

UTILIZZO GEODETICO E IN TEMPO REALE DI RICEVITORI GPS DI BASSO COSTO

Marco BALDO (**), Alberto CINA (*), Ambrogio MANZINO (*), Marco ROGGERO (*)

(*) Politecnico di Torino – DIGET, C.so Duca degli Abruzzi, 24
tel. 011-5647630/7675, fax 011-5647699, e-mail cina@polito.it; manzino@polito.it; roggero@atlantic.polito.it
(**) CNR –IRPI sez. di Torino, e-mail m.baldo@irpi.to.cnr.it

Riassunto

Il lavoro mostra i risultati ottenuti con ricevitori GPS monofrequenza di bassissimo costo (da 300 a 500 €), detti anche “palmari”. Dapprima si riportano i risultati ottenuti su reti con lati di dimensione massima di 7 km, rilevate staticamente. Vengono analizzati gli errori e le precisioni in funzione del tempo di acquisizione, utilizzando i tradizionali programmi per il calcolo delle basi. Gli errori centimetrici che risultano, rendono utilizzabili questi ricevitori GPS per applicazioni di media precisione. Si analizzano poi i risultati ottenuti con gli stessi ricevitori in modalità DGPS, trasmettendo in tempo reale le correzioni differenziali da alcuni km fino a più di 80. In particolare, gli errori possono essere contenuti sotto un metro anche a distanze notevoli a patto di mediare i dati di posizione anche per periodi di soli pochi minuti.

Abstract

The geodetic and real time use of cheap GPS receivers.

In this paper we show the results obtained with some single frequency GPS very cheap (300-500 €): the so called “handheld GPS”. The first results are relative to network whose maximum side is 7 km, statically GPS surveyed. We analyse the errors and the precision (due to the acquisition time) using traditional softwares for base-line computation. The centimeters errors of these instruments make available this kind of GPS for middle precision applications.

We analyse also the results obtained with the same receivers in DGPS mode, transmitting in real time the differential correction from few kilometers to 80 km. In this case errors may be reduced less than 1 meter even if distance is big, but the position data must be averaged for few minutes.

Premessa

Il rilevamento GPS può essere considerato come un valido e interessante mezzo di navigazione: a questo scopo sono normalmente richieste precisioni inferiori a quelle geodetiche. Per tali applicazioni il mercato offre ricevitori, detti “palmari”, dal costo contenuto in media sui 500 €, che possono essere usati in modalità posizionamento assoluto con *pseudoranges* con la precisione tipica del sistema GPS senza SA.

Essi hanno varie funzioni, una bella e comoda visualizzazione grafica dei dati di posizione e di navigazione e forniscono coordinate in vari DATUM. La loro memoria può contenere la cartografia stradale e fluviale, indicando punti di interesse di varie Nazioni e Città, ma non permette generalmente la memorizzazione di dati grezzi di codice e fase. Questi ricevitori vengono in pratica utilizzati come “misuratori di coordinate”. Alcuni di essi sono predisposti per un posizionamento differenziale in tempo reale.

Abbiamo cercato di approfondire le possibili applicazioni di questi semplici e poco dispendiosi ricevitori, per capire se un loro utilizzo “non convenzionale” potesse interessare i campi della topografia e cartografia ed abbiamo scoperto interessanti potenzialità. Essi sono risultati idonei non certo per applicazioni di elevata precisione, ma per tanti altri scopi ricorrenti nella pratica operativa, ai quali ogni professionista provvede con strumenti più sofisticati e costosi. Possono essere utilizzati per gli aggiornamenti di cartografia, per molte applicazioni catastali, per le reti di

raffittimento per appoggio cartografico fotogrammetrico a media-grande scala e ancora per tutte le applicazioni nelle quali sia tollerabile l'errore che verrà evidenziato nelle sperimentazioni oggetto di quest'articolo e nelle quali sia sopportabile l'onere di più lunghi periodi di misura rispetto a ricevitori geodetici doppia frequenza.

La strumentazione

Per eseguire le prove i ricevitori scelti sono stati i palmari *GARMIN* nelle versioni *12XL* ed *e-map*. Essi sono strumenti di grande diffusione, e di costo contenuto.

Il formato dei dati grezzi non è documentato dalla Casa e quindi neppure certificato, tuttavia è sperimentalmente noto ed è stato pubblicato. Da qualche anno sono poi disponibili vari software, in grado di interrogare i ricevitori ed acquisire così i dati primari di codice e di fase. Non essendo previste queste opzioni dalla Casa, i dati non sono memorizzabili internamente ed è necessario scaricarli, via porta seriale, su un computer portatile. Allo scopo è stato da noi utilizzato il programma GRINGO (Hill, 2000) che permette di acquisire i dati grezzi in formato RINEX versione 2. Ci si accorge allora di trovarsi di fronte a veri ricevitori singola frequenza in grado di fornire, pur con i limiti che vedremo, la portante L1 ed il codice C/A. Questi dati possono essere trattati con i normali programmi di compensazione di basi GPS, alle doppie differenze o in maniera differenziale.

Per migliorare la precisione dovuta allo stazionamento, si sono utilizzate per ogni ricevitore palmare delle antenne esterne, montate su un supporto realizzato appositamente, che permette il loro centramento di precisione su basette topografiche ed è dotato di un piccolo piano di massa (fig.1).

Per definire con precisione la posizione del centro di fase dell'antenna, la prima operazione è stata la determinazione del centro di fase dell'antenna esterna, realizzato topograficamente.



L'operazione di calibrazione è consistita nella determinazione della *base-line* tra i centri di fase di un'antenna geodetica di un ricevitore doppia frequenza, assunta come riferimento e di quella esterna del ricevitore GARMIN.

Esse sono poi state poste in posizione reciproca e l'eccentricità del centro di fase è stata determinata per confronto tra le 2 basi. Le due basi, di pochi metri (fig.1), sono state risolte con tempi di acquisizione di più di 3 ore, alle doppie differenze di fase in L1. Pur non arrivando al fissaggio dell'ambiguità di fase con più software, le soluzioni FLT delle basi reciproche evidenziano sqm dell'ordine di ± 1 mm (Tab. 1).

Fig. 1 – antenna GARMIN con adattatore e determinazione della posizione del centro di fase

(m) ->	DE	DN	Dh	DE	DN	Dh
Componenti	5.188	-3.137	0.174	-5.189	3.132	-0.002
Precisione (σ)	0.0004	0.0010	0.0017	0.0006	0.0025	0.0024

Tab. 1: risultati ottenuti nella calibrazione del centro di fase

Esse hanno permesso, nell'ambito di questa precisione, di valutare che il centro di fase si trova sulla verticale per il punto a terra e la sua altezza dal piano di massa.

Il poligono di calibrazione

Una “robusta” rete geodetica è stato il termine di confronto per le sperimentazione con i ricevitori *GARMIN*. Eseguita con ricevitori geodetici doppia frequenza, il poligono di calibrazione può essere considerato un raffittimento della rete IGM95: 4 vertici (205-208 in fig.2) con maglia di 5 km sono collegati a 4 vertici IGM95 disposti intorno. Le basi di collegamento non superano i 18 km. I tempi d’acquisizione di 1 ora hanno permesso di arrivare sempre ad una soluzione delle basi GPS con ambiguità fissata ad intero. La compensazione della rete, vincolata ai quattro vertici IGM95, il cui schema è riportato in fig.2, ha portato a $\sigma \leq \pm 5$ mm in planimetria e $\sigma \leq \pm 9$ mm in altimetria. La stessa rete, compensata a minimi vincoli ha evidenziato sqm inferiori, dell’ordine di $\pm 2 \div 3$ mm

Misure statiche con ricevitori GARMIN

Oggetto della sperimentazione era valutare la precisione e gli errori delle basi GPS e delle coordinate della rete “*GARMIN*”, rispetto al rilevamento con ricevitori geodetici. La rete illustrata precedentemente è stata rilevata di nuovo, tornando sui vertici noti con una copia di *GARMIN 12XL* con antenna esterna, posti alle estremità delle basi, analogamente a quanto viene fatto con i normali ricevitori geodetici con tempi di misura minimi di due ore e *rate* di 2s. Il grafo della rete è quello di figura 3: della rete di raffittimento si è esclusa la misura del solo punto 207, non occupato. Sul vertice denominato VIAZ si è stazionato con un terzo ricevitore *GARMIN* ed in maniera continuativa per circa 9 ore. La dimensione delle basi, da 2,6 a 6,8 km non risente ancora dell’effetto di rifrazione ionosferica, eliminabile alle differenze sulla sola frequenza L1.

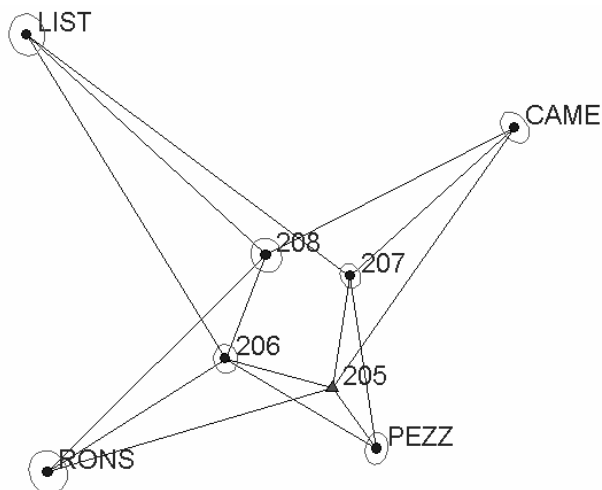


Fig. 2 – rete di calibrazione
(fattore amplificazione ellissi = 100.000)

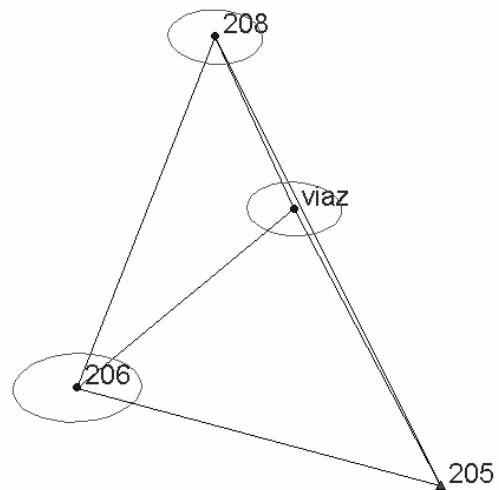


Fig. 3 – rete GARMIN
(fattore amplificazione ellissi = 10.000)

I dati in formato RINEX acquisiti su PC sono stati trattati con il programma GPSurvey, per il calcolo delle basi, alle doppie differenze di fase. Per valutare l’importanza del tempo di acquisizione sulle precisioni sono state compensate le basi considerando finestre temporali di 15, 30, 60, 120 minuti di dati d’osservazione. La basi così determinate hanno permesso il calcolo delle coordinate, mediante compensazione delle reti GPS. Delle varie prove eseguite si riportano i risultati sintetici ed alcune considerazioni.

Per quanto riguarda il calcolo delle basi rilevate con *GARMIN*, solo in un caso si è arrivati al fissaggio dell’ambiguità di fase dopo 2 ore. Osservando l’andamento della media dei valori assoluti delle differenze in planimetria (vettore d’errore) e in altimetria (fig. 4), rispetto ai valori ricavabili dal poligono di calibrazione, risulta chiara una loro dipendenza dal tempo di acquisizione. Gli errori sono in media inferiori a 8 cm in entrambe le componenti dopo mezz’ora di acquisizione e scendono a circa 3 cm con periodi di 2 ore di misura. Un discorso a parte va fatto per acquisizioni molto brevi: paradossalmente, dal diagramma di fig.4, l’errore planimetrico dopo 15 minuti risulta minore che nelle altre prove di maggior durata e pari a quello che si ottiene dopo 2 ore di misura. Il

risultato può essere attribuito evidentemente ad una serie di dati “fortunati” con una costellazione particolarmente favorevole, dal momento che con altri intervalli di analoga durata ma spostati temporalmente non si sono ottenuti analoghi risultati ma, questi hanno presentato una forte variabilità con errori anche di varie decine di cm. Perciò i risultati riportati in figura 4 vanno ritenuti un limite inferiore d’errore per le finestre temporali di 15 minuti. Riteniamo che periodi d’acquisizione di mezz’ora possano essere minimali, ma ragionevoli per evitare errori grossolani nella determinazione delle basi e per ottenere errori minori di 10 cm.

L’effetto benefico della compensazione della rete è evidente andando a confrontare le coordinate assolute della rete GARMIN con quelle del poligono di calibrazione preso a riferimento. In figura 5. sono riportate (con simboli puntuali) le medie dei valori assoluti degli errori planimetrici e altimetrici: questi risultano contenuti in 4 cm per la planimetria e 5,5 cm in altimetria. La compensazione rende meno evidente la dipendenza dell’errore dal tempo d’acquisizione. Le curve continue della stessa fig.5 rappresentano il doppio della media degli scarti quadratici medi (2σ) delle coordinate compensate: la curva superiore è relativa alla componente planimetrica e quella inferiore a quella altimetrica. Si nota sinteticamente come in genere il valore di 1σ sia rappresentativo dell’entità dell’errore, che risulta in tutti i casi contenuto nell’intervallo 2σ . Si noti, dopo i primi 30’, la diminuzione di valori di sqm dell’errore reale in funzione del tempo di misura.

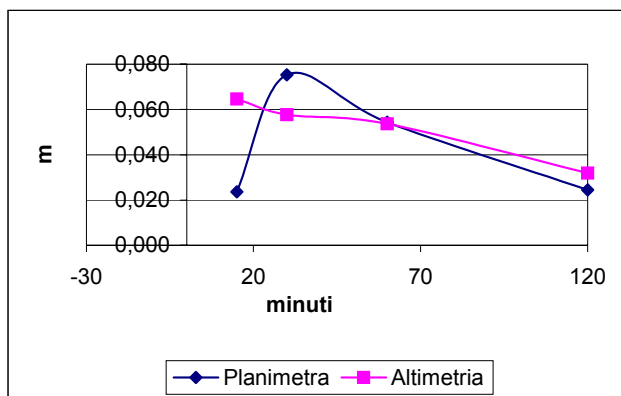


Fig. 4 – errori medi delle basi GARMIN

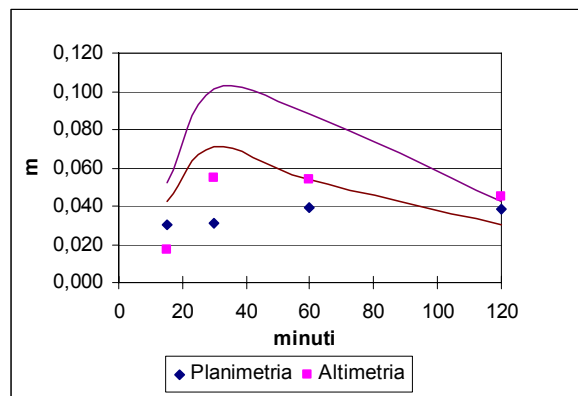


Fig. 5 – errori medi coordinate in planimetria e altimetria della rete GARMIN e curve 2σ

Misure differenziali in tempo reale con ricevitori GARMIN

I ricevitori palmari utilizzati prevedono anche la misura differenziale DGPS¹. La correzione differenziale può essere ricevuta attraverso radio modem o modem GSM, come nei normali ricevitori geodetici: entrambi sono stati utilizzati con successo. Per capire se le precisioni fornite fossero utilizzabili a scopi topografici e con quali modalità, sono stati rioccupati i vertici della rete di raffittimento (205-208) ponendo un ricevitore geodetico sul punto VIAZ, a generare la correzione differenziale. Il mezzo di trasmissione è stato il radio modem: la sua portata ha coperto senza problemi i quasi 7 km di distanza dal punto più lontano. I ricevitori GARMIN sono dotati di una sola porta seriale: per collegare contemporaneamente il radio modem e effettuare lo scarico dei dati di posizione su PC secondo uno dei formati previsti (è stato usato il protocollo NMEA), si è dovuto realizzare un apposito cavo seriale sdoppiatore a “Y” per effettuare entrambe le connessioni.

Di tutte le analisi riportiamo quelle fatte sul punto 207: ciò che emerge dalle misure sugli altri tre punti suffraga sostanzialmente quanto verrà detto. In figura 6 sono riportati gli scarti tra le coordinate planimetriche (valore del vettore scarto) e altimetriche ottenute con GPS differenziale in tempo reale, rispetto a quelle note dal poligono di calibrazione. La durata delle misure è stata di circa mezz’ora: si osserva che in genere l’errore può arrivare ad oltre 3m in planimetria e 4m in

¹ Non è però noto se la correzione sia applicata alle sole misure di codice o codice liscio con la fase

altimetria, senza evidenti effetti sistematici. Cosa succede stazionando per qualche minuto e mediando le coordinate per applicazioni statiche?

Abbiamo eseguito una media sequenziale delle coordinate planimetriche e altimetriche corrette RT, pesandole rispettivamente con i valori di HDOP e VDOP fornite dal formato NMEA; analogo calcolo sequenziale si è realizzato per gli scarti quadratici medi delle medie ponderate delle tre coordinate. La procedura sequenziale permette di calcolare il valore della media e dello scarto quadratico medio dall'epoca iniziale all'epoca corrente senza la necessità di memorizzare i precedenti dati di posizione: così il diagramma di figura 7 riporta gli scarti in planimetria e altimetria dei dati mediati: ad ogni epoca i dati di posizione sono la media di tutti quelli precedenti. Appare evidente l'andamento più liscio rispetto ai dati non mediati: dopo circa 200 epoche acquisite ogni 2 secondi (meno di 7 minuti) gli errori planimetrico e altimetrico, in ogni test, si mantengono sempre minori di 1 metro.

La precisione submetrica è dunque ottenibile su basi di lunghezza di alcuni km con ricevitori palmari, a patto di mediare dati per periodi anche brevi: questo risultato è, come detto, comune anche agli altri vertici occupati con analoghe modalità. Allo scopo può essere eseguito su PC portatile o su PC tipo compatto (es: iPAQ COMPAQ), un semplice programma di calcolo che può filtrare e mediare in tempo reale i dati in ingresso.

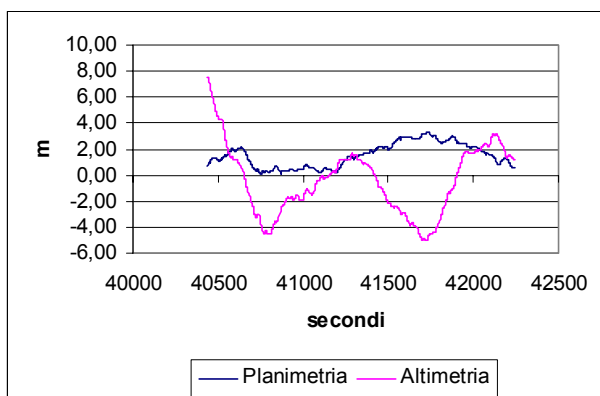


Fig. 6 – errori con DGPS: dati non mediati

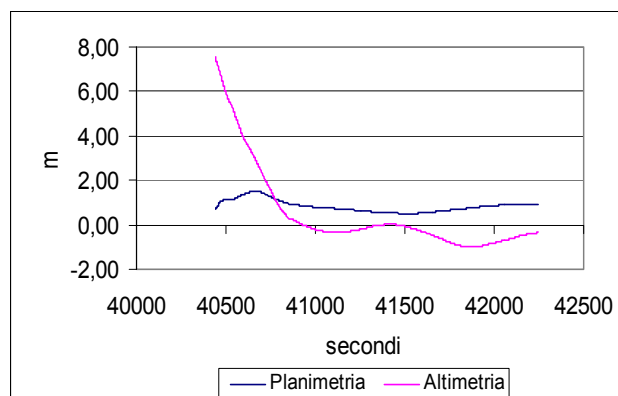


Fig. 7 – errori con DGPS: dati mediati

È possibile ottenere precisioni submetriche su distanze maggiori con il DGPS applicato ad un ricevitore palmare? Per rispondere a ciò si è utilizzato il segnale RTCM della stazione permanente GPS del Politecnico di Torino che essa diffonde anche attraverso internet². A circa 80 km di distanza si sono applicate su un ricevitore GARMIN *e-map* estraendo per la durata di 24 ore, in tempo reale le coordinate corrette, secondo il protocollo NMEA.

Ecco in sintesi i risultati della prova: in figura 8 sono riportati i dati mediati in maniera sequenziale, secondo quanto già visto in precedenza. Si noti come siano sufficienti 320 epoche acquisite ogni 2 secondi (circa 10 minuti) per ottenere errori planimetrici sempre inferiore al metro. Essi continuano poi ad diminuire all'aumentare del tempo di misura (riportato in ascissa). Dopo lo stesso numero di epoche, l'errore in altimetria si mantiene sempre inferiore a 1,5 metri. Su un lungo periodo gli errori vengono mediati e dopo 24 ore la media degli errori planimetrici e altimetrici è praticamente nulla. La posizione differenziale risulta distorta di pochi cm rispetto alla posizione ricavata con misure geodetiche! Oltre la media sequenziale delle posizioni è stato calcolato il corrispondente scarto quadratico medio. Esso risulta in generale sottostimato e per brevi periodi e non rappresentativo dell'entità dell'errore reale. In figura 9 abbiamo riportato "l'errore formale", ottenuto dividendo l'errore planimetrico per lo scarto quadratico medio della media delle posizioni precedenti. Esso

² Collegando il ricevitore ad un PC connesso al sito gps.polito.it, tramite un software che trasferisce il messaggio letto sul sito sulla porta seriale è possibile ottenere il dato di correzione da fornire al ricevitore.

risulta una funzione non monotona ma in generale decrescente: dopo 2 ore l'errore formale planimetrico non supera il valore 12. Dall'analisi della variazione di questo rapporto nel tempo, si può pensare di correlare lo scarto quadratico medio con l'errore reale planimetrico. Anche a distanze notevoli è dunque possibile ottenere precisioni sub-metriche a patto anche qui di mediare i dati per periodi di alcuni minuti. Un servizio di correzioni differenziali da stazioni permanenti a maglia anche larga permetterebbe di sfruttare pienamente queste possibilità.

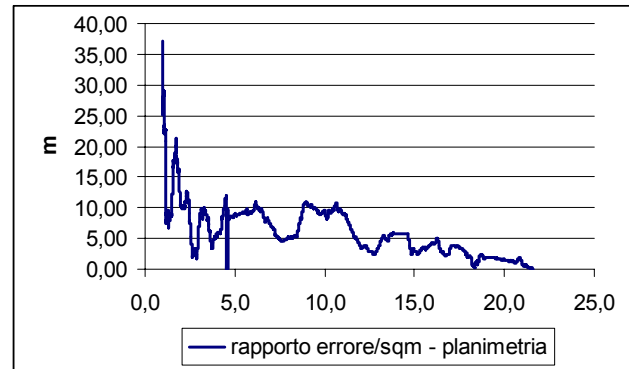
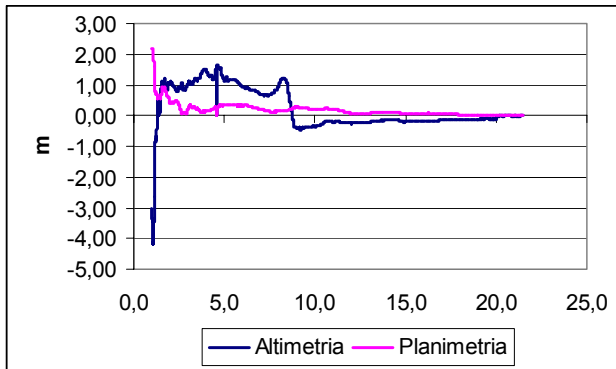


Fig. 8 – errori con DGPS a 80 km: dati mediati Fig. 9 – errore formale con DGPS a 80 km

Conclusioni

I ricevitori palmari qui utilizzati hanno dimostrato di possedere potenzialità superiori alle funzioni su di essi implementate. Nell'utilizzo statico, pur non essendo paragonabili ai più sofisticati ma anche costosi ricevitori geodetici, possono però arrivare alle precisioni sufficienti all'istituzione di piccole reti di raffittimento per appoggi cartografici con precisioni centimetriche e tempi di acquisizione di mezz'ora, paragonabili a quelli classici della tecnica rapido-statica in singola frequenza.

Nelle applicazioni differenziali, pur essendo disponibile su questi ricevitori in tempo reale la posizione DGPS, si è visto che i migliori risultati, per scopi statici, si ottengono mediando i dati di posizione anche solo per pochi minuti, portando così il posizionamento ad errori di pochi decimetri. Un limite operativo nell'utilizzo di palmari per operazioni di rilevamento, sta nella necessità di un'attrezzatura composta da PC, modem GSM o radiomodem con relativi cavi di collegamento: ciò complica il trasporto in campagna. Collegamenti tramite infrarossi e utilizzo di PC palmari (esempio iPAQ), unitamente a telefoni cellulari dotati di modem, possono portare alla realizzazione di interessanti e poco dispendiosi sistemi di rilevamento.

Bibliografia

- Cina, A., Manzano, A. (2000) – “Misure GPS in tempo reale: applicabilità e precisioni”. *Bollettino della SIFET*, n.4, 2000: 113-122.
- Hill, C J., Moore T. (2000) – “Carrier Phase Surveying with Garmin Handheld GPS Receivers”. *ION GPS 2000*, 19-22 settembre, Salt Lake City, UT: 178-182.
- Hofmann-Wellenhof, B. Lichtenegger, H. Collins J. (1997) – “GPS Theory and Practice”. New York, Springer-Verlag.
- Leick, Alfred (1995) - “GPS Satellite Surveying”. New York, Wiley & Son.
- Manzano, A. (2002) – “Stazioni permanenti GNSS in Italia: scopi, usi e prospettive”. *Relazione invitata alla 6° conferenza ASITA. Atti della 6° Conferenza ASITA*.
- Taberner Galan A., (2000) - "Obtaining raw data from some Garmin units", <http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/>, giugno 2000.