

## RAFFINAMENTO DELLA STIMA DEL GEOIDE SU ALCUNE AREE DELLA REGIONE ABRUZZO

Valerio BAIOCCHI (✉), Filippo DEL GUZZO (\*), Grazia PIETRANTONIO (✉)

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

(\*\*) Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica – 67040 Monteluco di Roio  
tel +39 0862434118, email: delguzzo@dau.ing.univaq.it

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

### Riassunto

In precedenti comunicazioni era stato esposto come la calibrazione di modelli di geoide può significativamente migliorare le stime delle correzioni delle quote. Dei tre modelli disponibili in Italia (Italgeo95, Italgeo99, Italgeo 05) da primi studi sembrava di poter affermare che il modello che ha maggiori benefici dalla calibrazione sia Il talgeo 95 portando i risultati da esso estrapolati molto vicini alle caratteristiche degli altri due disponibili solo a pagamento. Le prime sperimentazioni furono eseguite nella zona dei Colli Albani, area vulcanica sotto costante monitoraggio da parte dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Per questa ragione, poiché l'attività della rea potrebbe rendere meno accurata la determinazione dell'ondulazione, si è deciso di testare i risultati di prove analoghe su altre aree ove fossero disponibili adeguati dati altimetrici, quali quelli realizzati dalla Regione Abruzzo e liberamente disponibili. Scopo della presente comunicazione è approfondire l'indagine con ulteriori confronti su un numero di misure decisamente superiore e valutare se anche i modelli Italgeo99 ed Italgeo05 possano incrementare la loro precisione ed accuratezza mediante il procedimento di calibrazione, possibilità non investigata in precedenti contributi.

### Abstract

In precedents communications we demonstrated that calibration of geoid models can improve the estimation of height corrections. Of the three available models in Italy (Italgeo95, Italgeo99, Italgeo 05) from first studies it seemed that the model that has greater benefits from the calibration is the Italgeo 95 bringing its results very near to the characteristics of the others two only commercially available. The first experiments were performed in the zone of the Colli Albani, volcanic area under constant monitoring from the National institute of Geophysics and Volcanology (INGV). For this reason, since the activity of the area could make the determination of the undulation less accurate, we decided to repeat analogous tests on other areas they were available suitable altimetric data, as those realized by the Region Abruzzo and freely available. Purpose of the present communication is to deepen the investigation with further comparisons on a number of measures superior and to appraise if also the models Italgeo99 and Italgeo05 can increase their precision and accuracy through the procedure of calibration, possibility not investigated in precedents contributions.

## 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 misurati, che per molte applicazioni devono essere convertite in quote ortometriche. Sono disponibili diversi modelli di geoide a livello nazionale, i quali, però, non sempre localmente portano ad accurate stime di quote ortometriche.

I modelli utilizzati per stimare l'andamento dell'ondulazione del Geoide possono presentare scostamenti sistematici dovuti principalmente alla diversa materializzazione dei datum altimetrici. Per tale motivo i modelli generalmente possono presentare un andamento molto simile tra loro ma possono localmente presentare degli scostamenti sistematici, anche di parecchi centimetri (vedi Fig.1). 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.

All'interno del software Geotrasformer è stata implementata una routine scientifica che permette di calibrare i modelli di geoide più diffusi in Italia: Italgeo95, Italgeo99, Italgeo05. Avendo a disposizione, per alcune zone della regione Abruzzo, i dati di tutti e tre i modelli ed una serie di linee di livellazione rilevate dalla stessa amministrazione regionale e battute anche con ricevitori GPS geodetici si è deciso di valutare quali miglioramenti si ottengono calibrando i tre modelli rispetto ad i punti misurati.

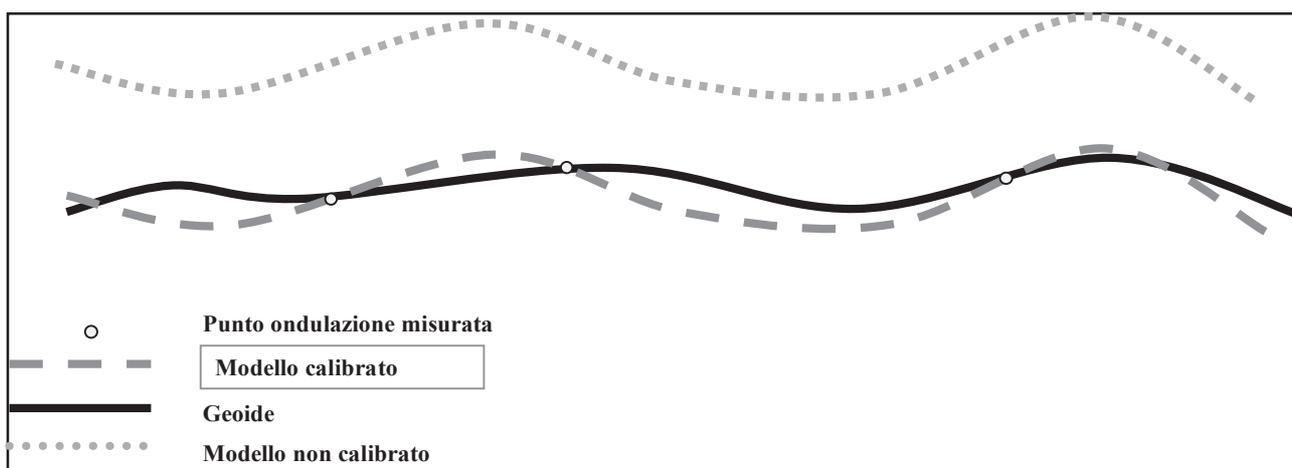


Fig.1- Calibrazione dei modelli di geoide

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. Questo definisce un importante parametro della calibrazione; affinché avvenga correttamente è necessario avere a disposizione almeno tre punti di coordinate note. È ovvio che i punti forniti al software come input di calibrazione devono essere stati misurati con elevata precisione, infatti immettendo un solo punto con coordinate ellissoidiche errate è molto probabile che il software "appoggi" il geoide su di esso calcolando quote affette da errori grossolani, a causa delle rotazioni; ovviamente tali stime portano a valori molto diversi da quelli reali man mano che ci si allontana dai punti misurati.

## La rete della Regione Abruzzo

La rete è costituita da 5407 punti planoaltimetrici di elevata precisione, fotoidentificabili o resi fotoidentificabili, con densità pari a uno ogni 100 ha nelle zone urbanizzate e ad esse limitrofe mai inferiore a 1 punto ogni 1000 ettari nelle restanti zone, sono stati posizionati in particolare lungo le

aste fluviali, stazionabili anche con strumentazione topografica tradizionale, ben accessibili e di sicuro mantenimento e reperibilità, garantendo per ogni punto la possibilità di orientarsi su vertici della rete stessa, eventualmente appositamente determinati.

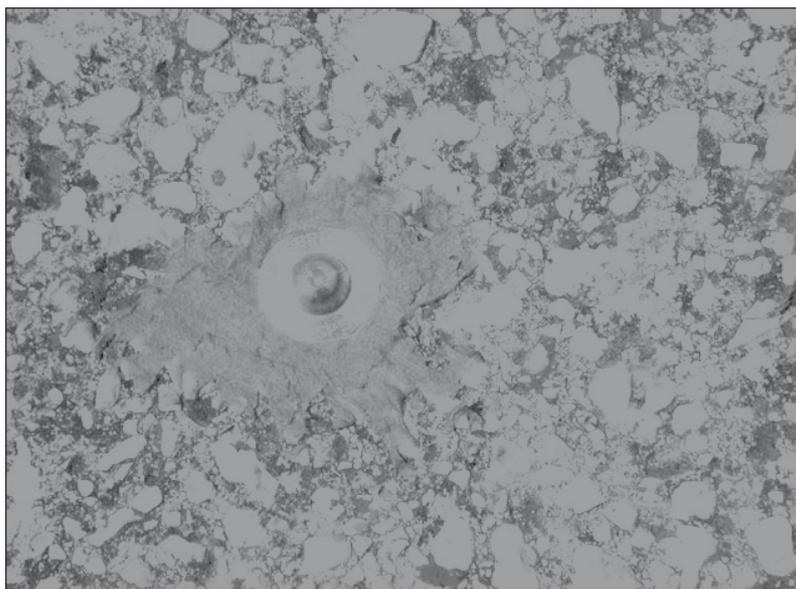
I criteri che hanno portato alla configurazione geometrica della rete sono quelli dettati dal documento “Gruppo di lavoro reti plano-altimetriche: Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95”.

La precisione intrinseca della rete è fissata in  $\pm 5$  cm nelle tre coordinate (valore medio dei semiassi degli ellissoidi di errore delle coordinate geografiche con probabilità del 95%).

In ogni caso è stata posta particolare attenzione nel far coincidere, quando possibile, i punti di nuova istituzione con vertici della rete catastale (ovvero vertici della nuova maglia primaria GPS).

Tutti i vertici IGM95 ricadenti nella Regione Abruzzo sono stati inseriti nella rete, nello specifico sono stati utilizzati i vertici IGM95 della serie 700, situati lungo le linee di livellazione di alta precisione dell'IGM. In totale, i vertici per i quali si dispone della quota ortometrica di precisione sono in numero di 49, ed esattamente 14 vertici di nuova istituzione collegati con livellazione dal mezzo a capisaldi di livellazione IGM e 35 vertici trigonometrici IGM95 della serie 700, collegati anch'essi con livellazione dal mezzo a capisaldi di livellazione IGM.

Ai fini dell'inquadramento della rete, sono stati utilizzati 58 vertici trigonometrici della rete fondamentale IGM95. Dei 58 vertici, 35 risultano della serie 700, 2 della serie 800, 21 della serie 900. Tali vertici sono stati tutti ricogniti e ritenuti idonei ai fini del loro utilizzo per l'inquadramento della rete. I vertici di nuova istituzione sono stati posizionati con una densità tale che la distanza media tra le basi sia di 7 km e che la distanza massima tra di esse non sia mai superiore a 9 km. La rete è costituita da poligoni connessi aventi ciascuno un massimo di 6 lati, con un perimetro massimo di 50 km; laddove è stato possibile si è inserito all'interno delle maglie esagonali che presentavano una superficie elevata un ulteriore vertice di raffittimento. Su ogni vertice IGM95 convergono un numero minimo di 3 basi indipendenti. Per ciò che concerne l'inquadramento altimetrico della rete, si è operato nel rispetto del documento “Gruppo di lavoro reti plano-altimetriche: Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95”.



*Fig.2- Esempio di materializzazione dei punti*

Nelle zone adiacenti alle linee di livellazione di alta precisione dell'IGM, nel posizionamento dei vertici di nuova istituzione si è avuto cura, ove possibile, di posizionarli nelle immediate vicinanze

dei capisaldi delle linee di livellazione, per tali vertici si è proceduto ad un rilievo altimetrico di precisione, effettuato tramite livellazione geometrica dal mezzo che si apre e chiude sul medesimo caposaldo.

Il rilievo della rete è avvenuto in due fasi distinte contestuali alla restituzione dei due lotto della nuova carta tecnica regionale CTRN 1:5000 tra il 2001 ed il 2005. I punti sono stati materializzati con opportuni centrini in acciaio inox e sono state redatte le rispettive schede monografiche dove si sono riportate le doppie coordinate e delle informazioni aggiuntive sulla localizzazione del centrino (Fig. 2-3).

Tutti i dati sono stati inseriti all'interno di un database e resi disponibili gratuitamente dal portale web dell' "Ufficio Sistema Informativo Geografico" della Regione Abruzzo agli utenti previa registrazione. Una volta ottenuta l'abilitazione all'accesso si ha la possibilità di consultare le schede monografiche ricercandole per identificativo del centrino, per comune e tramite il mapserver opportunamente configurato e procedere al salvataggio della scheda stessa in formato elettronico .

Comune: L'AQUILA

**Identificativi catastali**  
 Comune: L'AQUILA  
 Foglio: 13  
 VerticeO: 8001

**Generalità**  
 Nome Punto: 6599  
 Identificativo Centrino: 3628  
 Anno: 2005  
 Elemento di Appartenenza: 349004  
 Località: SPARTINO

**Informazioni**  
**Descrizione:** Berchia n° 3628 infissa su muretto in c.c.  
**Accesso:** Percorrendo la SS 80 in direzione L'Aquila-Teramo, svoltare al Km 34+200 a destra passando la diga e proseguire verso destra per Km 4+100 circa ove lungo la strada sterrata è ubicata la berchia.  
**Note:** Cimentamento con stazione fuori centro.

Coordinate piano UTM - WGS84	Coordinate piano GAUSS - BOAGA	Coordinate geografiche WGS84	Coordinate geografiche Roma 40	Coordinate Cassini Solider
N: 4705495,510 E: 372175,613	N: 4705500,722 E: 2330182,995 H: 1299,621	$\phi$ : 42° 29' 28,570" $\lambda$ : 13° 26' 40,385" h: 1308,007	$\phi$ : 42° 29' 26,207" $\lambda$ : 0° 59' 26,207"	Origine: Monte Cote X: 0,000 Y: 0,000

**Riferimenti (Misure in cm)**  
 R1: 850,000  
 R2: 780,000  
 R3: 777,000  
 R4: 0,000  
 R5: 0,000

**Ostacoli rilevati (in azimuth)**

DA	A	ANGOLO	TIPO
25,000	75,000	30,000	B
210,000	315,000	60,000	B
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D
0,000	0,000	0,000	D

**Immagini**

**Punti Fiduciali**  
 Non ci sono punti fiduciali associati

Fig. 3- Esempio di monografia disponibile su web

### Sperimentazione

Come anticipato nell'introduzione, la presente sperimentazione vuole approfondire alcuni aspetti tra cui l'effetto dell'utilizzazione di un cospicuo numero di punti per la calibrazione. L'elevato numero di punti permetterebbe di indagare l'andamento del geode e migliorarne la stima praticamente su tutto il territorio regionale (Fig. 4). In questa prima sperimentazione, alla quale faranno seguito ulteriori approfondimenti, si è deciso di incentrare l'indagine nella zona coperta dalle griglie IGM

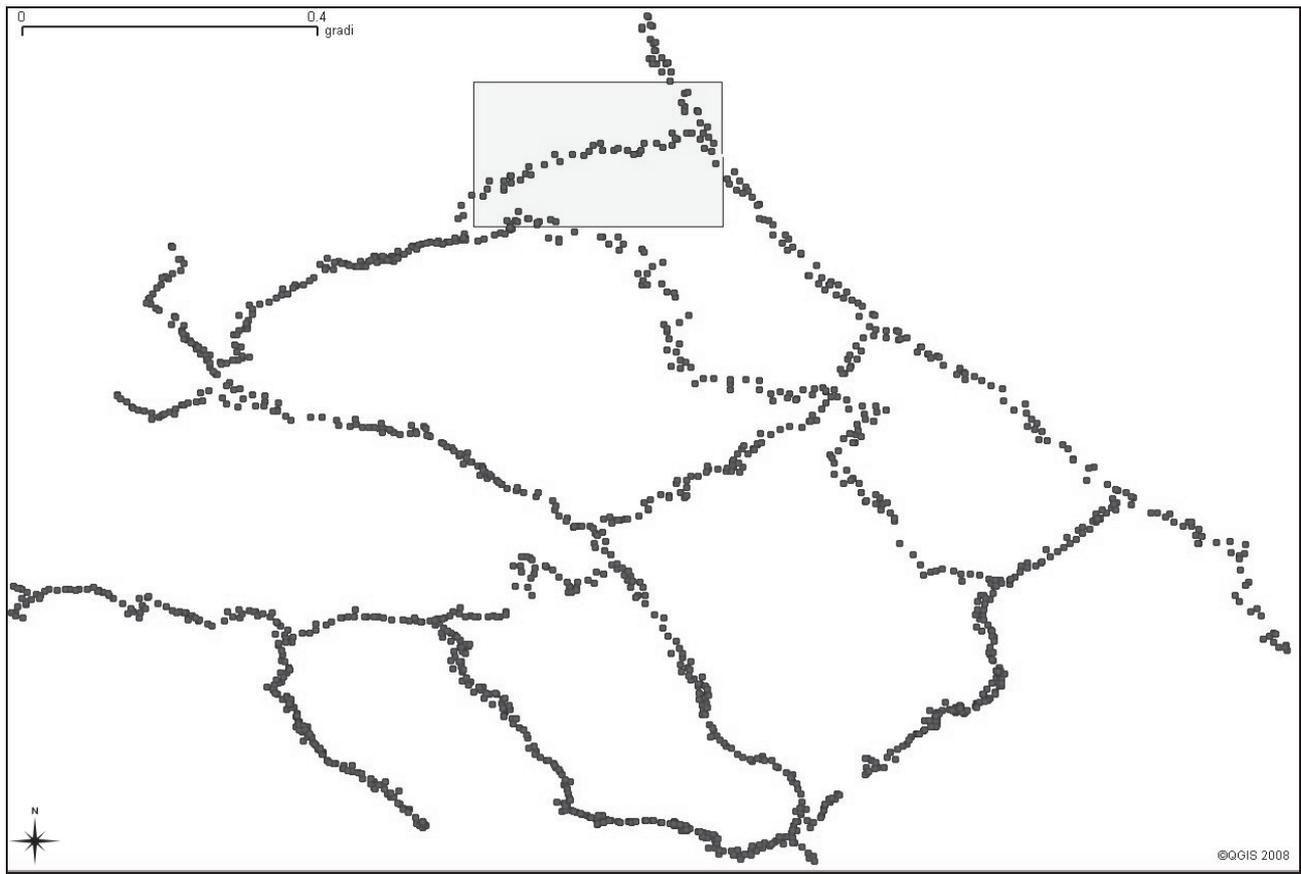


Fig. 4 – distribuzione della rete sull'intera regione con evidenziata la zona d'indagine.

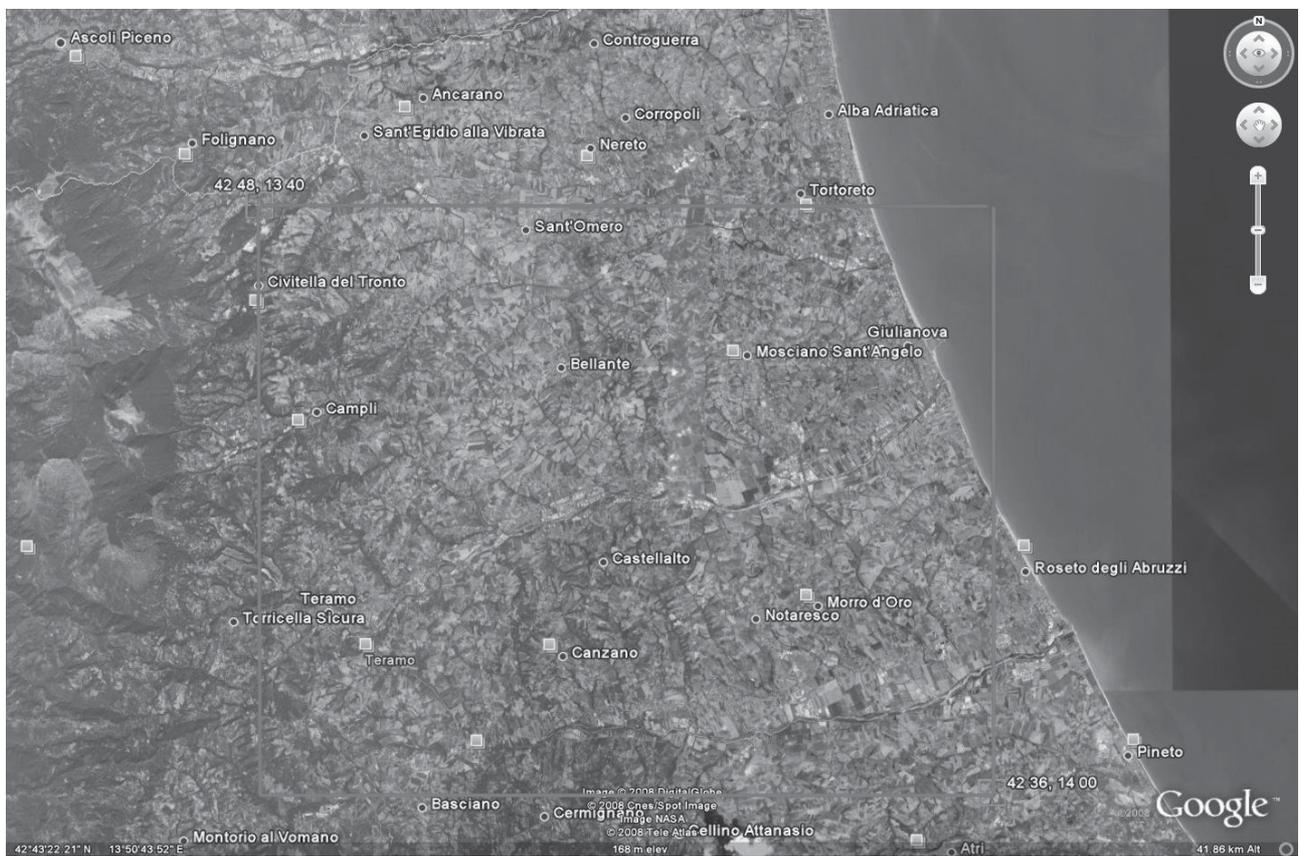


Fig. 5- Estensione dell'area indagata (da Google Earth)

“339” corrispondenti all'estensione del “foglio” della Carta d'Italia a scala 1:50.000 denominato “Teramo” (Fig. 5).

L'area in questione ha morfologia variabile, partendo dalla zona costiera fino ad arrivare nelle zone più interne con quote massime dei punti fino a 500 metri di quota ortometrica. Tra i punti disponibili della rete ne sono quindi stati selezionati 115 ricadenti nell'estensione della griglia (42.50000°N,13.57733°E; 42.53333°N, 13.59999°E – latitudine e longitudine espresse in WGS84) mediante un apposita funzione presente in Geotrasformer. Si è deciso di suddividere i punti così ottenuti in due ulteriori sottogruppi di uguale consistenza numerica, in maniera casuale in modo che ognuno dei due sottogruppi fosse uniformemente distribuito sul territorio in studio. I punti appartenenti al primo gruppo sono quindi stati utilizzati quale riferimento per calibrare il modello, i punti rimanenti sono stati utilizzati per studiare l'eventuale miglioramento nella stima dell'ondulazione del geoide ottenuto utilizzando i punti del primo gruppo. E' infatti evidente che, se per stimare l'accuratezza della stima del geoide si fossero utilizzati punti già utilizzati per la calibrazione del modello stesso, si sarebbe corso il rischio di sovrastimare l'accuratezza stessa in quanto i punti usati come riferimento sono sicuramente quelli che mostrano migliore accordo con il modello stesso perché è rispetto ad essi che il modello è stato calibrato, tali risultati non darebbero però indicazione sull'accuratezza ottenibile allontanandosi dai punti di calibrazione stessi. I risultati ottenuti sono ovviamente anche stati confrontati con i risultati ottenuti sui medesimi punti utilizzando i modelli non calibrati ciò per verificare la significatività dei miglioramenti ottenibili e quindi la sua opportunità a seconda dei modelli utilizzati. (Tab.6)

Scostamenti rispetto ad ondulazioni misurate in metri	Italgeo 95 originale	Italgeo 99 originale	Italgeo 05 originale	Italgeo 95 calibrato	Italgeo 99 calibrato	Italgeo 05 calibrato
Media	0.608	0.055604	-0.01289	0.003094	-0.06626	0.002226
Dev. St.	0.042827	0.027993	0.008366	0.01055	0.030984	0.007008
Mediana	0.608	0.055604	-0.01289	0.003094	-0.06626	0.002
Max	0.665	0.103	0.008366	0.022	0.030984	0.018
Min	0.042827	0.005	-0.035	-0.019	-0.111	-0.01

Tabella 6- Scostamenti delle ondulazioni misurate rispetto ai vari modelli.

### Conclusioni e sviluppi

I risultati di questa prima sperimentazione mostrano che, nell'area in studio, il modello Italgeo 95 dopo la calibrazione migliora in maniera significativa l'accuratezza della stima delle ondulazioni, con la rimozione di un sistematismo di circa 60 cm. (si vedano i valori della media), portando i relativi risultati più vicini a quelli di Italgeo05 che migliora anche se in maniera decisamente più contenuta. Il modello Italgeo99 è l'unico che dopo la calibrazione peggiora i suoi risultati e cmq non si avvicina alle accuratèzze degli altri due modelli. Ulteriori indagini debbono essere svolte anche per appurare se si tratti di un'area “fortunata” in quanto anche i risultati rispetto ai modelli originali sembrano migliori di quanto previsto dalla letteratura. Il notevole accordo tra le misure ed i modelli potrebbe essere dovuto alla morfologia dell'area, infatti prime indagini su aree montuose nell'entroterra forniscono risultati molto meno accurati e saranno ulteriormente approfonditi.

### Bibliografia

V. Baiocchi, P. Capaldo, M. Crespi, M. Mezzapesa, G. Pietrantonio(2007) , “Calibrazione di alcuni modelli di geoide nell'area dei Colli Albani (Roma)”, Atti convegno ASITA 2007, Torino  
 Barzaghi, B. Betti, A. Borghi, V. Tornatore e G. Sona (2001): “Ulteriori sviluppi nella stima del Quasi-Geoide Italiano e future Prospettive” Atti XVIII Convegno nazionale GNGTS