

CALIBRAZIONE DI ALCUNI MODELLI DI GEOIDE NELL'AREA DEI COLLI ALBANI (ROMA)

**Valerio BAIOCCHI (*), Paola CAPALDO (*), Mattia CRESPI (*),
Marco MEZZAPESA (**), Grazia PIETRANTONIO (***)**

(*) DITS - Area Geodesia e Geomatica, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Roma,
tel. +390644585068, fax +390644585515, e-mail: valerio.baiocchi@uniroma1.it

(**) Libero professionista, Via di Boccea 276, 00167 Roma, e-mail: marcomezzapesa@libero.it

(***) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma,
tel. +390651860660, fax +39065041303, e-mail: pietrantonio@ingv.it

Riassunto

Alcuni modelli di geoide usati per calcolare le quote ortometriche di punti di cui è disponibile la sola quota ellissoidica possono presentare scostamenti sistematici di diversi centimetri rispetto ai valori di ondulazione assunti come corretti in un ben definito sistema di riferimento (ad esempio quello nazionale) a causa di lievi differenze tra le materializzazioni dei sistemi di riferimento nei quali essi sono implicitamente calcolati e quella del sistema di riferimento nazionale. Per ridurre tali scostamenti sistematici essi possono vantaggiosamente essere adattati a punti di ondulazione nota mediante un processo di calibrazione. Tale opzione è stata implementata all'interno di un software commerciale e con esso sono stati valutati i miglioramenti ottenibili dai modelli Italgeo95 ed Italgeo99 rispetto al modello Italgeo05 che viene considerato come riferimento.

Abstract

Geoid models used to estimate orthometric heights of points of known ellipsoidal heights may show systematic errors up to many centimeters in comparison to the values of undulation assumed as correct in a well defined reference system (for instance the national one) because of light differences among the materializations of the reference systems in which they are implicitly calculated and the materialization of the national reference system. For such reason the models can advantageously be suited regarding points of known undulation through a process of calibration. Such option has been implemented in a commercial software and the achievable improvements of Italgeo95 and Italgeo99 models with respect to Italgeo05 model, considered as a reference, have been evaluated.

Introduzione

La possibilità di trovare modelli che approssimino al meglio l'andamento del geoide è divenuta negli ultimi anni una questione di particolare interesse per la sempre maggiore diffusione delle tecniche di misura GPS. Queste ultime infatti restituiscono quote ellissoidiche dei punti rilevati, che, per molte applicazioni, devono essere convertite in quote ortometriche. Esistono diversi modelli di geoide per il territorio nazionale, alcuni liberamente disponibili come Italgeo95, altri disponibili a pagamento come Italgeo99 e Italgeo05.

Il modello Italgeo95, come altri modelli di geoide, è in realtà un "quasi-geoide" (Barzaghi et al., 2001), ricavato principalmente da misure gravimetriche. Tale scostamento sistematico può essere ridotto conoscendo con grande precisione l'ondulazione del geoide di alcuni punti nella zona di studio; il geoide può infatti essere "adattato" localmente rispetto a questi punti, in questo caso si parla di calibrazione del geoide (Fig. 1).

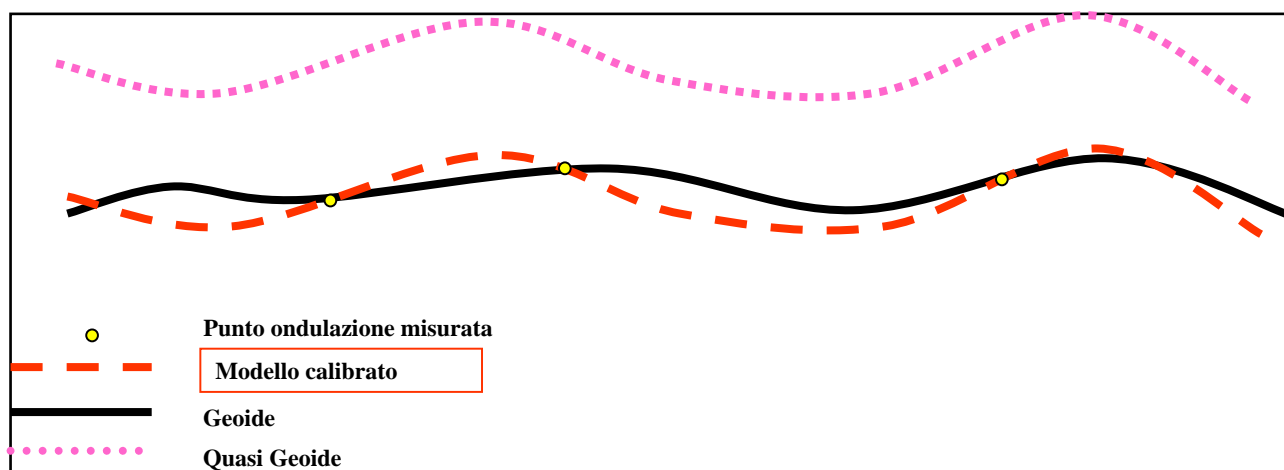


Figura 1 - Calibrazione dei modelli di geoide

All'interno del software *Geotrasformer* (Baiocchi et al., 2007) è stata implementata una routine scientifica che permette di calibrare i modelli di geoide più diffusi in Italia: Italgoe95, Italgoe99, Italgoe05. Avendo a disposizione, per la zona dei Colli Albani, i dati di tutti e tre i modelli ed una serie di linee di livellazione di alta precisione rilevate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel novembre 2006, si è deciso di eseguire un'apposita campagna di rilievo GPS.

Dapprima sono stati selezionati alcuni punti, tra quelli interessati dalle livellazioni, idonei ad essere stazionati con ricevitori GPS ed uniformemente distribuiti sull'area in esame; nella Fig. 2 è riportata la collocazione dei punti rispetto alle principali strade ed ai laghi presenti nell'area.

I punti così individuati sono stati misurati mediante ricevitori GNSS doppia frequenza *Topcon* modello *Legacy-E*, ogni singolo punto è stato stazionato per 30 minuti ed i dati così ottenuti sono stati differenziati rispetto alla stazione permanente MOSE. Conoscendo le quote ortometriche dei punti, ricavate dalla livellazione dell'INGV, ed avendo misurato quelle ellissoidiche, si è potuto calcolare l'ondulazione locale del geoide.

Tali punti ad ondulazione nota sono quindi stati utilizzati per verificare quali miglioramenti si possono ottenere applicando l'algoritmo di calibrazione che stima una traslazione (verticale) e due rotazioni su assi ortogonali alla verticale ed ortogonali tra loro, ovvero è in grado di rimuovere un effetto sistematico rappresentabile con un piano. Per tale ragione è sufficiente disporre di almeno tre punti, anche se è ovviamente necessario disporre di un numero sovrabbondante di punti per poter ottenere una stima affidabile.

Il primo controllo per verificare la corretta esecuzione dell'algoritmo di calibrazione è stato fatto sui punti oggetto della campagna di rilievo GPS.

Sui sette punti misurati, note le quote ellissoidiche, e quelle ortometriche, è stata valutata l'ondulazione che poi è stata utilizzata per una prima calibrazione: questo perché si è voluta escludere la presenza di errori grossolani nella campagna di rilievo. La Tab. 3 riporta i parametri statistici.

I risultati sembrano escludere la presenza di errori grossolani, quindi si è proceduto al confronto delle ondulazioni misurate con quelle stimabili rispetto ai modelli disponibili. Da tali risultati preliminari sembrerebbe che il modello Italgoe95 calibrato sui sette punti sia quello che presenta il miglior accordo con i punti misurati. Questo non deve stupire in quanto stiamo verificando il modello sui punti stessi che lo hanno definito e quindi ne stiamo sicuramente sovrastimando l'accuratezza: a tal fine si noti che la media risulta essere nulla perché il modello è stato adattato ai punti stessi mediante i minimi quadrati. Si può inoltre notare come l'accordo tra le ondulazioni stimate e quelle calcolate con i due modelli Italgoe99 ed Italgoe05, sia decisamente migliore rispetto a quello medio dichiarato dall'IGM per tali modelli: ciò ci induce ad immaginare che la

zona in esame sia particolarmente “fortunata” ovvero che, probabilmente a causa della vicinanza a linee di livellazione di importanza nazionale, i modelli siano più accurati in questa area rispetto ai valori medi nazionali.

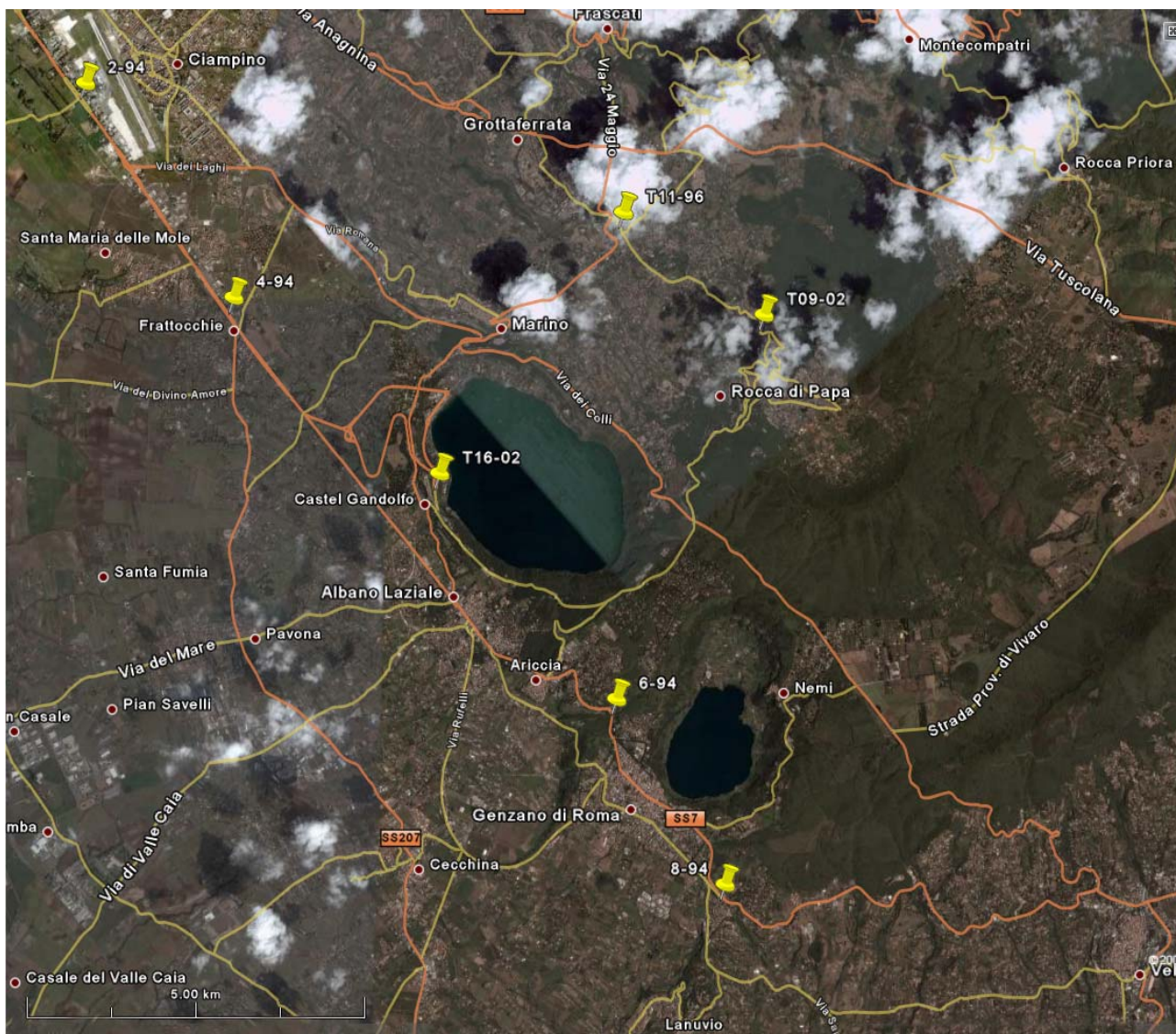


Figura 2 - Vista schematica della collocazione dei punti (base Google Earth©)

	$H_{\text{mis}}-H_{\text{IG95}}$	$H_{\text{mis}}-H_{\text{IG95cal}}$	$H_{\text{mis}}-H_{\text{IG99}}$	$H_{\text{mis}}-H_{\text{IG05}}$
Media	0.75	0.00	0.00	-0.01
Mediana	0.75	-0.01	0.01	0.00
Dev. Standard	0.02	0.02	0.03	0.03
Max.	0.79	0.03	0.05	0.04
Min.	0.71	-0.02	-0.04	-0.06
Media Assoluta	0.75	0.02	0.03	0.03

Tabella 3 - Calibrazione sui 7 punti misurati, differenze espresse in metri

Questa considerazione ci suggerisce che potrebbe essere necessario ripetere tali prove in differenti zone del territorio nazionale onde avere un risultato di maggiore valenza.

Per evitare di sovrastimare l'accuratezza del modello Italgeo95 calibrato verificandolo sui punti già usati per la sua stessa calibrazione, si è deciso di ripetere la prova precedente utilizzando solo quattro punti per la calibrazione ed utilizzando i rimanenti tre come verifica indipendente sugli stessi punti:

Oltre ad una tabella simile a quella già riportata per la precedente prova (Tab.5), data l'esiguità dei valori (tre punti), si è ritenuto che avesse senso anche riportare un grafico a barre rappresentante i valori di differenza (Fig. 4).

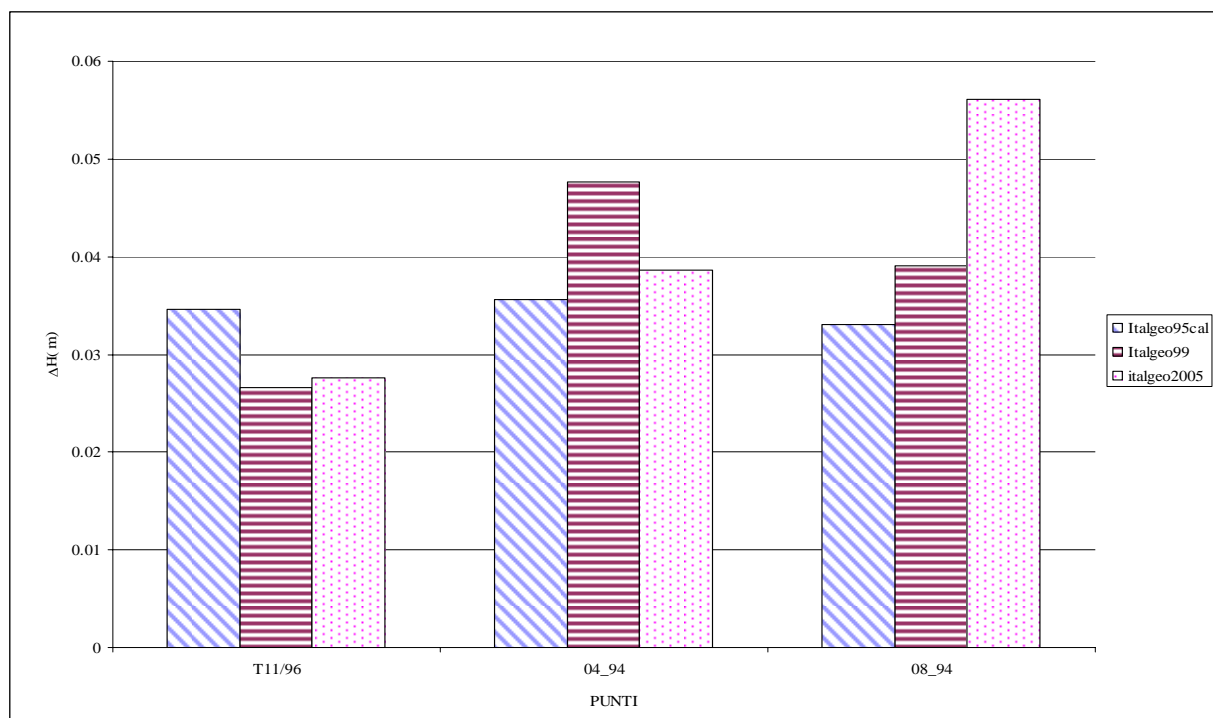


Figura 4 – Valori assoluti delle differenze tra valori misurati e valori stimati dai vari modelli

	$H_{IG95cal}-H_{mis}$	$H_{IG95}-H_{mis}$	$H_{IG99}-H_{mis}$	$H_{IG05}-H_{mis}$
Media	-0.01	0.74	-0.01	-0.02
Mediana	-0.03	0.72	-0.03	-0.03
Dev. Standard	0.03	0.03	0.04	0.04
Max.	0.04	0.79	0.05	0.04
Min.	-0.04	0.71	-0.04	-0.06
Media Assoluta	0.03	0.74	0.04	0.04

Tabella 5 - Calibrazione su 4 punti GPS, verificata sui rimanenti 3, differenze espresse in metri

Come è facile notare dal grafico il quasi-geoide Italgeo95 calibrato ha un margine di errore nel calcolare la quota ortometrica dello stesso ordine di grandezza degli altri modelli più recenti. I risultati sembrerebbero molto lusinghieri ed in un certo senso vanno oltre le previsioni attese in funzione delle precisioni stimabili dai punti della campagna GPS e del loro numero; bisogna però ricordare che, data l'esiguità dei punti misurati e la localizzazione in un'area probabilmente non significativa rispetto ai valori medi nazionali, non è possibile considerare questi risultati come una vera e propria statistica ma solo come un primo confronto.

Da ultimo si è voluto valutare il valore degli scostamenti tra le ondulazioni stimate in base al modello Italgeo95 calibrato sui sette punti ed i due rimanenti modelli non calibrati su una griglia

regolare di punti ricadenti nel foglio di Albano della cartografia IGM a scala 1:50000: questo sempre al fine di valutare l'accuratezza in maniera indipendente dai valori misurati (Tab. 6).

Si può notare che gli scarti tra le quote calcolate con Italgeo95 calibrato e Italgeo05 sono molto ridotti con dispersione bassissima e valori minimo e massimo molto contenuti.

Da questa prima verifica sembrerebbe che la calibrazione porti il modello Italgeo95 molto più vicino a Italgeo05 di quanto non lo sia Italgeo99 che da indicazioni fornite dall'IGM risulterebbe non calibrato. Bisogna comunque anche qui sottolineare che si tratta solo di una prova preliminare eseguita in una sola area test e quindi con ridotta significatività statistica.

	$H_{IG95cal}-H_{IG99}$	$H_{IG95cal}-H_{IG05}$
Media	0.04	0.01
Mediana	0.04	0.01
Dev. Standard	0.02	0.02
Max.	0.08	0.04
Min.	-0.01	-0.03
Media Assoluta	0.04	0.01

Tabella 6 - Confronto tra Italgeo95 calibrato ed i rimanenti modelli su una griglia di punti regolare, valori espressi in metri.

Conclusioni e prospettive future

La calibrazione dei modelli di geoide è operazione relativamente semplice ma che porta miglioramenti significativi nella stima dei valori di ondulazione. In particolare il modello Italgeo95, di libera distribuzione, opportunamente calibrato su alcuni punti misurati, porta a stime vicine a quelle dei modelli ufficiali Italgeo99 ed Italgeo05. Questi risultati preliminari vanno comunque considerati solo come una indicazione ed ulteriori approfondimenti anche in altre aree del territorio nazionale sono necessari per poter meglio valutare i limiti di questo approccio. Si può comunque affermare che utilizzando tale procedura si possono stimare valori di ondulazione con differenze di alcuni centimetri rispetto ai valori forniti dalle trasformazioni ufficiali. Tali valori rendono tale metodologia adatta per varie applicazioni e risultano in linea con le precisioni planimetriche offerte dallo stesso pacchetto software (Baiocchi et al., 2007).

Interessa ora ampliare l'indagine in zone più estese e che rappresentino meglio la variabilità geomorfologica del territorio nazionale.

Essendo stata inoltre recentemente implementata nel software *Geotransformer* la possibilità di calibrare anche i modelli Italgeo99 ed Italgeo05, sarebbe di particolare interesse svolgere delle campagne di misura atte a verificare i miglioramenti ottenibili su tali modelli. Si deve però osservare che date le precisioni e le accuratezze di questi due modelli, in particolare di Italgeo05, tali prove avranno senso solo se le campagne di misura verranno svolte in modalità tali da garantire le massime precisioni tecnicamente ottenibili.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'ing. Francesca Pieralice per l'assistenza durante la campagna di rilievo GPS.

Bibliografia

V. Baiocchi, P. Capaldo, M. Mezzapesa, P. Saburri (2007), "Verifica e validazione di un nuovo software per le trasformazioni di datum altimetrici e planimetrici in ambito nazionale", *in questo stesso volume*.

R. Barzagli, B. Betti, A. Borghi, V. Tornatore, G. Sona (2001), "Ulteriori sviluppi nella stima del quasi-geoide italiano e future prospettive", *Atti XVIII Convegno Nazionale GNGTS*.

Siti web

http://www.igmi.org/pdf/repertorio/prodotti_geodesia.pdf