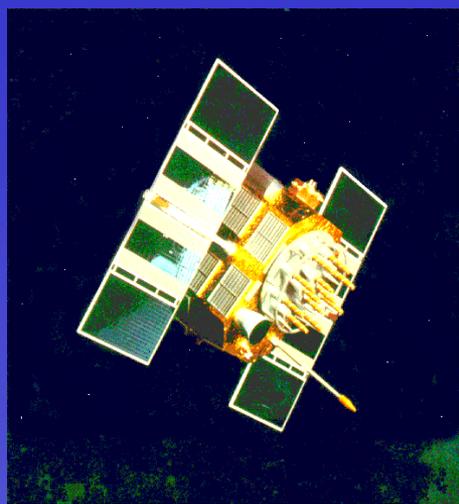
Global Navigation Satellite System

GPS

Glonass

Galileo

Beidou



Inside GNSS – un po' di storia

GPS: il progetto è dell'inizio degli anni '70 (finalità militari). Il primo satellite entra in orbita nel 1978. Negli anni '80 viene messa in orbita l'intera costellazione. Oggi è utilizzato principalmente per scopi civili (navigazione e rilievi geodetici e topografici). **NOI FAREMO RIFERIMENTO AL GPS**

Glonass: Il primo lancio è del 12 ottobre 1982, la costellazione si è completata con 24 satelliti nel 1997. La Russia inizialmente non ha avuto la forza economica per mantenerla attiva. Nel 2002 è stato dato il via al programma di rilancio del sistema. Il completamento della costellazione (24 sv) è stato raggiunto nel 2012.

Galileo: è il progetto europeo. Il primo satellite (Giove A) è stato lanciato il 28 dicembre 2005 seguito dal satellite Giove B (attualmente ritirati). Nel 2011/12 sono stati lanciati altri 4 satelliti Galileo IOV (In Orbit Validation). Nel 2014/15 sono ripresi i lanci. Attualmente (maggio 2019) sono in orbita 24 SV con i primi servizi di posizionamento. Il completamento della costellazione (24 SV + 6 di riserva) è previsto per il 2020. Doveva essere pienamente operativo nel 2008 !!.

Beidou – Compass: Sistema cinese. Inizialmente (2012) solo per coprire il territorio della Cina, e dell'area limitrofa, dal 2015 si sta trasformando in un Sistema Globale (completamento previsto per il 2020)

Vantaggi del GNSS rispetto rilievi “tradizionali” (con stazione totale e livello)

- **NON E' NECESSARIA L'INTERVISIBILITA' TRA I PUNTI**
- **FUNZIONA 24/24 H ED INDIPENDENTEMENTE DALLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE**
- **UN SOLO OPERATORE, tempi e costi del rilievo ridotti**
- **AUTOMAZIONE DELLE PROCEDURE DI MISURA E DI ELABORAZIONE DEI DATI**
- **UN SOLO SISTEMA DI RIFERIMENTO PER TUTTO IL GLOBO (es. WGS84 o i sistemi ITRS /ETRS)**
- **CONOSCENZA IN TEMPO REALE DELLA POSIZIONE; con un solo ricevitore (posizionamento assoluto) errore di alcuni metri; per maggiori accuratezze sono necessari due ricevitori (posizionamento relativo, ad es. In modalità RTK o statica), o una Rete di Stazioni Permanenti (modalità NRTK)**

Problemi/svantaggi GNSS rispetto ai rilievi “tradizionali” (con stazione totale e livello)

- **Non funziona o funziona con scarsa accuratezza nel caso di copertura del segnale GNSS (edifici vicini, alberi, ostacoli temporanei quali camion, ecc.);**
- **Non funziona o funziona con scarsa accuratezza in caso di mancanza di segnali dati di correzione (da master RTK o da rete di stazioni permanenti NRTK);**
- **L'eccessiva automazione porta a «disimparare» le tecniche di elaborazione più precise (post-processing);**
- **Si sopravvaluta la precisione del rilievo soprattutto per la componente altimetrica;**
- **Richiede il passaggio da quote ellissoidiche a quote geoidiche (livello medio mare)**

- **In alcuni casi (spazi «occlusi») l'uso della stazione totale è fondamentale**
- **Nella misura dei dislivelli geoidici con elevata precisione si usa ancora il livello digitale**

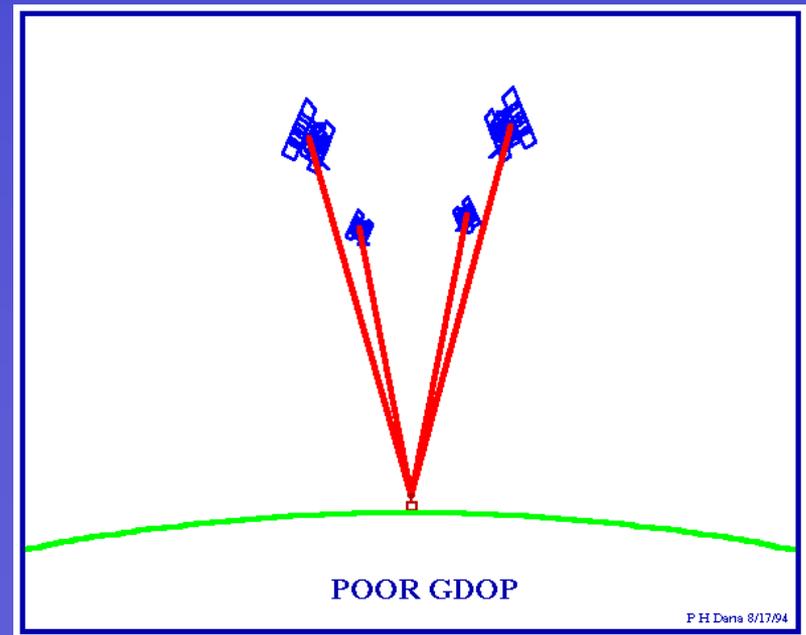
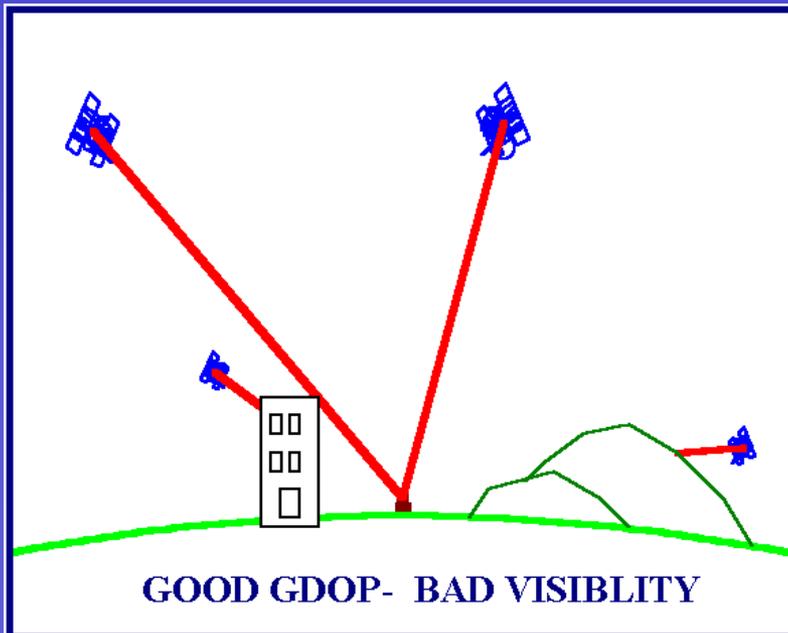
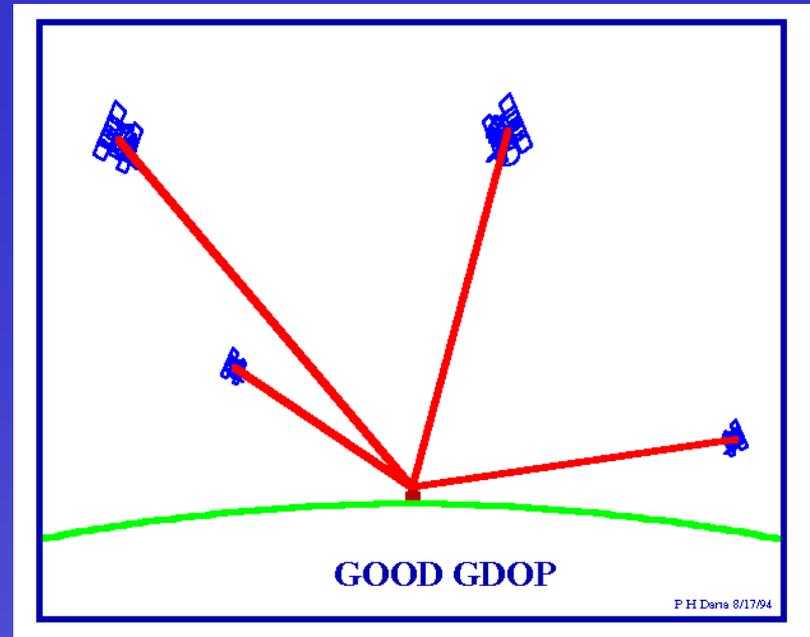
FONTI DI ERRORE

- IONOSFERA
- TROPOSFERA
- NON SINCRONISMO FRA OROLOGIO DEL SATELLITE E QUELLI DEI RICEVITORI
- INSTABILITA' DEGLI OROLOGI (SOPRATTUTTO DI QUELLO DEL RICEVITORE)
- PROBLEMI NELLA RICEZIONE DEL SEGNALE (ostacoli)
- ERRORI SULLE POSIZIONI DEI SATELLITI (effemeridi)
- ...
- **GLI ERRORI NELLA MESSA IN STAZIONE SONO INDIPENDENTI DAL SISTEMA GPS**

FONTI DI ERRORI

CONFIGURAZIONE SATELLITARE:

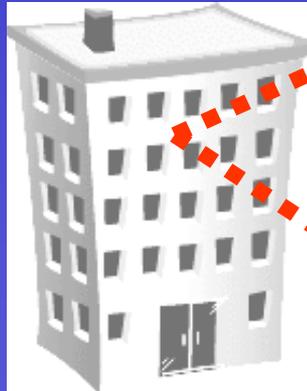
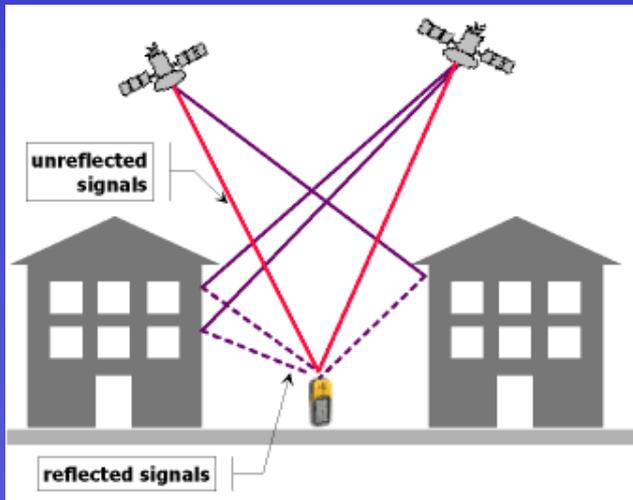
- SATELLITI OCCULTATI
- SATELLITI TROPPO "VICINI" TRA LORO



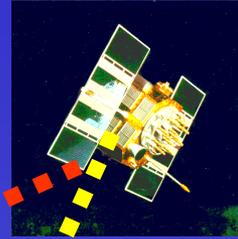
FONTI DI ERRORE

MULTI PATH

In presenza di ostacoli al ricevitore arrivano più segnali: quello diretto e quelli riflessi.



QUESTI SEGNALI RIDUCONO LA PRECISIONE DELLE MISURE SIA NEL POSIZIONAMENTO ASSOLUTO SIA IN QUELLO RELATIVO.

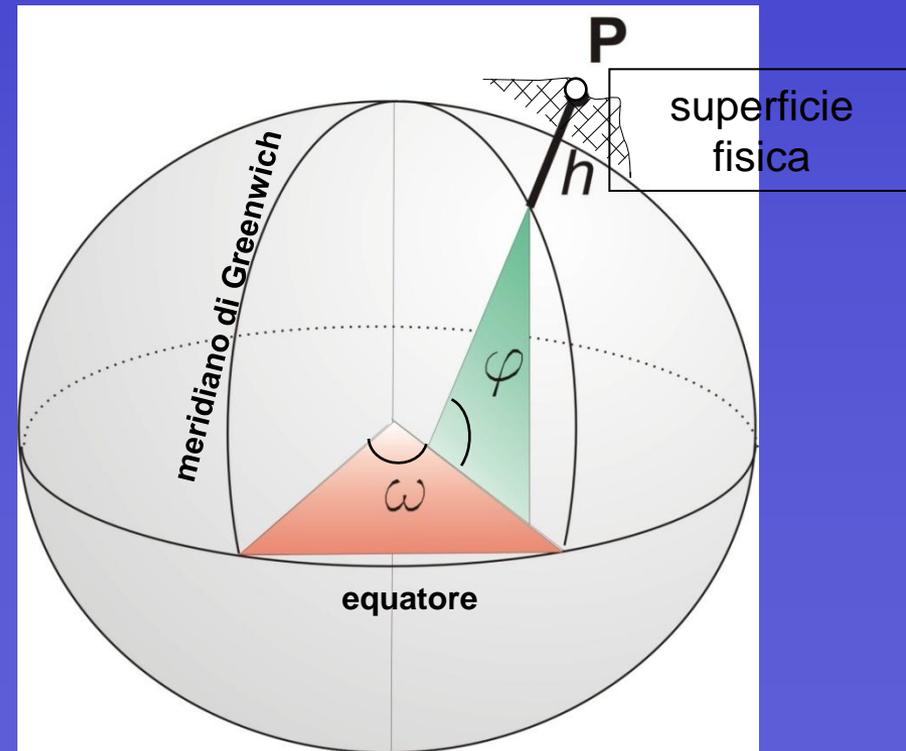
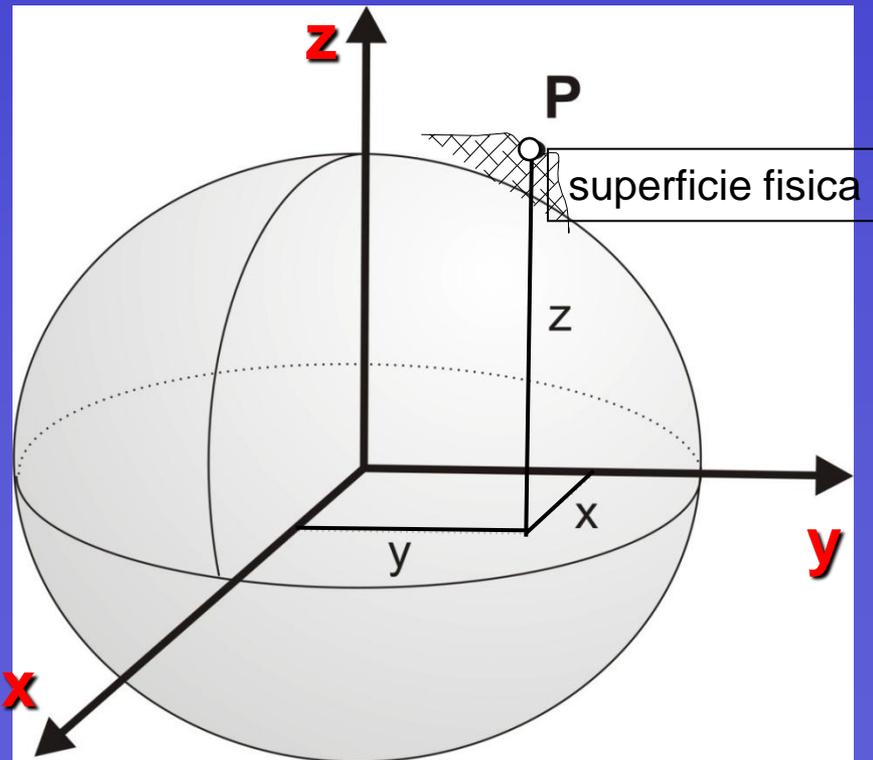


POSIZIONE

La posizione di un punto della superficie della Terra è espressa in Sistemi di Riferimento GLOBALI: ad es. **WGS84 (World Geodetic System 1984)**; **ITRS (International Terrestrial Reference System)**; **ETRS (European)**

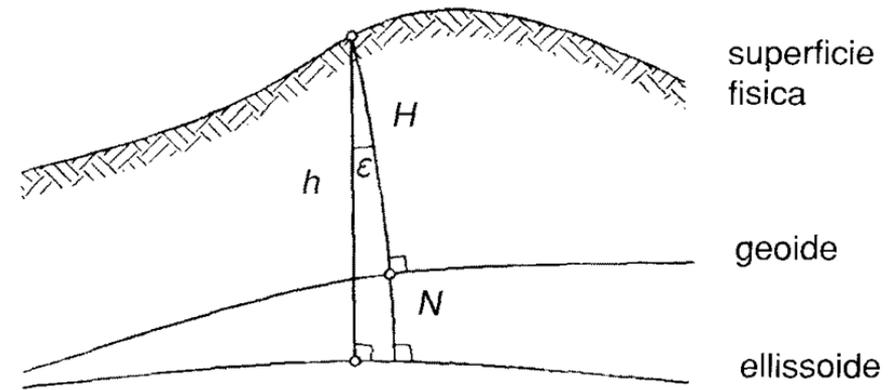
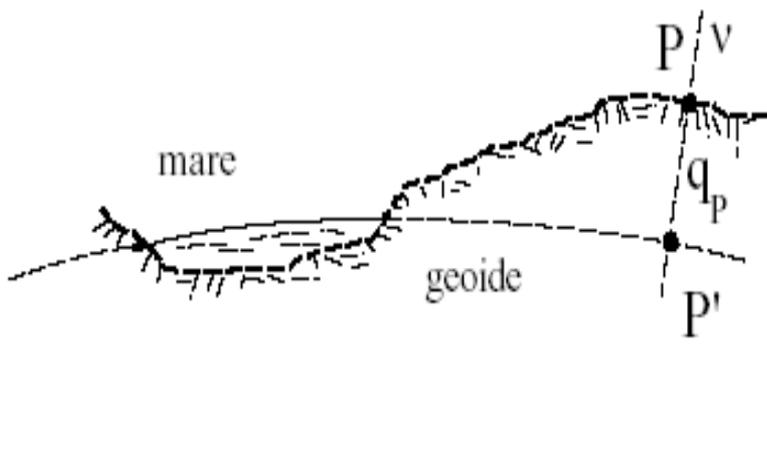
La posizione è espressa dalle coordinate:

- cartesiane tridimensionali (X,Y,Z)
- geografiche: latitudine φ , longitudine ω , quota ellissoidica h)



Con il GPS bisogna fare attenzione alla componente altimetrica.

Quota ellissoidica “h” o geoidica “H” ?

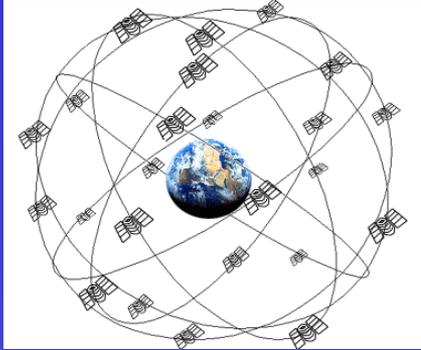


Il GPS fornisce la quota ellissoidica h
ma per i nostri scopi serve la quota geoidica H (riferita al livello
medio mare)

è necessario passare da ellissoidica a geoidica tramite la
conoscenza dell'ondulazione N geoidi-ellissoide

GPS: GENERALITÀ (descriviamo solo il GPS)

Il sistema GPS è costituito da tre segmenti:



1 - SEGMENTO SPAZIALE



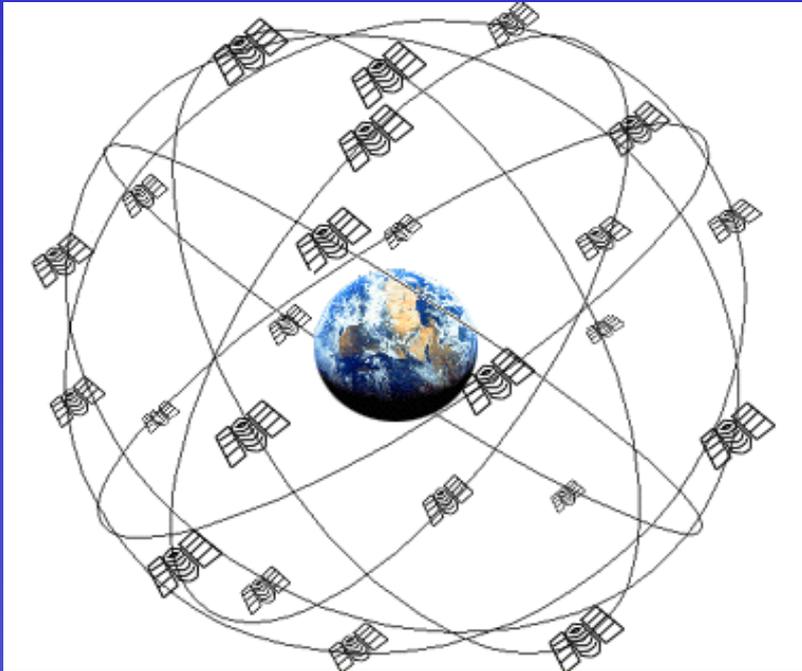
2 - SEGMENTO DI CONTROLLO



3 - SEGMENTO UTENTI

(uno dei primi apparati GPS)

1 - SEGMENTO SPAZIALE



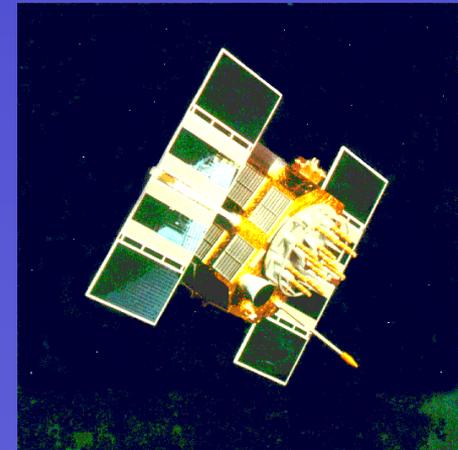
IL SEGMENTO SPAZIALE è costituito dai satelliti in orbita attorno alla Terra.

24 satelliti nominalmente (ma in alcuni periodi sono in numero maggiore anche 32) disposti su 6 orbite ellittiche equispaziate in longitudine di 60° . Ogni orbita è inclinata rispetto al piano equatoriale di 55° .

I satelliti si trovano ad una quota media di circa 20.200 Km, ed hanno periodo di rivoluzione di circa 12 ore.

Ogni satellite è visibile da un punto sulla Terra per circa 5 ore. Il numero dei satelliti è tale da garantire una completa copertura del globo (esclusi i poli) 24 h su 24 per tutto l'anno.

I satelliti inviano nel proprio segnale i parametri per il calcolo delle loro coordinate nel sistema globale: **EFFEMERIDI TRASMESSE** con accuratezza di circa 1m (usate per il posizionamento in tempo reale). Alcuni centri di calcolo internazionali forniscono a posteriori **EFFEMERIDI PRECISE** con accuratezza del centimetro ma con tempi di latenza maggiori (da poche ore a 14 giorni per il post processamento di alta precisione).



1 - SEGMENTO SPAZIALE

I satelliti si trovano ad una quota tale che gli effetti gravitazionali e relativistici a cui sono sottoposti sono molto piccoli ma non trascurabili (38 milionesimi di sec. al giorno)

I satelliti sono dotati di diversi dispositivi:

- 3-4 orologi di bordo (oscillatori) di elevatissima stabilità 10^{-12} 10^{-14} sec/sec
- antenne per la ricezione dei segnali provenienti dal segmento di controllo
- antenne per la trasmissione dei segnali al segmento di utenza
- pannelli solari per l'alimentazione (circa 6 mq) e retrorazzi per piccole manovre correttive di orbita
- hanno un peso di circa 800 kg, una vita media da 7.5 anni a 15 anni (gli ultimi) ed una velocità di circa 4 km/sec

- **Blocco I: sperimentali e lanciati dal 1978 ad oggi (non più operativi)**
- **Blocco II: SVN 13-21: lanciati dal 1989 al 1990 (non più operativi)**
- **Blocco IIA: SVN 22-40, dal 1990 al 1997 (non più operativi)**
- **Blocco IIR-IIR-M: SVN 41-61 dal 1997 al 2009 (19 operativi)**
- **Blocco IIF; SVN 62-... dal 2010 ad oggi (attualmente 12 satelliti di questo blocco), con una terza frequenza civile L5**
- **in fase di progetto/realizzazione il Blocco III con una quarta frequenza civile e riflettori laser (lancio dal 2017)**

Si veda: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

2 - SEGMENTO DI CONTROLLO



È costituito da cinque stazioni lungo l'equatore equ-spaziate in longitudine + ulteriori 6 stazioni a partire dal 2005.

- controllano che l'**orbita** percorsa dal satellite sia quella prevista
- verificano il corretto funzionamento dell'**orologio** di bordo
- inviano ai satelliti **informazioni** riguardanti la loro orbita e le condizioni meteorologiche, che questi inviano poi a loro volta agli utenti a terra.

3 – SEGMENTO UTENTI



I possibili impieghi:

- **Militare**
- **Navigazione**
- **Topografico**
- **Geodetico**



Equipaggiamento base GNSS per la topografia

antenna per ricevere il segnale inviato dai satelliti

ricevitore per decodificare il segnale e memorizzare i dati (antenna e ricevitore spesso sono integrati)

palmare per il controllo dello strumento e memorizzare i dati con apposito software per il controllo del rilievo

+

Software per lo scaricamento, visualizzazione, elaborazione delle misure



L'antenna GNSS nelle applicazioni topografiche geodetiche

Contiene **circuiti elettronici**, necessari a ricevere e filtrare i segnali provenienti dai satelliti. L'eventuale piatto metallico (ground plane) permette di evitare i "**multi-path**" (segnali riflessi dal suolo e/o da ostacoli).



Antenna con ground plane
e choke ring



Il ricevitore GNSS

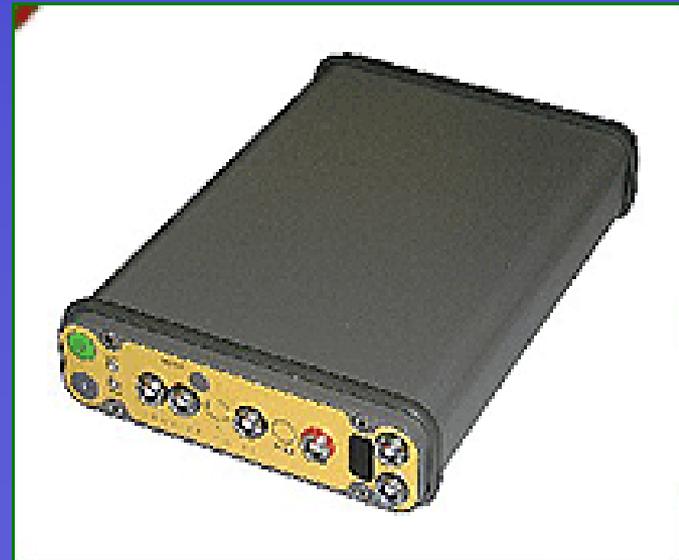
Il ricevitore replica al proprio interno i segnali satellitari

Il segnale ricevuto dall'antenna viene **decodificato e memorizzato**.

Il segnale ricevuto è crittografato, i sistemi di decodifica del segnale sono brevettati.

Nel ricevitore si trova un orologio al quarzo di stabilità pari a 10^{-6} - 10^{-7} sec/sec.

I ricevitori possono essere solo L1 (navigazionali ed apparati a basso costo) e L1+L2 (a doppia frequenza, ricevitori geodetici più costosi)



IL SEGNALE GPS

Gli orologi (oscillatori) a bordo dei satelliti producono un segnale con frequenza fondamentale $f_0 = 10.23$ MHz

a partire da f_0 vengono generate due sinusoidi o portanti dette

frequenza L1=1575.42 MHz (= $154 f_0$) $\lambda_1 = 19.03$ cm circa

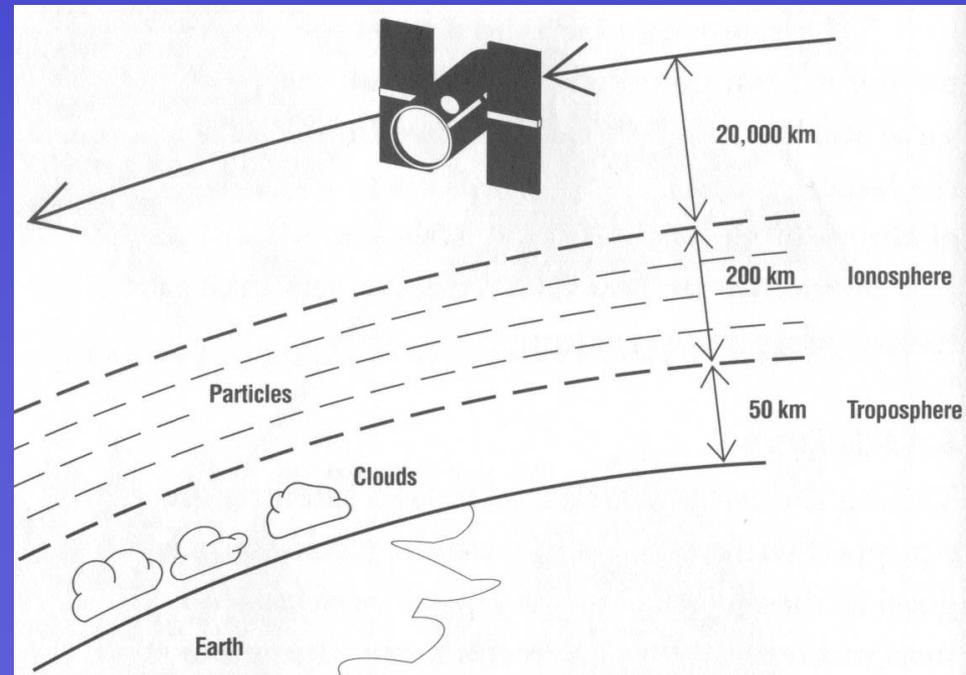
frequenza L2=1227.60 MHz (= $120 f_0$) $\lambda_2 = 24.42$ cm circa

(in futuro verrà introdotta una nuova frequenza civile: la L5 di 1176.45 MHz, attualmente trasmessa da 12 satelliti del nuovo blocco IIF)

Due frequenze soprattutto per ridurre gli effetti della ionosfera (la parte alta dell'atmosfera oltre i 50 - 60 km di quota) sul segnale.

Sempre da f_0 sono generati anche dei codici binari:

- C/A (Corse Acquisition);
- P (Precision);
- D messaggio di navigazione

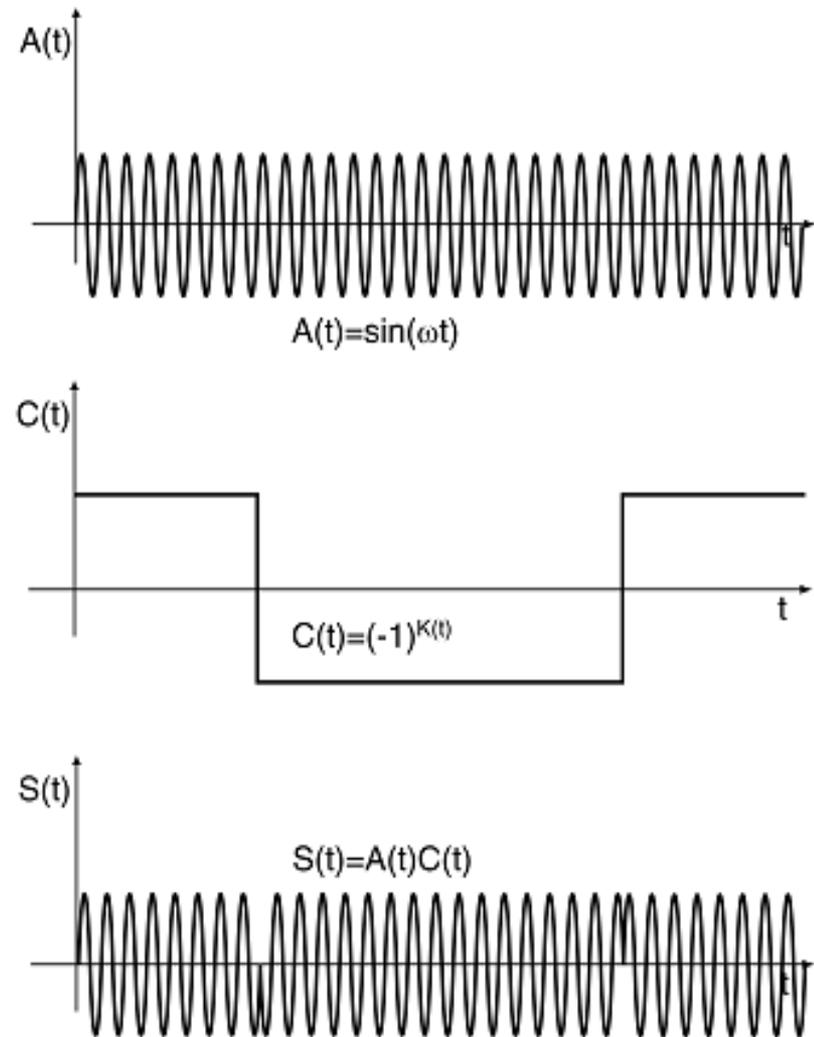


Combinazione di segnali: modulazione della portante con un codice binario

La portante è un fenomeno oscillatorio puro,
il codice è una sequenza di impulsi +1 e -1;

il segnale ottenuto dalla loro combinazione
riproduce la portante, però,
in corrispondenza di una transizione di stato
del codice si verifica un salto di 180° nella
fase del segnale prodotto.

Nota: nel disegno non sono rispettate le scale
di frequenza fra portante e codice binario



I CODICI: il codice C/A, codice P (Y) e messaggio D

Le due frequenze vengono modulate con due codici (diversi per ogni SV):

C/A (Code Acquisition = acquisizione grezza) il codice si ripete identico ogni millesimo di secondo; frequenza di 1.023 MHz; (C/A inizialmente solo sulla L1, ma a partire dai satelliti dei blocchi IIR-M e IIF anche sulla L2);

Con il codice C/A la misura delle coordinate con un singolo ricevitore ed in tempo reale è affetta da un **incertezza** di alcuni metri (**max 10 metri**).

P (Precision) il codice si ripete ogni **267 giorni**; **frequenza di 10.23 MHz** (dal 1994 è criptato in codice Y in teoria ad uso esclusivo dei militari ma i ricevitori geodetici di fascia alta riescono ad utilizzare anche il codice P criptato)

Con il codice P ci si può spingere ad accuratezze teoriche dell'ordine della decina di cm in tempo reale ed anche con un singolo ricevitore

Il codice o messaggio D ha una frequenza di 50 Hz e serve per inviare le informazioni che consentono il calcolo delle effemeridi del satellite, gli eventuali offset degli orologi ed informazioni meteo. Il messaggio si compone di 25 blocchi di 30 sec ciascuno per una durata complessiva di 12.5 minuti (contiene anche le coordinate approssimate di tutti i satelliti).

Osservabili GPS

Dal segnale GPS proveniente dai satelliti è possibile ricavare le seguenti osservabili/informazioni:

- **misura di pseudo-range (C/A o P)** tramite correlazione tra codici ricevuti e codici replicati dallo strumento: misura della distanza fra satellite e centro di fase dell'antenna:

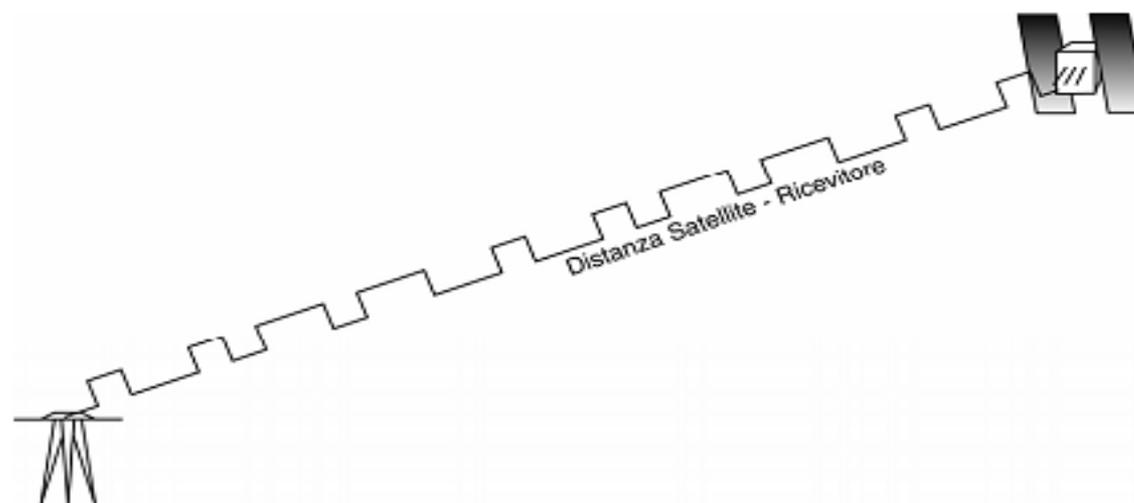
- **misura di fase** (su L1 e/o L2) tramite misura dello sfasamento (differenza di fase) fra il segnale trasmesso dai satelliti ed una sua replica generata dal ricevitore;

+

- parametri orbitali che consentono il calcolo della posizioni dei satelliti al variare del tempo: **effemeridi trasmesse**

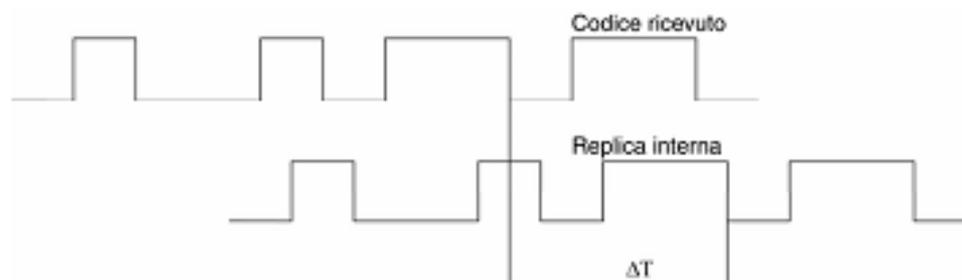
- informazioni meteo: dati molto approssimati sui valori di pressione, temperatura e umidità a livello globale.

Osservazione di pseudorange (pseudo distanza)



Il ricevitore, dopo aver identificato il satellite (mediante il codice C/A), effettua una correlazione fra codice generato dall'oscillatore interno e codice ricevuto dal satellite: l'osservazione e le relative equazioni possono essere sviluppate indifferentemente su C/A o su P(Y).

In modo elettronico, viene misurato il ritardo del segnale ricevuto rispetto a quello generato internamente;

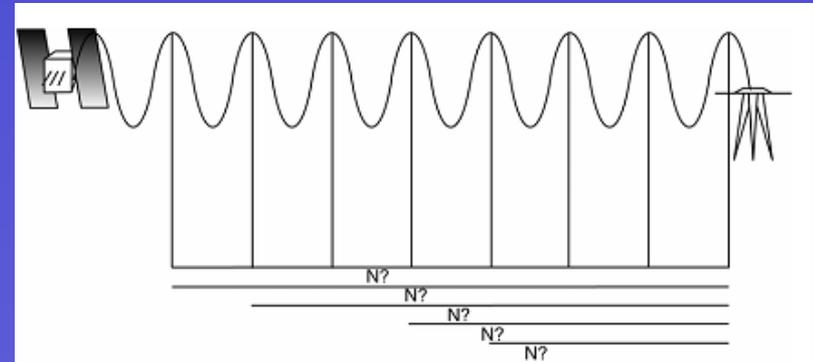
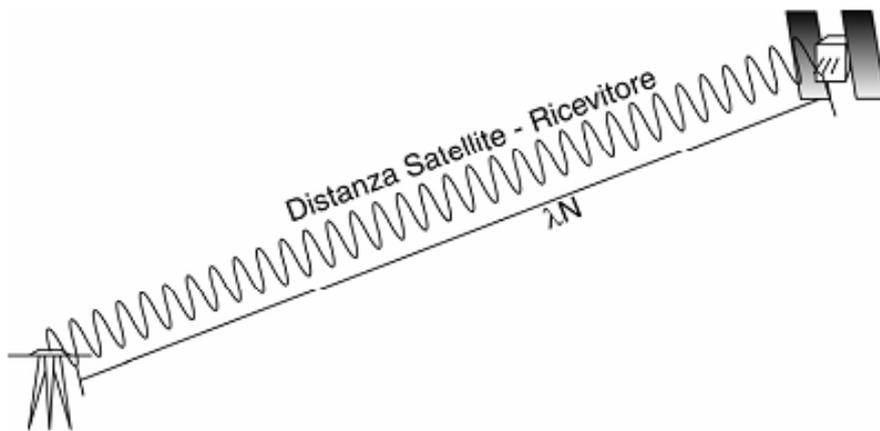
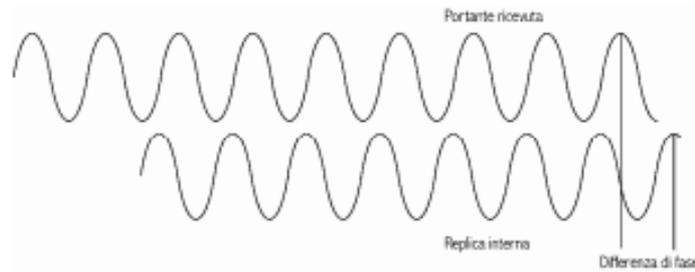


Osservazione di fase

Concetti base

L'osservazione di PR è una misura di differenza di stato fra codice binario ricevuto dal satellite e un uguale codice generato internamente al ricevitore;

analogamente può essere effettuata un'osservazione di differenza di fase in cicli fra portante ricevuta dal satellite (ad es. L1) e una sinusoide di uguale frequenza f generata da un oscillatore interno al ricevitore.

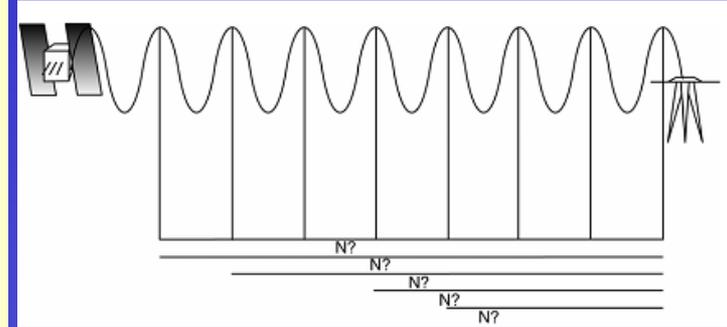
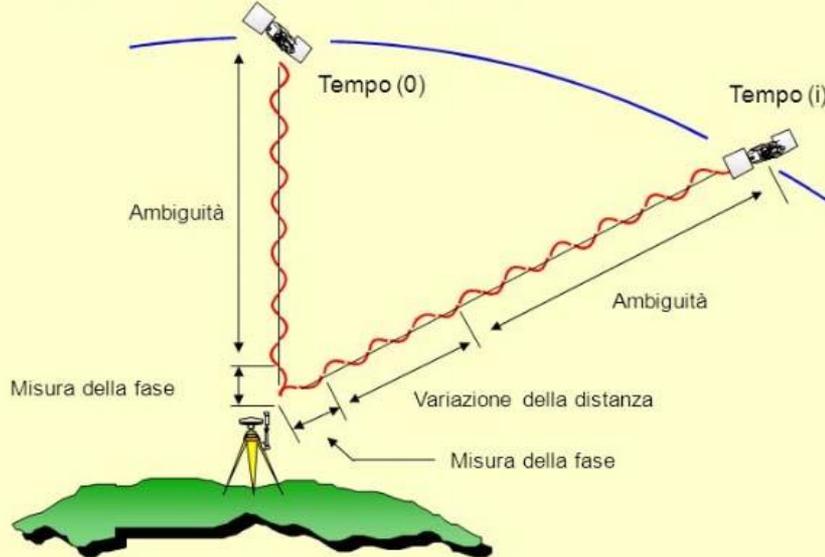


L'ambiguità iniziale di fase "N" si determina in modalità relativa

MISURE DI FASE o di DIFFERENZA DI FASE

Ambiguità iniziale della fase

- Per ottenere buoni risultati l'ambiguità iniziale della fase deve essere determinata con certezza



Come si trova l'ambiguità N?

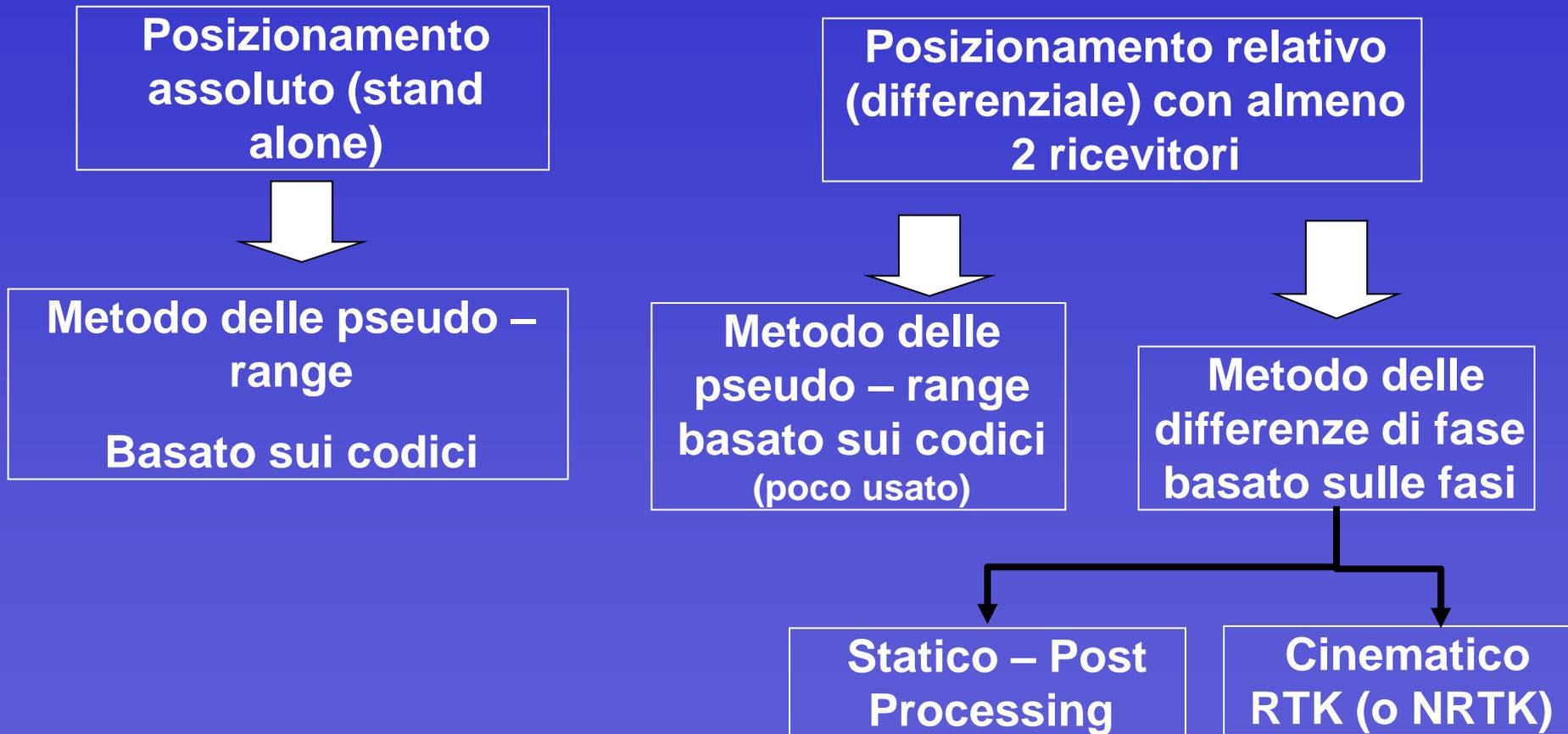
L'ambiguità iniziale di fase "N" si determina in modalità **RELATIVA** con almeno 2 ricevitori che ricevono gli stessi satelliti (in post post-processing od in tempo reale RTK)

Questo permette di **FISSARE (FIX)** le ambiguità ottenendo la **Soluzione FIX**  **Massima precisione** (altre soluzioni meno precise sono la **FLOAT**, e la **STD: Stand-alone**)

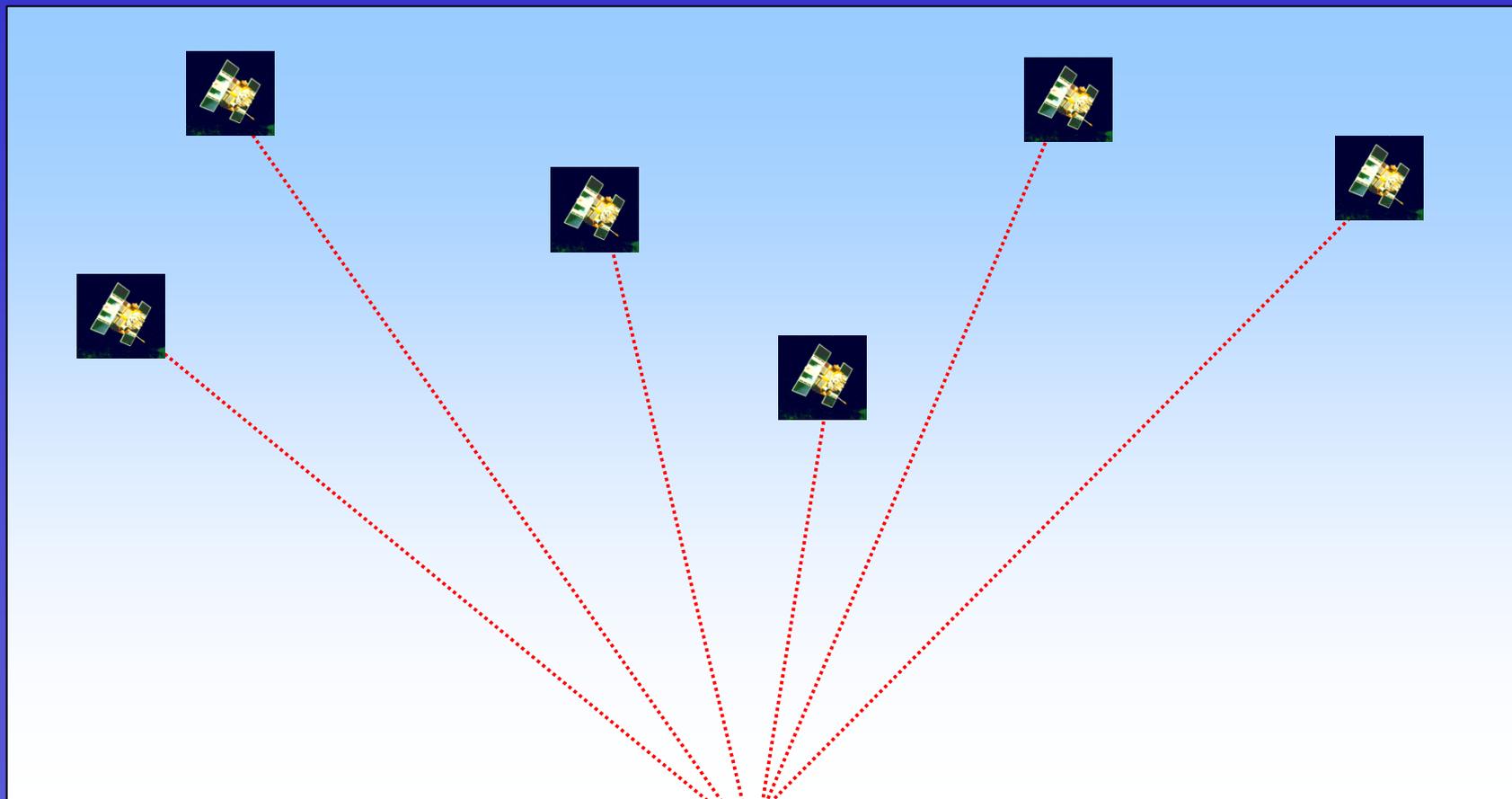
Modalità di Posizionamento e di Rilievo

POSIZIONAMENTO

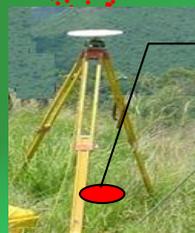
Per determinare la posizione di un punto della superficie fisica della terra con il GPS si possono utilizzare **due metodi generali**.



POSIZIONAMENTO ASSOLUTO

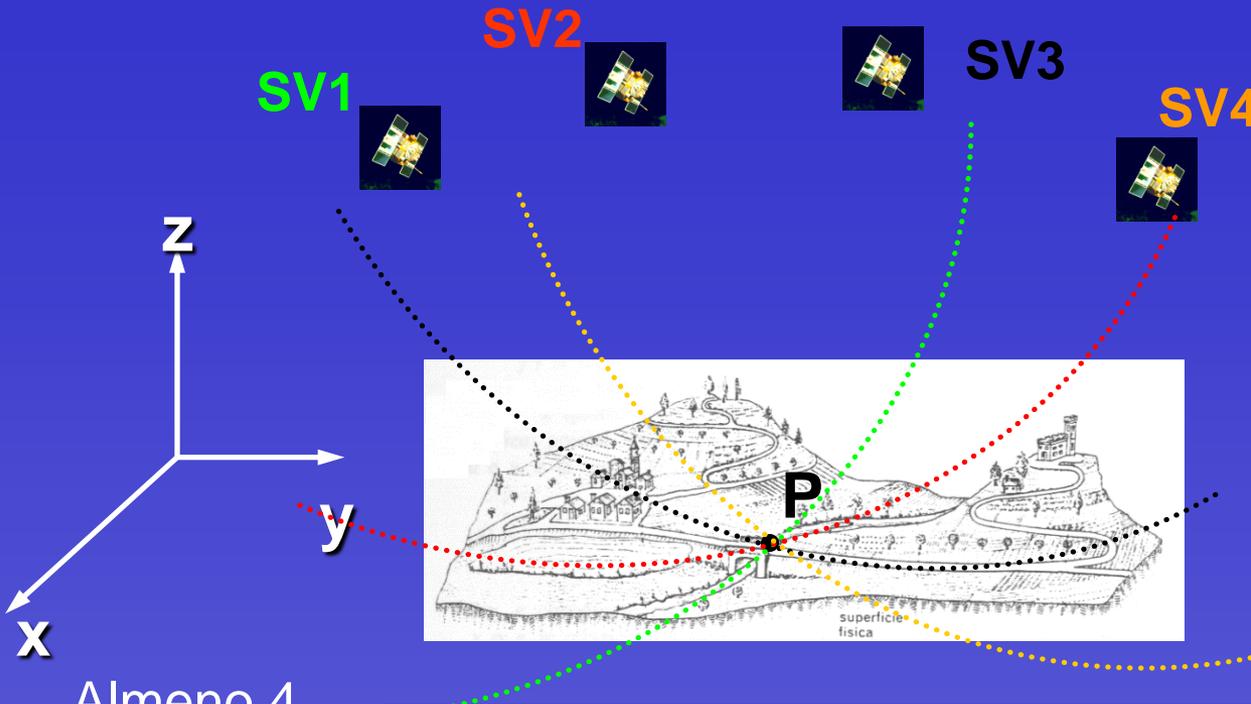


Fondamentalmente con
misure di pseudo-range



X,y,z
precisione qualche metro

POSIZIONAMENTO ASSOLUTO CON LE PSEUDO - RANGE



Noti:

- 1) posizione di almeno 4 satelliti
- 2) distanza satelliti – P (pseudo-range)

è possibile calcolare le coordinate (x,y,z) di P (trascuro effetti atmosferici)

Almeno 4 equazioni allo pseudo-range nelle 4 incognite X,Y,Z, ΔT

$$SV1-P = \sqrt{(X_{sv1} - X_P)^2 + (Y_{sv1} - Y_P)^2 + (Z_{sv1} - Z_P)^2} + (c * \Delta T)$$



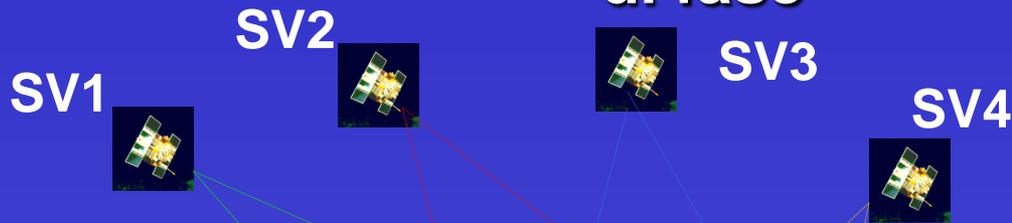
X_P Y_P Z_P

con alcuni metri di precisione

C = vel. luce
 ΔT = sfasamento temporale orologi
SV - ricevitore

Tempi di stazionamento da 1 sec a pochi minuti

Posizionamento RELATIVO, tipicamente con le differenze di fase



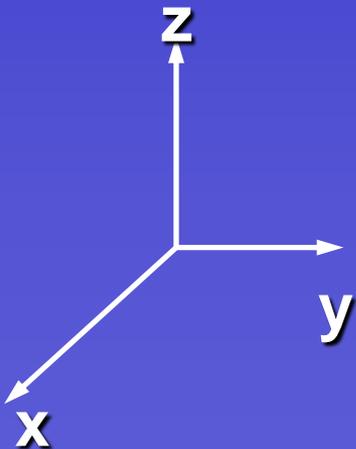
Noti:

- 1) posizione dei satelliti
- 2) le fasi del segnale dei satelliti e della replica nel ricevitore in P
- 3) le fasi del segnale dei satelliti e della replica nel ricevitore in Q

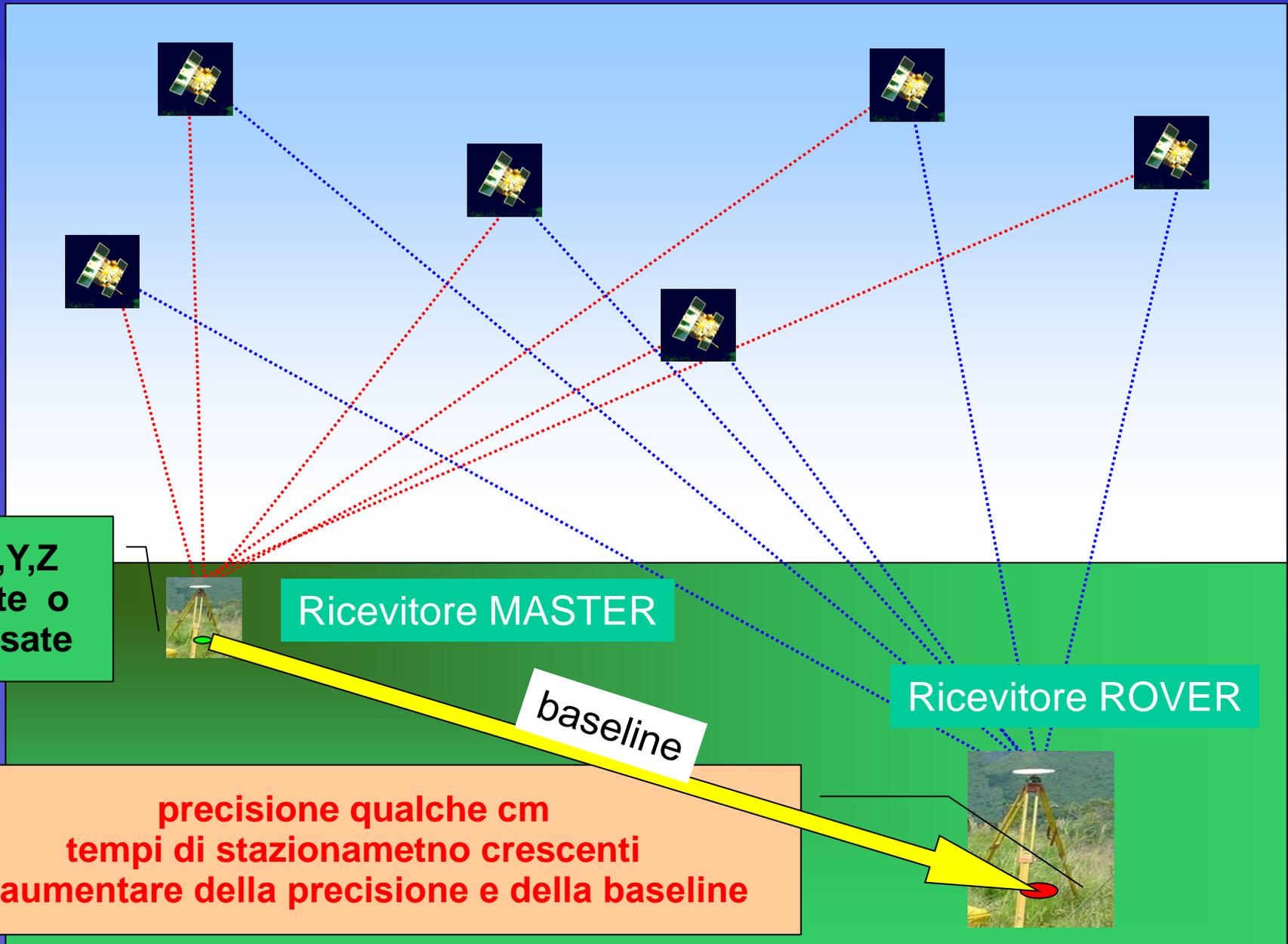
è possibile calcolare le componenti del vettore PQ:

$$\Delta X_{PQ} \Delta Y_{PQ} \Delta Z_{PQ}$$

quindi la posizione di P rispetto a Q



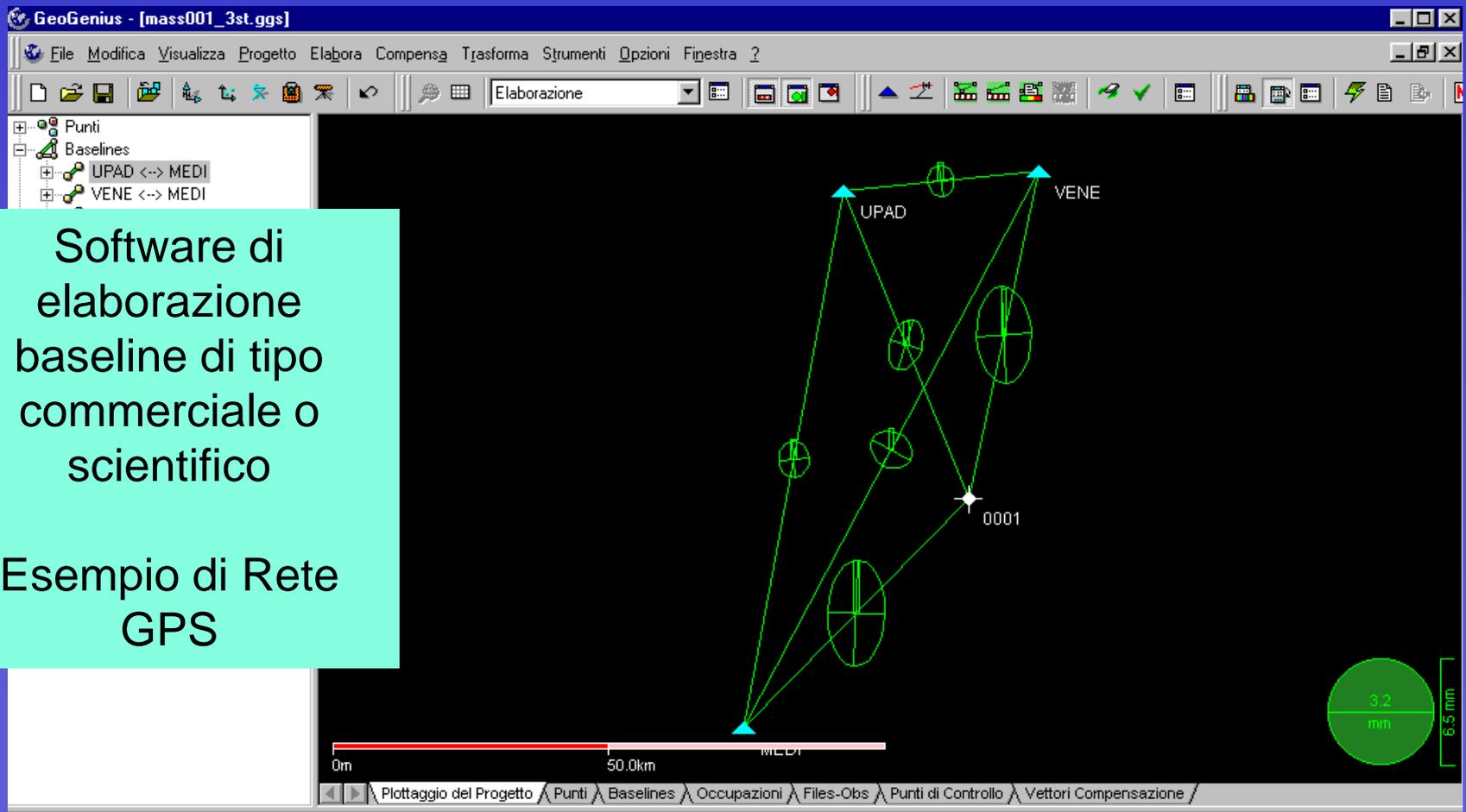
POSIZIONAMENTO RELATIVO: in post-processing



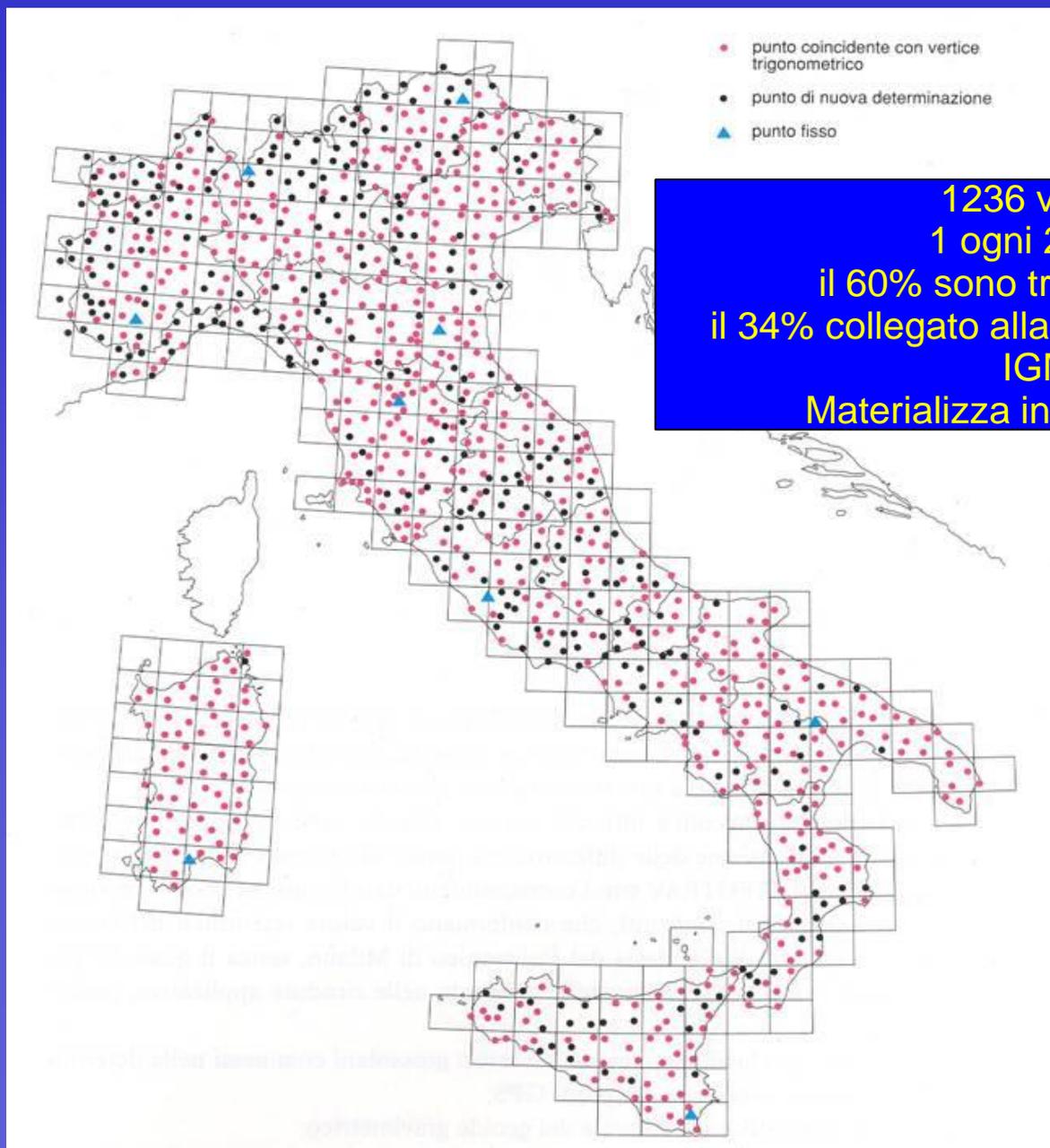
ELABORAZIONE DEI DATI CON POST-PROCESSAMENTO

Con appositi programmi di calcolo, le informazioni ricevute vengono elaborate determinando la posizione dei punti rilevati

cartesiane x,y,z o geografiche ϕ,ω,h successivamente trasformate in cartografiche attraverso algoritmi di proiezione



Vertici GPS di coordinate note: Rete IGM95



Consultazione dei punti geodetici nel sito IGM



Punti Geodetici

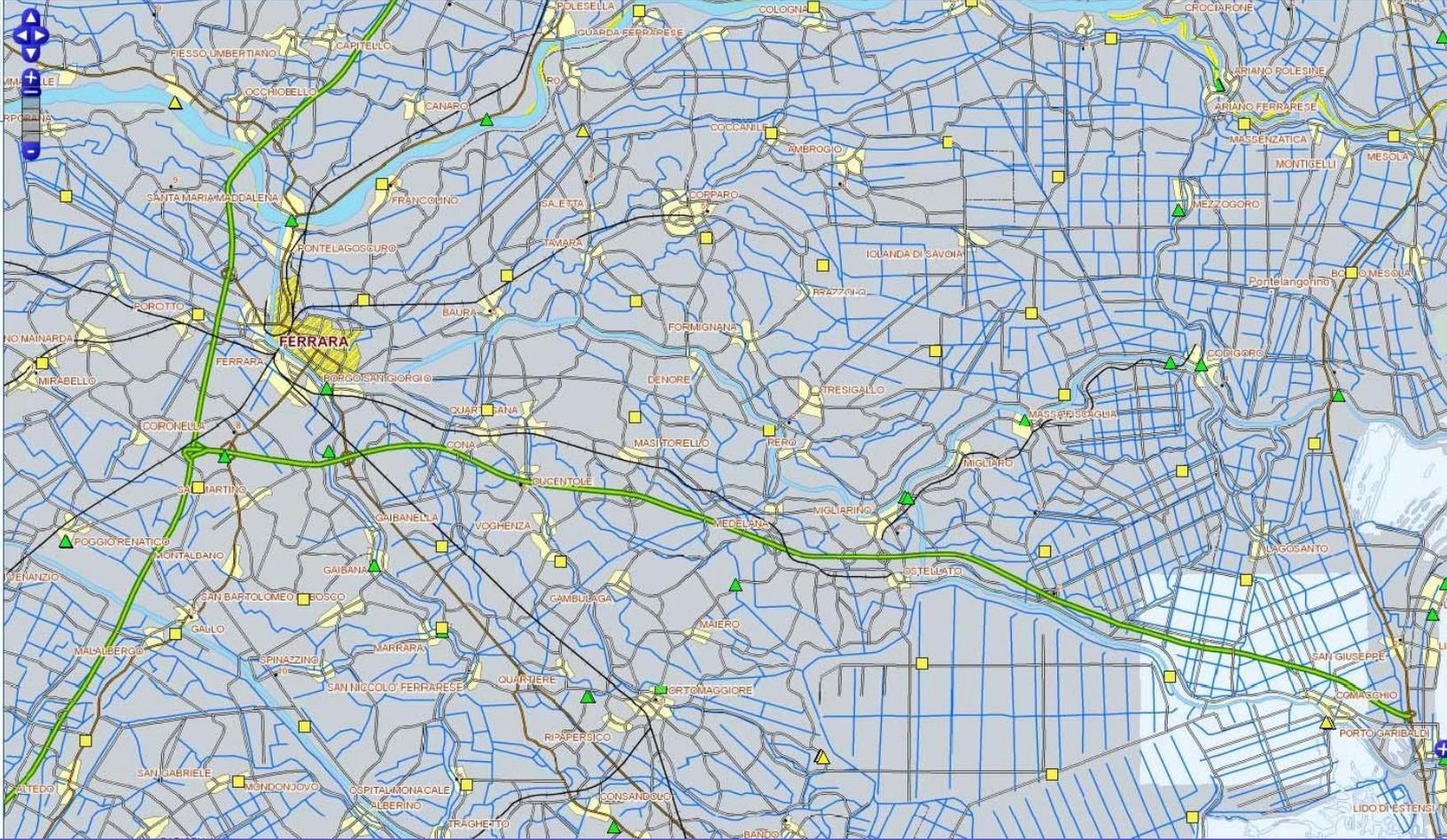
Sistema di Rif. Globale: Latitudine Longitudine

Limiti amm.: Regione: Provincia: Comune:

Elem. cartografico: Cartografia: Foglio:

Codice punto: Numero: (solo IGM95)

- Trigonometrici
- Capialsaldi (misurati dopo il 1996)
- Capialsaldi
- IGM95
- IGM95 quotato da liv.
- IGM95 raffittimento
- IGM95 raffittimento quot. da liv.



Monografia di un vertice GPS dal sito IGM

Browser window showing the URL: <http://37.207.194.154/ware/schedaigm95.php?id=4539>. The page title is "Scheda Monografica Vertice IGM95".

Ultimo aggiornamento db: 02/12/2014, scheda generata il 14/09/2015

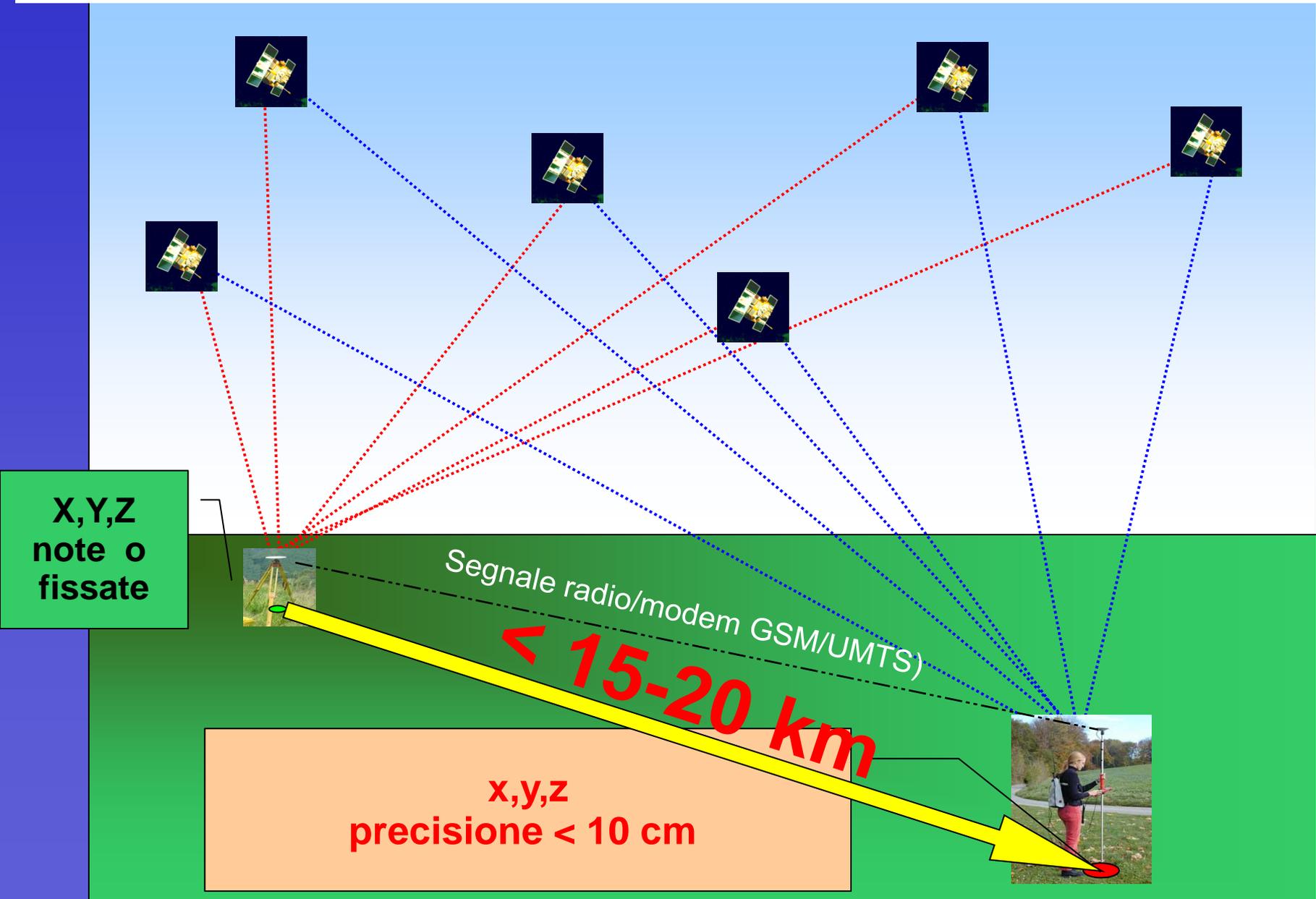
[Versione PDF](#)

076704 Ferrara - Piazza San Giorgio (Scala d'accesso al fiume)

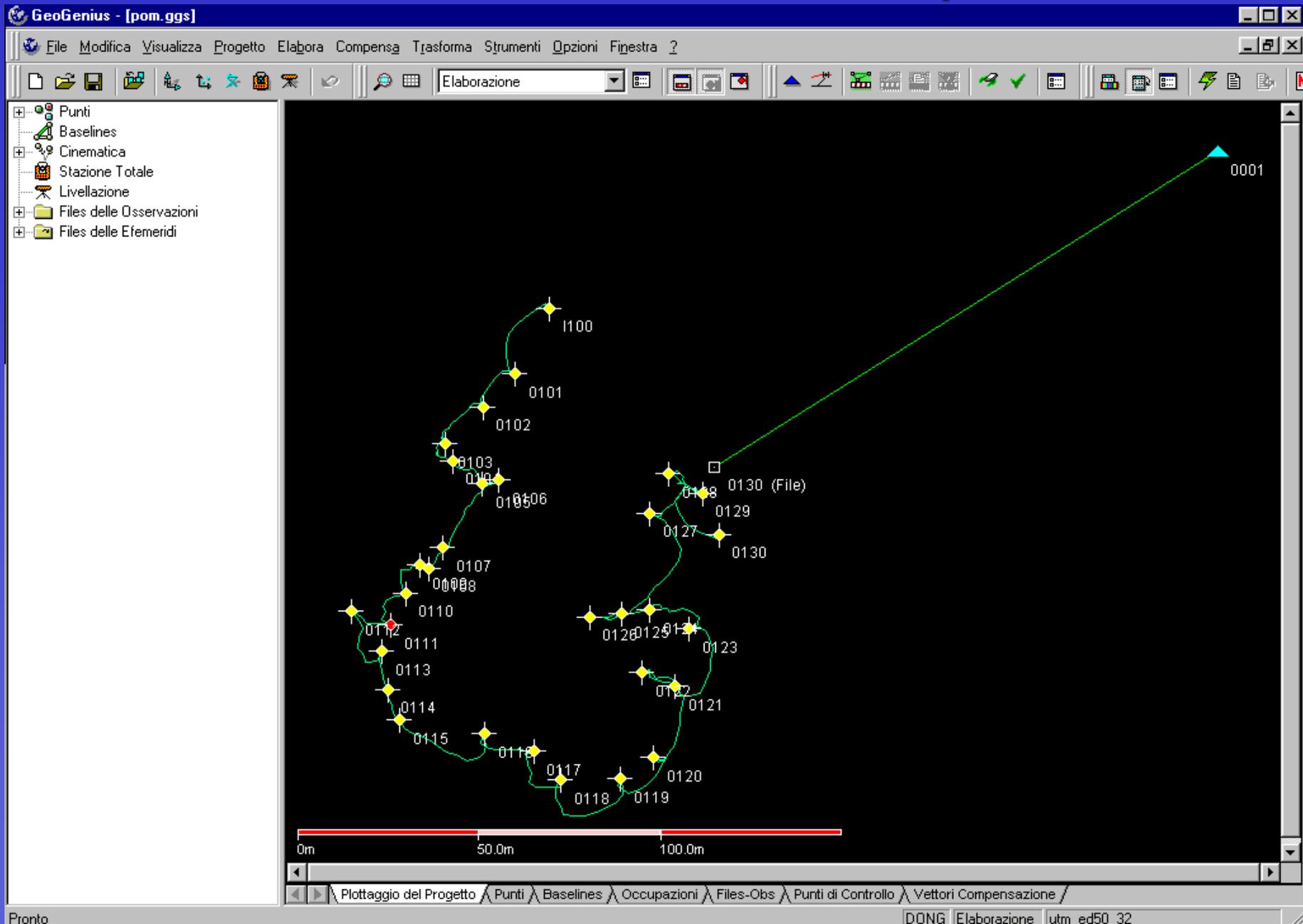
Cartografia:	Serie 25: 185 sez II Ferrara, Serie 25V: 076 IIINE Ferrara Sud																														
Localizzazione:	Nazione: Italia Regione: Emilia-Romagna Provincia: Ferrara Comune: Ferrara Carabinieri: Ferrara																														
Coordinate:	<i>Attenzione: Le coordinate geografiche sono in gradi sessagesimali approssimate al secondo. Le coordinate piane e le quote sono espresse in metri con cifre significative fino al decimetro.</i> <table><thead><tr><th colspan="2">ROMA40</th><th colspan="2">ETRF2000</th><th colspan="2">Quote</th></tr></thead><tbody><tr><td>φ:</td><td>44° 49' 21"</td><td>φ:</td><td>44° 49' 23"</td><td>s.l.m.:</td><td>0</td></tr><tr><td>λ:</td><td>-00° 49' 26"</td><td>λ:</td><td>11° 37' 42"</td><td>ellissoidica:</td><td>50</td></tr><tr><td>F.O.</td><td>N: 4966690 E: 1707810</td><td>F. 32</td><td>N: 4966660 E: 707790</td><td></td><td></td></tr><tr><td>F.E.</td><td>N: E:</td><td>F. 33</td><td>N: E:</td><td></td><td></td></tr></tbody></table> <p>Coordinate determinate nell'anno 2006</p>	ROMA40		ETRF2000		Quote		φ :	44° 49' 21"	φ :	44° 49' 23"	s.l.m.:	0	λ :	-00° 49' 26"	λ :	11° 37' 42"	ellissoidica:	50	F.O.	N: 4966690 E: 1707810	F. 32	N: 4966660 E: 707790			F.E.	N: E:	F. 33	N: E:		
ROMA40		ETRF2000		Quote																											
φ :	44° 49' 21"	φ :	44° 49' 23"	s.l.m.:	0																										
λ :	-00° 49' 26"	λ :	11° 37' 42"	ellissoidica:	50																										
F.O.	N: 4966690 E: 1707810	F. 32	N: 4966660 E: 707790																												
F.E.	N: E:	F. 33	N: E:																												
Materializzazione:	Centrino in acciaio inox del tipo "GPS C" posto sul primo scalino della scala che permette l'accesso al fiume, prima del ponte, sulla sinistra in direzione del centro di Ferrara.																														
Accesso:	Piazza San Giorgio, alla sinistra della statua, prima di attraversare il ponte in direzione del centro di Ferrara, proveniendo da sud sulla S.S. 16.																														
Informazioni ausiliare:																															
Categoria del punto:	Punto di integrazione (geotrav, etc.)																														
Quota s.l.m.:	Con quota derivata da caposaldo di livellazione (Rete Fond.)																														
Produttore:	IGM																														
Segnalizzato:	il 18/09/2006																														
Ultima ricognizione:	il 04/10/2007																														
Collegamenti:	R 0018# ### 026S Centrino in acciaio inox "GPS C" DH = 0,000																														
Immagini:																															

Windows taskbar showing the system tray with the date and time: 19:01 14/09/2015.

Posizionamento relativo in tempo reale, RTK (Real Time Kinematic): le osservabili dal ricevitore fisso vengono inviate via radio o modem GSM/UMTS al rover che calcola in tempo reale le correzioni differenziali



IL RILIEVO GPS CINEMATICO o Stop and Go



Componenti del sistema RTK

GPS Antenna

Controller

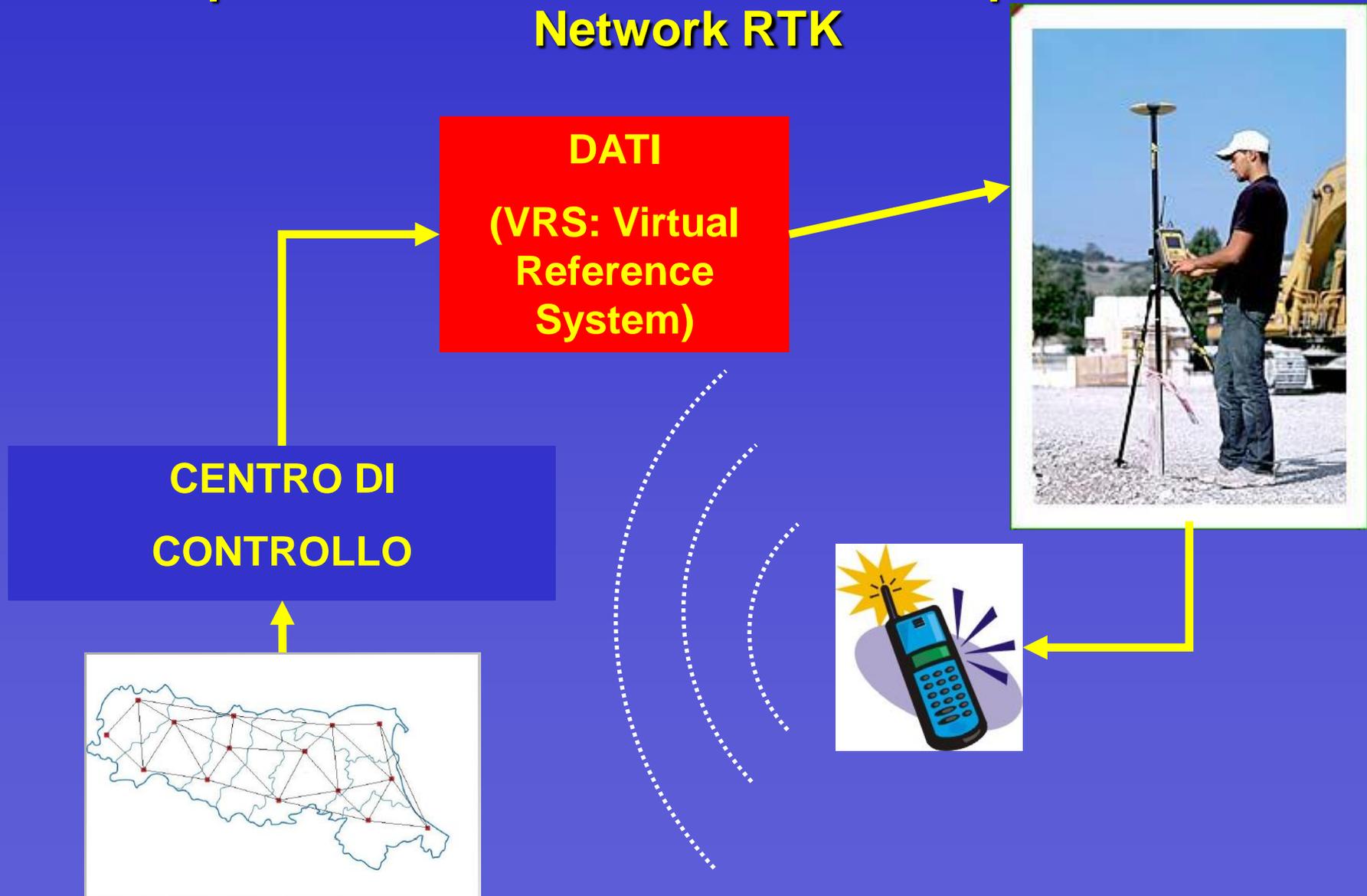
Ricevitore

Tutti i componenti
devono essere
presenti per
entrambe le stazioni
(base e mobile)

GSM/GPRS
Modem o
Radio Modem
+
Antenna

E' necessario disporre di due ricevitori geodetici uno da posizionare sul punto di coordinate note o di riferimento (MASTER) l'altro da utilizzare per il rilievo di dettaglio (ROVER)

RTK con un unico ricevitore e collegandosi via GSM/UMTS ad una rete di stazioni permanenti con invio in tempo reale dei dati di correzione: si parla di NRTK Network RTK





Fondazione Geometri e Geometri Laureati dell'Emilia Romagna



HOME PAGE



Servizio di posizionamento GNSS

Monografie

- Bobbio
- Borgo Val di Taro
- Castelnuovo
- Civitella Romagna
- Codigoro
- Collecchio
- Ferrara
- Guastalla
- Imola
- Piacenza
- Ravenna
- Monografia
- Reggio Emilia
- Rimini
- S.Giovanni P.
- Vergato



Rinex 30 Sec



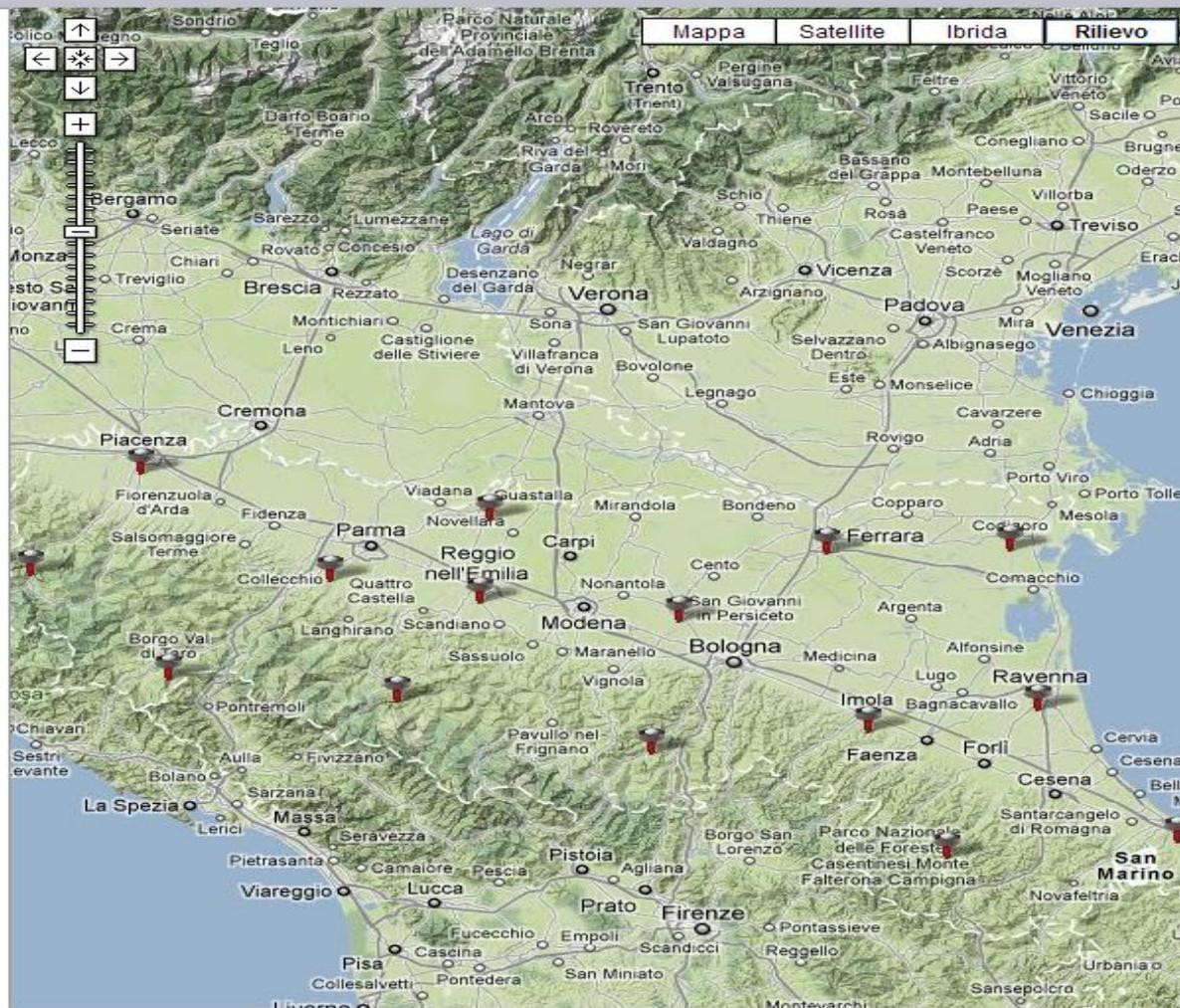
Rinex Rinex Virtuale



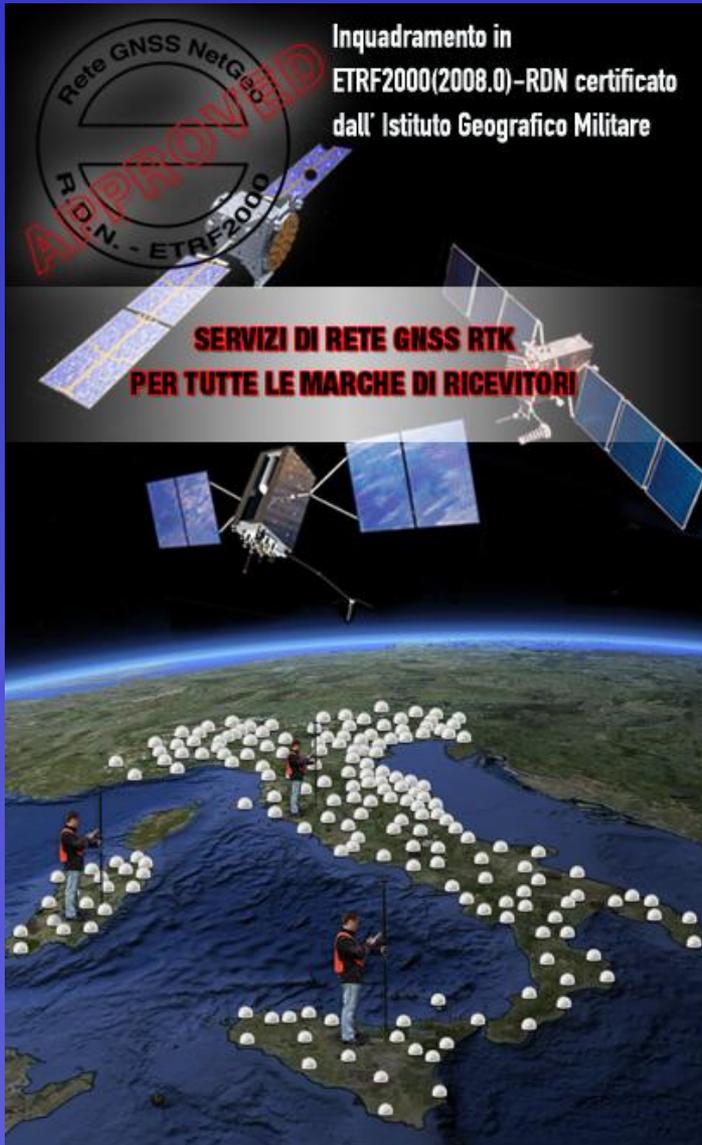
Sistema di Riferimento



Accesso al servizio



ESEMPIO DI RETI DI STAZIONI PERMANENTI E SERVIZI NRTK: NETGEO DELLA TOPCON; SMARTNET-ITALPOS DELLA LEICA



<http://www.netgeo.it/>



<http://it.smartnet-eu.com/>

PROBLEMI SE NON SI RICEVONO I
DATI UMTS

in tal caso e' possibile registrare le
misure per un post-processing
scaricando anche le misure dalle
Stazioni Permanenti (formati RINEX)
I tempi di rilievo si allungano
E' necessario avere un software di post
- elaborazione