

UNIVERSITA' DI BOLOGNA



Dipartimento di Fisica – Settore di Geofisica

Approfondimento tecnico

**IL GPS COME MODERNA TECNOLOGIA NEL  
CONTROLLO DEI MOVIMENTI CROSTALI.  
ASPETTI TECNICI PER UN UTILIZZO OTTIMALE**

Massimo Bacchetti (gruppo STAR)

**LUGLIO 2009**

## INDICE

pag. 3	Introduzione
pag. 4	1 - IL SISTEMA GPS
	1a - I satelliti
pag. 5	1b - I punti di controllo
	1c - Il segnale GPS
pag. 6	2 - UTILIZZO DEL SISTEMA GPS
pag. 7	3 - ASPETTI TECNICI DEL SISTEMA GPS
	3a - Caratteristiche e criteri di scelta dei siti
pag. 11	3b - I capisaldi
pag. 16	3c - Tecniche di costruzione e di materializzazione dei punti geodetici
pag. 20	Conclusioni e bibliografia

## **Introduzione**

Negli ultimi anni, il GPS è diventato uno degli oggetti elettronici più di moda, diffusissimo tra appassionati di gadget tecnologici, tra utilizzatori più o meno interessati all'aspetto scientifico, tra gli optional delle moderne vetture (di una certa fascia), oltre all'utilizzo praticamente totale che se ne fa in ambito marino.

Il GPS, quindi, trova oramai spazio nel nostro quotidiano come un normale elettrodomestico, pur avendo caratteristiche che lo pongono ad un livello superiore rispetto alle macchine che utilizziamo giornalmente.

In questa relazione, tuttavia, si vuole porre l'attenzione su un aspetto del GPS che molti degli utenti di cui sopra probabilmente non sanno, cioè che è oramai parecchio tempo (fin dagli anni '90), che si utilizza questo strumento in ambito scientifico per il monitoraggio del territorio, per verificare cioè deformazioni, spostamenti, movimenti lenti o veloci a cui la crosta terrestre è soggetta in continuazione.

Tutto ciò riguarda la **Geofisica**, la **Geologia**, la **Fisica della Terra**, quindi un nutrito gruppo di studiosi che elaborano le loro pubblicazioni sulla base dei dati che i GPS forniscono loro.

Traspare, quindi, come in ambito scientifico sia assolutamente importante la **precisione dell'acquisizione dei dati GPS**, che sottintende, oltre alla purezza dei dati raccolti, anche una installazione di tutto l'apparato strumentale esente il più possibile da imperfezioni ed errori di base.

**In altre parole, sono molto importanti gli aspetti puramente tecnici delle installazioni GPS.**

Da questo punto di vista, si sono fatti passi avanti.

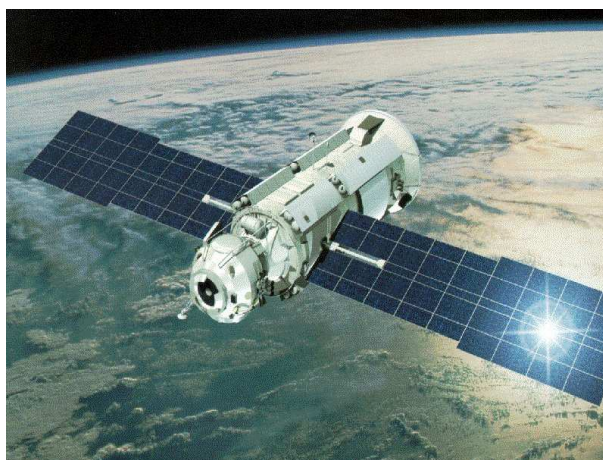
## **1 - II SISTEMA GPS**

### **1a - I satelliti**

IL GPS, abbreviazione di "Global Positioning System ", (Sistema di Posizionamento Globale) è un sistema implementato dagli Americani, inizialmente per scopi puramente militari, **che consente in ogni istante ed in ogni luogo del nostro pianeta, il posizionamento tridimensionale di oggetti, siano essi fissi o in movimento.**

E' basato sulla ricezione di segnali radio emessi da una trentina di **satelliti artificiali** (foto 1), che rappresentano il **primo segmento** del sistema GPS, in orbita attorno alla Terra ad una altezza di circa 20.200 km, con una costellazione tale per cui in qualunque momento della giornata, da qualsiasi punto sulla Terra e a partire da un'elevazione di 15° sull'orizzonte, un qualsiasi **ricevitore GPS** sulla Terra riesce a ricevere una serie di dati da almeno 4-6 satelliti contemporaneamente (anche fino a 12).

Siccome in questo sistema è importantissima la precisione temporale, i satelliti sono tutti dotati di orologi atomici (al Cesio e Rubidio), estremamente precisi.



*Foto 1 – Un satellite artificiale*

I satelliti, dunque, effettuano le seguenti operazioni:

- Trasmettono segnali radio complessi ai ricevitori GPS
- Mantengono riferimenti di tempo molto accurato in virtù dei loro orologi di bordo
- Correggono le orbite ed eseguono manovre
- Ricevono e memorizzano informazioni dai punti di controllo sulla Terra

### **1b - I punti di controllo**

Sono delle vere e proprie centrali operative che fanno parte del sistema GPS, anzi, ne rappresentano il **secondo segmento**, dopo la costellazione satellitare.

Attualmente sono cinque e sono tutte uniformemente distribuite all'incirca lungo l'equatore, in modo da potersi connettere con i satelliti in orbita. Sono tutte collegate via radio tra di loro.

I loro compiti sono:

- seguire costantemente i satelliti per potere sapere sempre la loro posizione nello spazio
- controllare gli orologi dei satelliti
- imporre correzioni di orbita
- comunicare nuovi dati

### **1c - Il segnale GPS**

Esso viene registrato dagli **utenti dotati di “ricevitori GPS con antenna”**, che rappresentano il **terzo segmento**, ultimo di tutto il sistema, i quali si posizionano sui punti di cui hanno interesse sapere, con grande precisione, la loro posizione nello spazio.

**Il funzionamento del sistema, si basa sulla misura del tempo di percorrenza del segnale che, trasmesso dal satellite, giunge all'antenna del ricevitore a terra**, il quale ha anch'esso un orologio interno molto preciso (non come quello dei satelliti, in quanto è un comune orologio elettronico al quarzo).

Ecco perché, in questo sistema, sono così importanti gli orologi.

Poi, con altri calcoli matematici, si potrà stabilire la distanza effettiva dal satellite al ricevitore, ed il gioco è fatto.

## **2 - UTILIZZO DEL SISTEMA GPS**

Noi sappiamo che la Terra gira su se stessa e ruota intorno al sole, e siamo abituati a pensare che i suoi movimenti si fermano qui, e che il territorio su cui camminiamo rimane immobile così come tutto ciò che vi è costruito sopra: case, strade, manufatti che vanno dai tralicci dell'alta tensione agli stadi da calcio.

Poi rimaniamo costernati, ammutoliti ed impauriti quando accade un **terremoto**, durante il quale si liberano energie talmente enormi da non riuscire nemmeno ad immaginarle, energie che riescono a distruggere case e palazzi, a fare crollare strade sopraelevate, ad aprire fessure nel terreno.

Tutto ciò succede perché il nostro è un pianeta geologicamente vivo, per cui si muove, eccome si muove.

La crosta terrestre, per esempio, sulla quale viviamo e sulla quale sono contenuti gli oceani, è appoggiata su diverse grandi, grandissime "placche" che galleggiano su di un materiale fluido ma denso presente a grandi profondità. E quindi si muovono, piano, ma si muovono, facendo muovere tutto quello che c'è sopra. Stiamo parlando della famosa **deriva dei continenti**.

Le grandi placche, tra di loro, si incontrano, si scontrano, si allontanano e, in superficie, provocano fratture più o meno profonde, chiamate **faglie**, le quali a loro volta si incontrano, si scontrano, si allontanano. Quando però accade che per una serie di ragioni il lento movimento delle faglie si trasforma in uno scatto repentino, allora succede il caos: **il terremoto!**

Ma esistono anche altre cause che determinano movimenti dei terreni che, per esempio, sprofondano a causa dello sfruttamento delle risorse naturali utili al nostro benessere ultra tecnologico, bisognoso di petrolio e di gas di varia natura, che, una volta estratti dalle profondità, lasciano pericolosi vuoti soggetti a depressioni regionali o locali.

Questi movimenti li possiamo misurare e possiamo anche capire il grado di pericolosità che una certa situazione può potenzialmente creare.

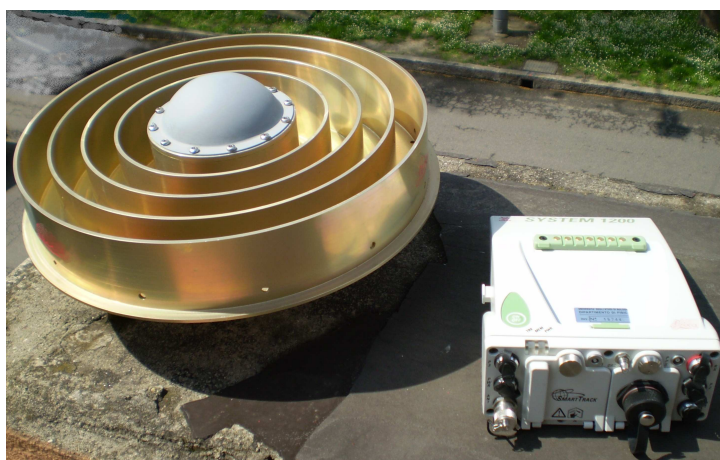
### **Con il GPS.**

Questo sistema, con il tempo e la tecnologia, è diventato così preciso che, utilizzando alcuni tipi di ricevitori, quelli costruiti appositamente ad uso esclusivamente scientifico, riesce a raggiungere precisioni al di sotto del centimetro! (foto 2).

**Insomma possiamo sapere se un qualsiasi punto si è spostato nel tempo ad opera di qualche fenomeno naturale, di quanto si è spostato, la direzione dello spostamento e anche se si è alzato o abbassato rispetto a prima dell'evento.**

Lo possiamo valutare se misuriamo due punti contemporaneamente poiché potremo vedere se hanno subito un allontanamento o una variazione di quota tra di loro.

Possiamo inoltre creare una **rete di punti** su cui effettuare misure, aumentando la precisione dei dati che, elaborati al computer con programmi molto sofisticati, ci consentano di evidenziare in dettaglio come si sta modificando quella tale porzione di territorio.



*Foto 2 – Un moderno ricevitore GPS con la sua antenna*

### **3 - ASPETTI TECNICI DEL SISTEMA GPS**

**A questo punto entriamo nell'aspetto più prettamente tecnico del sistema, che riguarda la scelta dei punti geodetici, dei capisaldi, le tecniche di costruzione e la precisione nell'installazione, tutte cose molto importanti poiché incidono sulla qualità della futura acquisizione dei dati.**

#### **3a - Caratteristiche e criteri di scelta dei siti**

La scelta dei **punti geodetici** sui quali dovranno essere eseguite le misure, è una parte importante della progettazione di una rete GPS. Inizia con l'osservazione della zona di interesse sulla carta topografica a piccola e media scala, in modo da individuare e circoscrivere le zone sulle quali è opportuno andare poi a misurare.

Successivamente si faranno i sopralluoghi necessari per determinare con certezza il punto adatto all'installazione. In particolare occorre verificare:

- *L'assenza di ostacoli* (edifici, vegetazione ecc.) che impediscano la visibilità al di sopra dei 15° di elevazione su una rotazione di 360°..
- *L'assenza di superfici riflettenti* (metalliche o altro) nei pressi dell'antenna, che potrebbero "imbrogliare" il segnale proveniente dal satellite, il quale colpirebbe prima la superficie riflettente per rimbalzare poi all'antenna, provocando così un errore di misura.
- *L'assenza di campi elettromagnetici* dovuti ad apparati in grado di emettere radiofrequenze, elettrodotti ad alta tensione o altre strutture che possano interferire con il segnale provocando un degrado dello stesso.

Un **affioramento roccioso** profondo (foto 3), è considerato da sempre, dagli addetti ai lavori, la condizione ideale per effettuare misure geodetiche, perché si può ben dire che nel momento in cui avviene un evento naturale come un terremoto o un processo di subsidenza o sollevamento o ancora uno scivolamento del territorio in cui è immersa la roccia che si è presa in considerazione, lo strumento posizionato sopra di essa rileva il cambiamento delle coordinate direttamente del territorio in quel preciso punto, senza che ci sia nessun altro fattore che potrebbe influenzare o falsare la misura.



*Foto 3 – Affioramento roccioso: al centro si può intravedere un caposaldo (foto 8) cementato in modo che sia la sola superficie ad essere visibile*

Se non ci sono affioramenti rocciosi nel circondario, ma si vuole porre ugualmente in quella zona un punto perché si ritiene particolarmente interessante, occorre eseguire un lavoro decisamente più articolato e dispendioso: occorre eseguire la costruzione di un



**pilastrino geodetico** in cemento armato (foto 4), che abbia una fondazione profonda, almeno fino a qualche metro.

**Solo in questo modo viene garantita la solidale interazione del nostro punto al terreno, in modo che l'uno si comporti esattamente come l'altro in caso di movimenti di diversa natura.**



*Foto 4 – Pilastrino geodetico*

Negli ultimi anni, si stanno sempre più valutando positivamente le installazioni posizionate sui **coperti** di strutture normalmente istituzionali, come può essere un edificio pubblico, una scuola o un municipio (foto 5).



*Foto 5 – Antenna GPS ancorata su un pilastrino geodetico costruito su un tetto*

Un tempo, l'ambiente tecnico-scientifico riteneva che utilizzare tali strutture, su cui posizionare i punti geodetici, non fosse troppo corretto, poiché si pensava che, per sua stessa natura, una costruzione imponente potesse essere soggetta essa stessa a

deformazioni riconducibili a vari motivi, dalle escursioni termiche dei materiali di costruzione alle piccole depressioni della porzione di terreno che la sorregge.

Negli ultimi anni, però, si sono riviste alcune posizioni in merito.

Innanzitutto la scelta di una struttura istituzionale, qualora avesse le caratteristiche giuste, è senz'altro ambita per l'appoggio sicuro e costante dal punto di vista tecnico che si può ottenere; siamo pur sempre di fronte ad apparecchiature sofisticate, costose, bisognose di alimentazione elettrica, supporto elettronico, informatico e anche meccanico.

E' chiaro che un sito protetto offre condizioni di lavoro, in questo senso, molto comode e sicuramente meglio adeguate come logistica.

Oltre a ciò non si deve sottovalutare l'aspetto economico.

Se consideriamo che negli ultimi anni la tendenza del mondo scientifico è quella di costruire sempre più **installazioni GPS permanenti**, in grado cioè di fornire i dati satellitari durante tutto l'arco dell'anno, si capisce come una installazione in campagna su di un affioramento, presuppone uno stanziamento notevole di risorse in denaro, poiché occorre portare sul punto la corrente elettrica, il telefono (gli ultimi GPS sono dotati di interfaccia modem per lo scarico dei dati in remoto), oltre alla necessità di mettere il più possibile in sicurezza tutto l'apparato costruendo recinzioni imponenti.

In buona sostanza, gli affioramenti rocciosi e i pilastri, sono perfetti per misurare reti locali, cioè porzioni di territori non troppo estesi, dove gli operatori eseguono il loro lavoro rimanendo a protezione degli strumenti, all'interno di una finestra di registrazione dati stabilita e per un periodo di tempo nell'ordine di qualche giorno.

La scelta di una struttura, invece, è soggetta ad alcune caratteristiche da cui non si può prescindere:

- *deve essere piuttosto vecchia*, avente cioè un'età che superi i 60 – 70 anni, garantendo un consolidamento delle fondazioni.
- *non deve essere troppo alta*, poiché in caso contrario sarebbe più sensibile a dilatazioni termiche che in alto potrebbero essere rilevate dallo strumento.
- *anche il materiale di costruzione* è importante, perché le vecchie strutture costruite con mattoni incrociati e con muri spessi, offrono garanzie di stabilità migliori rispetto a muri in cemento gettato, che normalmente hanno spessori più sottili. Questi dispongono di un'armatura in ferro che consente di ridurre le quantità di materiale, a discapito però della rigidità strutturale, che se è ottima dal punto di vista della flessibilità nel merito delle tecniche di costruzione antisismiche, non è tale dal punto di vista delle misurazioni geodetiche.

### **3b - I capisaldi**

Scelto il sito, occorre posizionare qualcosa, un oggetto riconoscibile e individuabile anche nel tempo, insomma un **caposaldo** (altrimenti definito “**vertice**”) da ancorare saldamente al punto prescelto.

**E' il caposaldo che, come dice il nome stesso, diventerà il riferimento territoriale su cui effettuare misure ripetute nel tempo, da cui si produrranno tutte le informazioni necessarie alla valutazione delle deformazioni della zona.**

Esistono vari tipi di capisaldi, con forme, fatture e materiali diversi, e vengono scelti soprattutto in base al tipo di misura che si deve fare, ma anche alla praticità della lavorazione per la loro stessa costruzione e al tipo di monumentazione da effettuare sul punto prescelto.

Sono comunque tutti oggetti costruiti con materiali metallici, che garantiscono solidità e longevità (foto 6 -7-8)



*Foto 6 – Chiodo geodetico*



*Foto 7 – Autocentramento*



*Foto 8 – Caposaldo 3D*

*Alcuni tipi di capisaldi tra i più usati*

Essi devono essere ancorati saldamente sul sito e, a seconda della struttura presa in esame, si adotteranno modalità diverse per eseguire il lavoro, sulla base di una serie di considerazioni che vanno dall'opportuna valutazione di carattere ambientale, all'oggettiva possibilità o necessità di agire in un modo piuttosto che nell'altro.

- Il **chiodo geodetico** (foto 6), rappresenta il caposaldo più versatile, semplice da ancorare al territorio e il più usato soprattutto dai geologi, dagli ingegneri e in generale da quei professionisti che hanno bisogno di produrre molte misure da acquisire velocemente, non preoccupandosi troppo della estrema precisione.

Va benissimo, per esempio, nelle **misurazioni di livellazione**, anche di precisione, come punto intermedio di riferimento.

Va benissimo come punto sul quale eseguire **misurazioni di gravità**.

In geodesia, più che altro, si usa come **fuoricentro**, a supporto di altri tipi di capisaldi, oppure come punto esterno occorrente per georeferenziare una zona di lavoro, ad esempio nel monitoraggio dei movimenti franosi con tecniche geodetiche (foto 9).



*Foto 9 – Asta con bipiede posizionata su un chiodo geodetico  
L'antenna geodetica è avvitata sull'asta*

- L'**autocentramento** (foto 7), è un caposaldo piuttosto datato, che quando è stato adottato rappresentava una buona garanzia di precisione, poiché permetteva allo strumento, sia esso un'antenna geodetica o uno strumento per misurazioni classiche come un **autolivello**, un **teodolite** o una **mira**, la sua perfetta posizione centrata rispetto al caposaldo stesso.

Con questo tipo di vertice, però, rimaneva il problema della misurazione dell'altezza tra il centro di fase dell'antenna geodetica (punto di riferimento assoluto) e la superficie del caposaldo, universalmente preso come riferimento, poiché tale misurazione presupponeva diverse difficoltà tecniche che portavano ad alcuni errori sulla precisione da parte dell'operatore.

Normalmente questo vertice veniva utilizzato con una **basetta geodetica** (foto 10) sul cui piano inferiore veniva avvitata una piccola sfera in bronzo (foto 11), che infilandosi nel foro del caposaldo consentiva appunto l'autocentramento, oppure con un altro tipo di base, conosciuta come **base Max**, (foto 12 - 13), dove il punzone di corredo permetteva di ottenere la centratura infilandosi nel foro del vertice.

La base Max è utilizzata anche per centrare un sistema direttamente sul chiodo geodetico.





*Foto 10 – Basetta Geodetica*



*Foto 11 – Sfere autocentranti*



*Foto 12 – Base Max*



*Foto 13 - Autocentrimento su affioramento roccioso. Il supporto dell'antenna è una base Max*

- Il **caposaldo 3D** (foto 8), non è di nuovissima concezione, ma probabilmente rappresenta ancora oggi il migliore modo di mettere in stazione un GPS, perché è una struttura praticamente indistruttibile e perché offre una garanzia di stabilità assoluta di tutto il sistema, una volta montato.

La sua origine risale agli anni '90, quando le prime spedizioni degli scienziati Italiani in Antartide furono costrette a pensare a come fare a risolvere il problema di posizionare i GPS in un luogo talmente inospitale da avere, tra le sue caratteristiche più presenti, venti talmente potenti da abbattere qualsiasi supporto fino ad allora usato normalmente come sostegno all'antenna degli strumenti.

La soluzione che questo caposaldo ha prodotto è molto semplice: la sua filettatura interna di buone dimensioni, consente di utilizzare supporti per l'antenna strutturalmente più che adeguati ad ottenere stabilità eccezionali, oltre a consentire, sapendo la misura esatta del supporto stesso, l'esatta altezza dell'antenna dalla superficie del caposaldo, presa a riferimento geodetico.

Nasce corredato da un sostegno per l'antenna molto ben pensato (foto 14), formato da un palo, di cui si conosce la misura e che è il vero supporto dell'antenna geodetica, che si innesta all'interno di un tubo avvitato al caposaldo tramite una boccia con doppia filettatura. Tale tubo è poi dotato di 3 viti a 120° che consentono di muovere il palo interno fino alla sua perfetta verticalizzazione ottenuta con la lettura di due bolle sferiche. Questo consente di mettere l'antenna, una volta avvitata anch'essa, perfettamente in bolla, condizione questa indispensabile per la corretta ricezione dei dati.



*Foto 14 – Classica installazione su affioramento. Ancorato alla roccia c'è il caposaldo 3D e sopra il sistema di supporto dell'antenna geodetica, a sua volta allacciata al ricevitore satellitare*

Come già accennato, la tendenza degli ultimi anni è quella di predisporre stazioni GPS permanenti.

Ebbene, questo caposaldo è perfetto allo scopo per le caratteristiche descritte..

Per tali tipi di stazioni, si sono inventati, negli ultimi anni, alcuni supporti e apparecchiature in grado di esaltare, completare, perfezionare le caratteristiche del caposaldo 3D.

Per quello che riguarda il supporto dell'antenna, si può facilmente percepire come quello in foto 14 sia un attrezzo molto articolato e quindi costoso, da utilizzare quindi in reti locali non permanenti o magari per scopo didattico.

L'idea di usare supporti più a buon mercato è stata dunque una scelta obbligata, ma c'erano alcune difficoltà.

Occorreva pensare ad un sostegno che, mantenendo una forte rigidità, avesse la possibilità di fare ruotare l'antenna geodetica a 360° una volta montato (in una rete GPS, le antenne geodetiche vanno tutte orientate verso il nord).

Inoltre, cosa ancora più importante, avrebbe dovuto essere perfettamente verticale, in modo che l'antenna installata sopra di esso potesse essere assolutamente in bolla.

Dopo alcuni progetti e relative varianti , si è arrivati ad adottare un supporto in acciaio inossidabile, di varie misure, avente alla sua sommità una testa dotata di un perno centrale che consente il movimento circolare, salvo essere bloccata nel punto giusto tramite un semplice grano filettato (foto 15).



*Foto 15 – Il sistema completo vertice – supporto antenna per stazioni permanenti*

Questo sistema è attualmente tra i più usati dagli operatori del settore.

Il suo limite, consiste nel non potere regolare la verticalità, una volta montato, a differenza del supporto originale, perciò la chiave per raggiungere la perfezione in tale installazione che consenta di eliminare ogni errore di base, anche millimetrico, passa inevitabilmente per la corretta cementificazione del vertice nel punto prescelto.

### 3c – Tecniche di costruzione e di materializzazione dei punti geodetici

Installare un **chiodo geodetico** non comporta particolari problematiche.

In certi supporti, come ad esempio su materiali bituminosi (per eseguire ad esempio livellazioni di precisione lungo le strade), o su rocce fratturate, è sufficiente usare una mazzetta da muratore. In altri materiali, più tenaci, occorre semplicemente perforare col trapano, usando una punta avente il diametro della parte di stelo del chiodo più sottile (esso infatti ha due diametri diversi), per avere la certezza, una volta inserito, che la parte più grossa faccia sufficiente tenuta (figura 1).

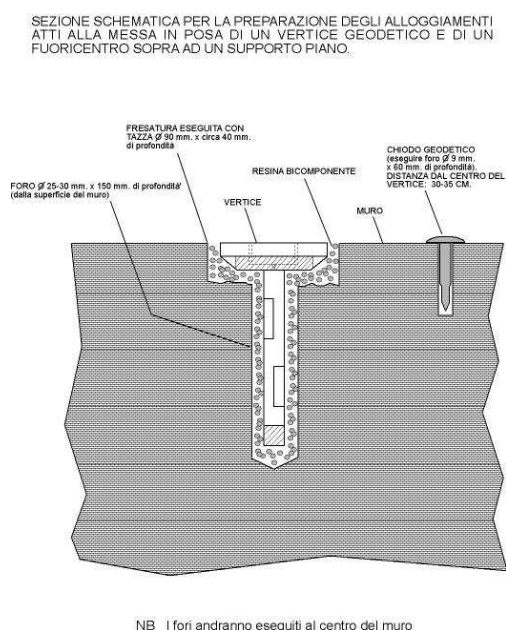


Figura 1 – Schema di lavorazione

Con gli altri tipi di vertici, si utilizzano materiali edili presenti in commercio, che offrono garanzie di particolare resistenza al tempo e agli agenti atmosferici, come il **cemento rapido** e alcune **resine bicomponenti** (figura 1), che raggiungono durezze considerevoli unitamente a resistenze notevoli allo sgretolamento, caratteristiche che li rendono idonei alla corretta esecuzione del lavoro.

Se si deve ancorare con tali materiali un **autocentramento** come in foto 7, non ci sono particolari problemi, se non quello di preparare un alloggiamento nel supporto scelto, consono alle dimensioni del vertice stesso, usando i più comuni attrezzi da lavoro di carpenteria ed edilizia.



Un discorso a parte, invece, merita il **vertice 3D**.

Innanzitutto la sua struttura non consente improvvisazioni. Non si può pensare, cioè, di installare un vertice del genere con un trapanino, uno scalpello e un martello.

Occorre una attrezzatura professionale con la quale si possa lavorare in ogni condizione (ad esempio un supporto particolarmente duro come una roccia granitica).

L'attrezzo migliore allo scopo, è senz'altro un **trapano martellatore** attrezzato con una **tazza** dotata di **placchette al vicia** di diametro adeguato e una **punta**, sempre al vicia, di un diametro non inferiore a 25 mm. (foto 16).



*Foto 16 – Trapano martellatore  
con accessori*



*Foto 17 – Tagliola eseguita con la tazza.  
Si toglie l'eccesso con lo scalpello*



*Foto 18 – Si esegue la sede dello stelo  
del vertice*

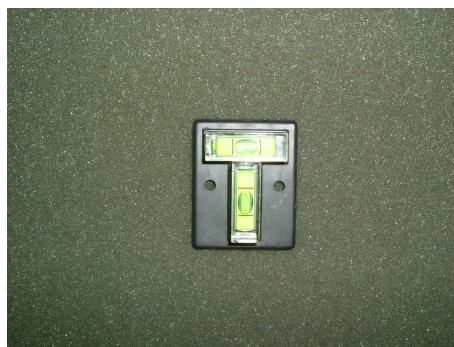


*Foto 19 – Sede completata*

L'attrezzo consente di preparare una sede ottimale, pulita, calibrata, dove troverà alloggio il vertice metallico (foto 17-18-19). In questo modo otteniamo le garanzie migliori per un ancoraggio che avrà una durata praticamente infinita nel tempo; dopotutto si sta installando un caposaldo, che per sua natura deve essere eterno!

Come già accennato, il vertice ha bisogno di essere installato con una perfetta planarità, poiché la sua stessa superficie non solo sarà accoppiata al supporto dell'antenna, con tutti i problemi citati nel precedente capitolo, ma anche perché essa rappresenta il **riferimento scientifico**, il punto "zero" sul quale si basano le conclusioni dei lavori dei Ricercatori.

Guardando la figura 1, si capisce che non è facile riuscire nell'intento, perché il vertice viene fondato completamente, lasciando visibile solo la sua superficie che è piuttosto piccola (80 mm. di diametro). Un tempo si utilizzava una piccola livella torica a "T" (foto 20), che non offriva alcuna garanzia di precisione.



*Foto 20 - Doppia bolla torica*

Oltretutto, mentre il materiale di consolidamento si solidifica, avviene sempre una trazione non controllabile che modifica la posizione del vertice.

Per risolvere il problema, è stato progettato, sviluppato e costruito un attrezzo meccanico.

Questo **sistema di monumentazione**<sup>1</sup> (foto 21) è munito di piedini regolabili ed è in grado di **agganciare** e poi **posizionare il caposaldo 3D nell'alloggiamento predisposto**, immergendolo nel cemento o nella resina, **bloccandolo** per il tempo necessario al consolidamento e allo stesso tempo **consentendo di mettere perfettamente in piano la sua superficie**.

Per fare ciò utilizza 2 bolle sferiche, rettificata in laboratorio, installate sull'asta di sostegno a circa 600 mm. sulla verticale del vertice.

---

<sup>1</sup> Dal 25 giugno 2004, tale dispositivo è stato depositato come "brevetto per invenzione industriale" con la seguente sigla: BO2004A000404.  
La proprietà è dell'Università di Bologna; il progetto appartiene allo scrivente.

L'altezza delle bolle è tale per cui si può affermare che la superficie del caposaldo 3D risulterà perfettamente orizzontale rispetto ai piani x e y, ottenendo in questo modo il requisito indispensabile alle aspettative di cui sopra.



*Foto 21 - Sistema di monumentazione per capisaldi 3D  
Si nota il vertice che sta per essere fondato nella sede predisposta*

Questo sistema, dunque, ha risolto lo storico problema che gli operatori del settore incontravano nell'installare il vertice, volendo osservare tutti i canoni indispensabili.

Inoltre, i suoi piedini regolabili, aventi una buona escursione verticale, consentono di utilizzare l'attrezzo praticamente su ogni tipo di supporto, sia esso un affioramento roccioso, che ovviamente per sua natura è irregolare, sia sul cornicione di un coperto, sia sulla superficie di un piastrino geodetico.

E' proprio sul pilastro, che rappresenta il manufatto storico per l'acquisizione dei dati geodetici, che in passato si avevano i maggiori problemi con la fondazione dei vertici.

Le ditte che si occupavano della sua costruzione, si occupavano anche di murare il caposaldo durante il lavoro ed il risultato non era mai perfetto.

Nella figura 2, si può osservare un modello per la costruzione di un pilastro sul coperto di un edificio, che normalmente si consegna all'azienda che si occuperà dell'esecuzione dei lavori.

Il pilastro viene saldamente ancorato al sottostante muro maestro e alzato oltre il coperto in misura variabile secondo le esigenze, ma al centro della superficie si predisporrà uno spazio vuoto in modo che si possa successivamente ancorare il nostro caposaldo utilizzando il sistema di monumentazione.

SCHEMA GENERALE ANCORAGGIO PILASTRO  
SU MURO PORTANTE (SUL COLMO DEL TETTO)

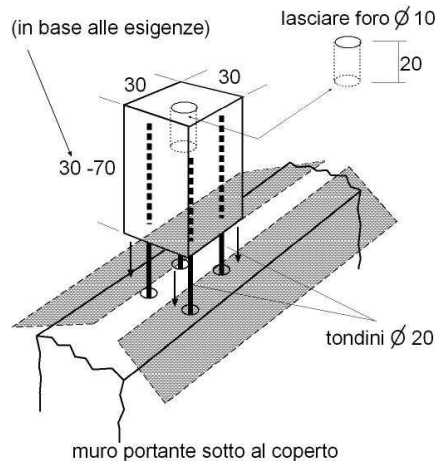


Figura 2 – Disegno schematicizzato

### Conclusioni

Il sistema GPS, quindi, con la continua evoluzione della sua tecnologia, ha consentito ai Geodeti di ottenere informazioni sempre più precise riguardo al comportamento della superficie del nostro pianeta.

Tale precisione è in piccola parte dovuta anche a tutto ciò che riguarda l'aspetto puramente tecnico che precede l'installazione di una stazione GPS, che è anch'esso notevolmente migliorato.

Sono molte le tecniche di misura adottate per monitorare un'area, dalla **livellazione** alla **microgravimetria**, dalla **fotogrammetria** alla **scansione laser**, ma in ogni caso occorre georeferenziare la porzione di territorio in esame.

Per fare questo occorre il **GPS**.

Massimo Bacchetti  
Laboratori di Geofisica - Dip. di Fisica - UNIBO  
V.le Berti Pichat, 8  
Bologna  
tel. 051 20 95012  
fax 051 20 95058  
e-mail [massimo.bacchetti@unibo.it](mailto:massimo.bacchetti@unibo.it)

### BIBLIOGRAFIA

Cina, Alberto (2000): *GPS. Principi, modalità e tecniche di posizionamento*