

CAPITOLO 2.2

ESPERIENZE SULLA TRASFORMAZIONE DI DATUM ALTIMETRICO

Vittorio Casella, Marica Franzini, Anna Spalla

Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio, Università di Pavia - Pavia (IT)

e-mail: vittorio.casella@unipv.it, marica.franzini@unipv.it, anna.spalla@unipv.it

SOMMARIO

Il presente capitolo riguarda la livellazione geometrica, la metodologia che consente di determinare la quota ortometrica dei punti misurati con il solo GPS, se si dispone di un modello di ondulazione geoidica.

Nella parte iniziale vengono esposti i principali concetti coinvolti: altezza ellissoidica, quota ortometrica e ondulazione geoidica. In seguito si illustrano i risultati della validazione del modello di ondulazione geoidica Italgeo99 sul territorio della Provincia di Pavia. In altri termini, è stata stimata rigorosamente l'accuratezza con cui si può effettuare la livellazione GPS.

La seconda parte riguarda la localizzazione del modello di ondulazione. Vengono esposti i principali concetti e successivamente la localizzazione viene calcolata per Italgeo99 sulla Provincia di Pavia. Infine il modello localizzato viene validato, per verificare i benefici avuti in termini di errori sistematici ed accidentali.

1. INTRODUZIONE

Il presente capitolo ha per tema la livellazione GPS, la metodologia che consente di determinare la quota ortometrica dei punti misurati con il solo GPS, se si dispone di un modello di ondulazione geoidica. Si tratta di un argomento ben conosciuto e che è stato oggetto di ricerca negli anni novanta: si veda la bibliografia per una breve rassegna della letteratura italiana sull'argomento.

Gli argomenti trattati non sono attualmente oggetto di ricerca in senso stretto, tuttavia la loro presenza è opportuna un duplice motivo: perché il testo nel quale è inserito il capitolo è rivolto ad un uditorio vasto e non ai soli specialisti; perché, pur essendo i concetti trattati ben noti, non ci risulta esistano molte validazioni rigorose del modello di ondulazione geoidica Italgeo99.

Come anticipato, la livellazione GPS è una tecnica di grande interesse perché consente di determinare le quote dei punti al costo di una misura GPS e con una qualità che, pur essendo inferiore a quella della livellazione geometrica, è certamente interessante: proprio la precisione delle quote ottenibili dal GPS è l'argomento delle pagine seguenti.

Recentemente la Provincia di Pavia ha realizzato una rete GPS che copre tutto il suo territorio e che contiene 19 vertici livellati, connessi mediante livellazione geometrica di elevata qualità (si veda la sezione 3.2) a capisaldi IGM. Il territorio della Provincia di Pavia dispone dunque di informazioni di controllo dense e della massima affidabilità, che consentono di quantificare l'accuratezza ottenibile con la livellazione GPS.

Il Par. 2 richiama i termini e i concetti essenziali: altezza ellissoidica, quota ortometrica, ondulazione geoidica. Il Par. 3 illustra la rete GPS della Provincia di Pavia. Il Par. 4 riguarda la validazione del modello di ondulazione geoidica Italgeo99, mentre nel Par. 5 si affronta il tema della localizzazione: si richiamano inizialmente i concetti e il formalismo e successivamente si stimano i benefici ottenibili da tale tecnica.

2. LA LIVELLAZIONE GPS

Si dice spesso che il GPS misura l'altezza ellissoidica ma non la quota ortometrica: è un'affermazione corretta nella sostanza, ma potenzialmente equivoca.

Consideriamo, per fissare le idee, il caso di una rete statica calcolata nella modalità a singola base: il GPS misura le basi, cioè i vettori posizione dei punti rilevati rispetto agli altri punti e ne determina le componenti in coordinate cartesiane ellissocentriche. La successiva compensazione consente di determinare le coordinate cartesiane ellissocentriche (quelle dette ECEF nella letteratura inglese) dei vertici della rete rilevata.

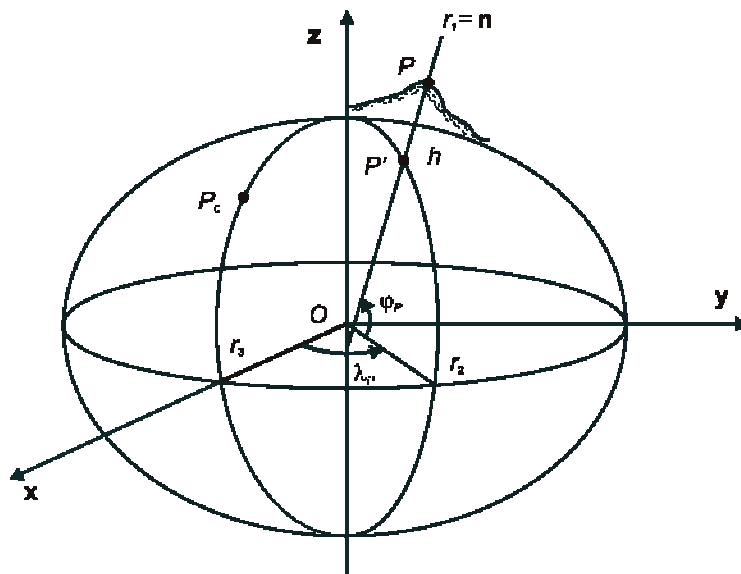


Figura 1 - Relazione fra le coordinate geografiche ellissoidiche e le cartesiane ellissocentriche (ECEF).

Si potrebbe allora concludere, giunti a questo punto, che il GPS non solo non misura la quota ortometrica, ma nemmeno quella ellissoidica. Tuttavia le coordinate cartesiane dei punti non sono riferite ad assi qualsiasi, ma sono ellissocentriche, dunque si riferiscono alla terna che è associata in modo naturale ad un ellissoide. È allora possibile proiettare i punti rilevati sull'ellissoide oppure, in altre parole ma con identico significato, convertire le coordinate cartesiane ellissocentriche in geografiche ellissoidiche.

Dunque il GPS determina in prima istanza le coordinate cartesiane dei punti rilevati ma, per la speciale relazione che intercorre fra la terna cartesiana adottata e l'ellissoide, è agevole, si tratta di una questione puramente matematica, ricavare da esse l'altezza ellissoidica.

È interessante individuare i meccanismi che forzano le coordinate cartesiane ad essere ellissocentriche. Senza addentrarci in dettagli che esulano dallo scopo della presente nota, ci pare che vi siano due elementi principali: le coordinate dei punti noti inserite nella rete devono essere riferite alla terna cartesiana ellissocentrica e la stessa cosa deve valere per le informazioni contenute nelle effemeridi.

Del tutto diverso è il discorso relativo alla quota ortometrica, misurata rispetto al geoide. La situazione è illustrata dalla Figura 1: la quota ortometrica del punto P , indicata con H o Q , è la distanza fra P e B , misurata lungo la linea (curva) indicata, caratterizzata dall'aver la tangente parallela alla gravità in ogni punto. L'altezza ellissoidica è la lunghezza del segmento \overline{PC} , passante per P e ortogonale all'ellissoide. Il segmento e la linea da a sono manifestamente non paralleli in per evidenziare che esiste la deviazione della verticale: le superfici geoide ed ellissoide non sono parallele, dunque le linee passanti per e normali ad esse sono pure non parallele.

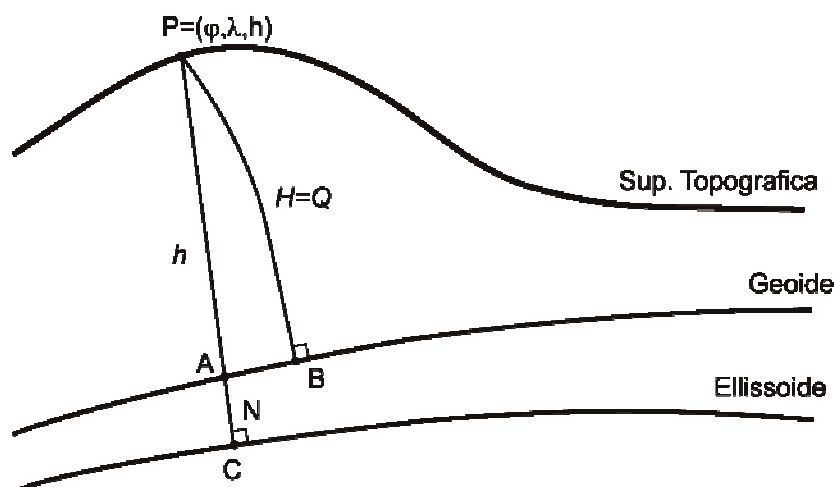


Figura 1 – Altezza ellissoidica e quota ortometrica.

Non vi è alcun rapporto, a priori, fra ellissoide e geoide, tuttavia è possibile ricostruire empiricamente la posizione relativa delle due superfici, mediante misure: è il grande tema dei **modelli di ondulazione geoidica**. I dati necessari per calcolare tale modelli possono essere acquisiti in modo diversi: misure di punti altimetrici doppi, rilevati con GPS e livellazioni, misure gravimetriche, oppure anche osservazioni ottenute da satelliti artificiali.

L'uso di tali modelli è basato sulla semplificazione indicata nella parte sinistra della Figura 1, che consiste nell'approssimare la quota ortometrica con la lunghezza del segmento \overline{PA} ($Q \equiv \overline{PA}$) per cui si può scrivere

$$Q = h - N \quad (1)$$

La compatibilità numerica della semplificazione è discussa in alcuni degli articoli indicati in bibliografia. L'**ondulazione geoidica** $N = N(\varphi, \lambda)$ è una funzione del posto. Esistono diversi modelli di ondulazione geoidica; ve ne sono di globali, come EGM96 o Geoid03, e ve ne sono anche di locali, nel senso che sono ottimizzati per alcune aree: si veda il sito www.ngs.noaa.gov/geoid per una rassegna. In Italia il gruppo del prof. Sansò ha progressivamente perfezionato il modello ItalgeoXX; la versione Italgeo99 è stata usata dal IGM per la preparazione dei grigliati usati dal programma Verto. Recentemente è stata definita una nuova versione, denominata Italgeo2005 e, negli ultimi mesi, IGM ha reso disponibili i nuovi grigliati determinati con il modello 2005. Lo studio presentato nelle pagine seguenti riguarda il modello Italgeo99.

L'uso di un modello di ondulazione geoidica consente di effettuare la livellazione GPS, cioè di determinare le quote ortometriche dei punti misurati con GPS. In pratica, le coordinate $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ dei punti rilevati vengono caricate in un programma che calcola, per ogni posizione (φ_k, λ_k) , l'ondulazione geoidica N_k e determina per sottrazione la quota Q_k , seguendo la (1).

3. LA RETE GEODETICA DELLA PROVINCIA DI PAVIA

La Provincia di Pavia ha realizzato, negli anni 2002-2003, una rete GPS di raffittimento su tutto il territorio provinciale. Tale lavoro è stato progettato e realizzato prima che una analoga rete venisse creata dalla Regione Lombardia. Fortunatamente è stato possibile, almeno in una elevata percentuale dei casi, integrare le due reti e non sovrapporle.

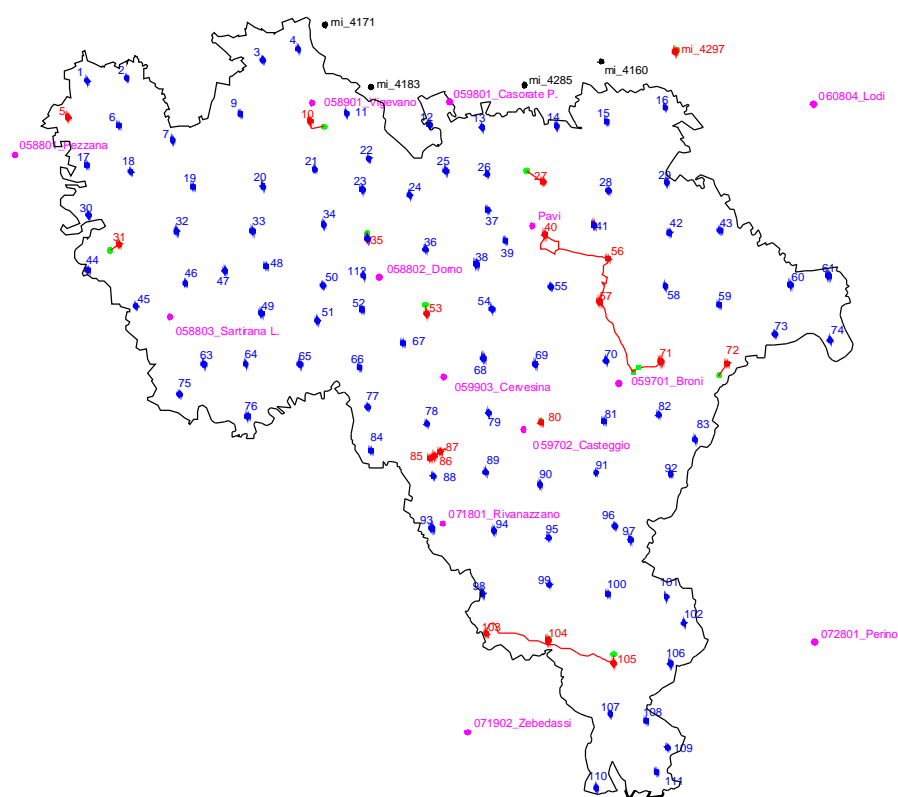


Figura 2 – La rete della Provincia di Pavia; in blu i vertici semplici, in rosso quelli livellati, in verde i capisaldi IGM, in magenta i vertici IGM95 ai quali la rete è stata connessa.

3.1 La rete della Provincia di Pavia

La rete GPS della Provincia di Pavia è costituita da 128 vertici così suddivisi:

- 110 vertici di nuova istituzione;
- 12 vertici IGM95;
- il punto PAVI materializzato dalla stazione GPS permanente gestita dal Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia;
- 5 vertici della rete della Provincia di Milano, inseriti per garantire omogeneità fra la rete pavese e quella milanese.

La rete è stata rilevata mediante la misura di 333 basi. Il calcolo della basi è stato effettuato con il programma Trimble TGO e la compensazione è stata effettuata con il programma Columbus della Best-Fit computing (www.bestfit.com).

La rete è stata anzitutto compensata a minimi vincoli tenendo fisso il vertice PAVI; successivamente è stata applicata una rototraslazione nello spazio per ottenere il miglior accordo fra le coordinate intrinseche (ottenute dalla compensazione) e quelle nominali, per i 12 vertici IGM95 inseriti nelle rete. La Tabella 1 riassume i valori minimi, massimi e medi per le tre componenti della deviazione standard delle coordinate dei punti compensati.

σ	e [m]	n [m]	u [m]
Min	0,004	0,004	0,005
Max	0,010	0,011	0,015
Media	0,006	0,007	0,008

Tabella 1 – Sintesi sui valori di σ per le diverse componenti delle coordinate determinate nella compensazione a minimi vincoli; le coordinate sono cartesiane localmente tangenti.

3.2 La componente altimetrica

Diciannove vertici delle rete sono stati quotati con livellazione geometrica della massima precisione; essi coprono in modo omogeneo tutto il territorio della Provincia. Per la loro misura sono state realizzate 13 linee di livellazione che connettono i 19 vertici con capisaldi IGM, per un totale di circa 120 km.

L'affidabilità dei capisaldi IGM impiegati è stata oggetto di attenzione: sono stati usati capisaldi appartenenti a linee attive e frequentemente mantenute in tutti i casi in cui ciò era ragionevolmente possibile, mentre in altre situazioni è stato necessario connettersi a capisaldi appartenenti a vecchie linee di livellazione. Il fatto che le informazioni geodetiche presenti in un territorio non abbiano tutte la stessa affidabilità e lo stesso grado di manutenzione è un annoso problema che, tra l'altro, devono affrontare anche coloro che elaborano i modelli di ondulatione geoidica. Limitarsi a considerare i dati certamente affidabili limita troppo la densità delle informazioni disponibili, dunque si cerca di usare tutte le informazioni e di effettuare una attenta ricerca degli outlier. Nel caso in questione, il buon accordo fra le quote determinate sul campo e quelle ottenute dal modello geoidico impiegato, dimostra la buona qualità del modello ed evidenzia inoltre la mancanza di errori grossolani nei risultati della livellazione.

Le linee rilevate sono state compensate con Columbus. In molti casi le linee sono semplicemente costituite da anelli misurati in andata e ritorno e comprendono un solo caposaldo IGM e un solo vertice di rete. Altre linee hanno una struttura più complessa e comprendono più capisaldi IGM e/o più vertici di rete. Una sintesi dei risultati ottenuti nella compensazione è data dalla Tabella 2.

	σ_Q [m]
Min	0,00001
Max	0,01179
Media	0,00317

Tabella 2 – Sintesi di valori di σ per le quote dei 19 vertici di rete che sono stati livellati.

4. VALIDAZIONE DEL MODELLO GEOIDICO ITALGEO99

I 19 vertici di rete livellati sono punti altimetrici doppi in quanto per essi sono disponibili

- le quote Q_i^L ottenute da livellazione;
- le quote Q_i^M ottenute dal modello di ondulatione geoidica Italgeo99.

Ciò consente di stimare la qualità delle seconde per confronto con le prime, certamente più precise, formando le differenze

$$\Delta Q_i = Q_i^M - Q_i^L$$

i cui principali parametri statistici sono raccolti nella tabella seguente

	ΔQ [m]
Min	-0.077
Max	0.095
Media	0.005
Sqm	0.040
Eqm	0.040
N° punti	19

Tabella 3 – Analisi statistica delle differenze fra le quote ottenute dal modello Italgeo99 e dalla livellazione geometrica.

La Tabella 3 sintetizza il confronto fra le quote ottenute dal modello Italgeo99 e quelle determinate con la livellazione. Lo scarto più grande è, in valore assoluto, di 9.5 cm; vi è sostanziale assenza di sistematismi, in quanto la media degli scarti è di 5 mm; l'errore quadratico medio è infine di 4 cm. Si tratta di risultati molto buoni, migliori di quelli dichiarati per il modello Italgeo99, che confermano come la livellazione GPS possa essere effettuata con buoni risultati.

4.1 Ricerca degli outlier

Il punto *repv_5* ha uno scarto di 9.5 cm e potrebbe essere un outlier. Poiché *repv_5* è stato connesso mediante livellazione a un caposaldo di vecchia istituzione, è essenziale discutere con rigore la questione. A tal fine è stato calcolato l'intervallo di confidenza I_{5M} con tecniche di statistica robusta; il centro è uguale alla mediana dei valori ΔQ_i (la mediana è uno stimatore robusto della media) e la semi-lunghezza è di 5 MAD (Mean Absolute Deviation). L'intervallo in questione è

$$I_{5M} = [-0.10, 0.12]$$

e il residuo del punto *repv_5*, pari a 0.095 m, cade al suo interno: non vi è evidenza che *repv_5* sia un outlier.

Per un campione normale vale l'equivalenza

$$\sigma = 1.3 \text{ MAD}$$

dunque l'intervallo di confidenza considerato ha una semi-lunghezza di poco inferiore a 4σ . Avremmo potuto prendere in considerazione intervalli meno ampi, ma in generale riteniamo che fare reiezione degli outlier con intervalli troppo stretti sia un modo per rendere i dati artificialmente buoni.

5. LOCALIZZAZIONE DEL MODELLO GEOIDICO

Le sezioni precedenti hanno evidenziato che la livellazione GPS è capace di una precisione interessante, ma certamente minore di quella della livellazione geometrica: il confronto fra la Tabella 2 e la Tabella 3 evidenzia una differenza di circa un ordine di grandezza. È interessante valutare se tale performance sia in qualche modo migliorabile mediante la localizzazione.

Per localizzazione si intende l'adattamento del modello di ondulazione geoidica, che viene calcolato per un territorio esteso, come potrebbe essere l'Italia, a una regione limitata, ad esempio la Provincia di Pavia.

La localizzazione può essere effettuata se si dispone di un modello di ondulazione geoidica e di un piccolo numero di punti doppi altimetrici (misurati con GPS e anche con livellazione), 4 o 5 per esempio. Un tale numero non consente di generare ex-novo un modello locale di ondulazione geoidica, a meno che la zona considerata abbia una estensione lineare di pochi chilometri, ma permette di localizzare un modello di ondulazione geoidica esistente, cioè adattarlo all'area abbracciata dai punti doppi.

5.1 Il formalismo della localizzazione

Le relazioni che sono alla base della localizzazione vengono riassunte per comodità. Esiste la funzione

$$N(e, n)$$

che esprime l'ondulazione geoidica N come funzione della posizione. Le coordinate cartografiche Est e Nord sono state indicate come (e, n) per evitare bisticci nelle notazioni, ma non si tratta di coordinate locali. Per il generico punto P , rilevato con GPS, si conoscono le tre coordinate

$$P = (e_k, n_k, h_k) \quad (2)$$

Fra la quota ortometrica e l'altezza ellissoidica esiste la relazione

$$Q_k = h_k - N(e_k, n_k) \quad (3)$$

In generale, un modello di ondulazione geoidica non fornisce esattamente la funzione $N(e, n)$, ma una sua approssimazione $\tilde{N}(e, n)$. Note le coordinate (2) del punto P , la sua quota approssimata può essere calcolata usando il modello di ondulazione geoidica, cioè la funzione $\tilde{N}(e, n)$

$$\tilde{Q}_k = h_k - \tilde{N}(e_k, n_k)$$

Non è evidentemente possibile determinare la sua quota vera, con la (3), perché l'ondulazione geoidica vera non è nota.

Gli aggettivi vero e approssimato vengono usati in questa nota in modo che potrebbe dispiacere agli specialisti del Trattamento delle Osservazioni, che sanno, come gli autori del resto, che le misure non forniscono valori veri, ma solo stime migliori o peggiori. Ci pare tuttavia che le scelte lessicali fatte aiutino il lettore a fissare le idee e a non lasciarsi confondere dalle molte grandezze in gioco.

I rapporti fra la funzione $N(e, n)$ e la sua approssimazione possono essere formalizzati introducendo la funzione di errore $\Delta N(e, n)$

$$\Delta N(e, n) = \tilde{N}(e, n) - N(e, n) \quad (4)$$

In generale $\Delta N(e, n)$ non è nota, ma è lecito pensare che, su estensioni limitate, abbia una forma analitica semplice. Si può dunque porre

$$\Delta N(e, n) = a e + b n + c \quad (5)$$

Riassumendo, per ogni punto misurato con GPS si conoscono

- le coordinate cartografiche (e_k, n_k, h_k) , derivanti da misure GPS;
- l'ondulazione geoidica approssimata $\tilde{N}_k = \tilde{N}(e_k, n_k)$, nota dal modello di ondulazione geoidica;
- la quota approssimata $\tilde{Q}_k = h_k - \tilde{N}(e_k, n_k)$, determinata con il modello di ondulazione; tale quota ha in genere una qualità minore di quella ottenibile con livellazione geometrica.

Per ogni punto doppio, rilevato con GPS e livellazione geometrica, si conoscono

- le coordinate cartografiche (e_i, n_i, h_i) , determinate con GPS;
- la quota ortometrica vera Q_i , determinata con livellazione geometrica;
- l'ondulazione geoidica vera, ottenuta formando la differenza $N_i = N(e_i, n_i) = h_i - Q_i$;

- l'ondulazione geoidica approssimata, desunta dal modello $\tilde{N}_i = \tilde{N}(e_i, n_i)$;
- il valore della funzione errore $\Delta N(e, n)$ in prossimità del punto i -esimo,

$$\Delta N_i = \Delta N(e_i, n_i) = \tilde{N}_i - N_i.$$

A partire dalla (5), si può scrivere un'equazione per ogni punto doppio

$$\Delta N_i = a e_i + b n_i + c \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

in cui gli unici elementi incogniti sono i coefficienti (a, b, c) . Il sistema di equazioni (6) può essere risolto ai minimi quadrati, determinando una stima della funzione errore

$$\widehat{\Delta N}(e, n) = \hat{a}e + \hat{b}n + \hat{c}$$

Si noti che la stima $\widehat{\Delta N}(e, n)$ è indicata con altra simbologia rispetto alla vera funzione $\Delta N(e, n)$: $\widehat{\Delta N}$ non coincide con ΔN ma la approssima e tale approssimazione è buona se posizione, densità e qualità di misura dei punti doppi sono adeguate. A partire da $\widehat{\Delta N}(e, n)$, si può definire un nuovo modello di ondulazione geoidica

$$\hat{N}(e, n) = \tilde{N}(e, n) - \widehat{\Delta N}(e, n) \quad (7)$$

che costituisce -per la sola zona all'interno dei punti doppi- una approssimazione di $N(e, n)$ migliore di $\tilde{N}(e, n)$.

Il nuovo modello (7) può essere applicato a tutti i punti misurati solo con GPS, ottenendo una nuova quota

$$\hat{Q}_k = h_k - \hat{N}(e_k, n_k) \quad (8)$$

migliore di \tilde{Q}_k .

5.2 Validazione del geoido localizzato

In linea di principio la localizzazione garantisce un incremento della precisione del modello geoidico, a condizione che le misure usate per calcolarla siano adeguate. In termini pratici, è necessario valutare se l'incremento ottenibile sia significativo.

Se gli scarti fra il modello vero $N(e, n)$ e quello approssimato $\tilde{N}(e, n)$ sono di natura puramente accidentale, la localizzazione non porterà alcun beneficio; se al contrario le differenze contengono una componente sistematica, non necessariamente costante, la localizzazione ne neutralizzerà almeno una parte, dando così un beneficio. Si può anche affermare che la consistenza numerica delle correzioni apportate dalla localizzazione evidenzia la presenza nel modello $\tilde{N}(e, n)$ di sistematismi non modellati e manifesta i margini di miglioramento che un modello di ondulazione geoidica possiede.

Per verificare se la localizzazione garantisca effettivamente dei benefici significativi, sono stati ancora usati i dati della Provincia di Pavia. I 19 punti doppi sono anzitutto stati suddivisi in due insiemi disgiunti: 5 da usare per la stima della funzione $\Delta N(e, n)$ e i rimanenti 14 per la validazione. I 5 punti usati per la stima sono posizionati come indicato dalla Figura 3, 4 in posizione perimetrale e 1 baricentrico. Si noti che non è stato usato il punto *repv_5*, che pure è in posizione perimetrale, per la sua dubbia qualità.

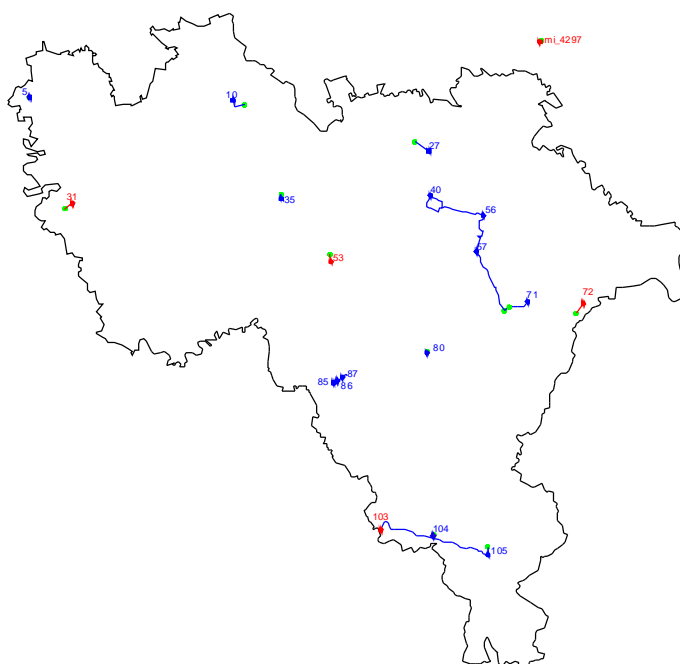


Figura 3 – I punti doppi altimetrici e quelli usati per il calcolo della localizzazione del geoide, in rosso.

Per garantire omogeneità nella comparazione, è stata effettuata una seconda volta la validazione del puro modello Italgeo99, limitata ai soli 14 punti, i cui risultati sono riassunti dalla Tabella 4.

	$Q_i^M - Q_i^L$ [m]
Min	-0.077
Max	0.095
Range	0.172
Media	0.005
Sqm	0.043
Eqm	0.044
N° punti	14

Tabella 4 – Validazione del modello Italgeo99 sui 14 punti non usati per il calcolo della localizzazione.

Le quote ottenute applicando il modello Italgeo99 localizzato sono indicate con Q_i^{ML} . Le loro proprietà statistiche, ottenute per confronto con quelle ottenute dalla livellazione, Q_i^L sono

	$Q_i^{ML} - Q_i^L$ [m]
Min	-0.045
Max	0.066
Range	0.111
Media	0.004
Sqm	0.029
Eqm	0.029
N° punti	14

Tabella 5 – Validazione del modello Italgeo99 localizzato.

La media resta inalterata, il range è ridotto al 65% e lo sqm è ridotto al 67%: indubbiamente la localizzazione ha prodotto benefici significativi.

È interessante fare un'ultima considerazione. Si potrebbe osservare che, certo, la localizzazione garantisce un miglioramento della precisione della livellazione GPS, ma il prezzo da pagare è l'effettuazione di misure di livellazione geometrica. Il vantaggio sta nella proporzione: i punti doppi richiesti sono pochi e i punti che beneficiano della localizzazione, quelli misurati solo con GPS, possono essere centinaia o migliaia; nel caso di riprese lidar (assimilabili, per quanto riguarda il sistema di riferimento delle coordinate prodotte, a misure GPS) i punti sono addirittura milioni.

5.3 Conclusioni sulla livellazione GPS e sulla localizzazione

È stato dimostrato che la livellazione GPS, realizzata attraverso l'uso del modello di ondulazione geoidica Italgeo99, dà risultati molto buoni in termini di accuratezza, sul territorio della Provincia di Pavia. Bisogna considerare tuttavia che in Italia sono presenti zone più ostiche, sulle quali le accuratezze raggiungibili sono meno buone.

La localizzazione consente di migliorare in modo significativo l'accuratezza, il che evidenzia che vi sono margini di miglioramento. Tale potenzialità è stata presumibilmente sfruttata nel lavoro che ha portato alla definizione di Italgeo2005, la cui qualità verrà analizzata in una prossima pubblicazione.

Ci pare si possa concludere che la livellazione GPS, se ben realizzata, consente di determinare le quote ortometriche con una qualità compatibile con la gran parte delle applicazioni. Le necessità di fare livellazione geometrica si pone solo in poche nicchie applicative.

BIBLIOGRAFIA

- F. Radicioni, D. Sguerso "L'altimetria con il GPS" - Bollettino SIFET, n. 3, (1992), pagg. 51-77, ISSN 0392 4424.
- A. Cina, G. Comoglio, A. Manzano "Misure topografiche classiche e misure GPS per l'inquadramento di una rete in cartografia" - Bollettino SIFET, n. 1, (1994), pagg. 101-121, ISSN 0392 4424.
- F. Guzzetti, L. Pinto, A. Trebeschi "Il rilevamento con metodologia GPS di una rete di inquadramento piano-altimetrica per un sistema informativo territoriale" - Bollettino SIFET, n. 3, (1994), pagg. 197-219, ISSN 0392 4424.
- B. Marana, D. Sguerso "Il controllo GPS e la correzione del geoide mediante osservazioni GPS" - Bollettino SIFET, n. 1, (1996), pagg. 121-143, ISSN 0392 4424.
- R. Barzaghi, F. Guzzetti, L. Pinto "Problemi connessi all'utilizzo di reti GPS per l'inquadramento altimetrico della cartografia a grande scala" - Bollettino SIFET, n. 1, (1998), pagg. 17-36, ISSN 0392 4424.
- B. Betti, V. Casella, A. Manzano, L. Pinto, A. Spalla, V. Tornatore "Trattamento dei dati GPS e datum altimetrico" - Atti della IV Conferenza ASITA, Vol. I, pagg. 189-190, Genova, 3-6 ottobre (2000).