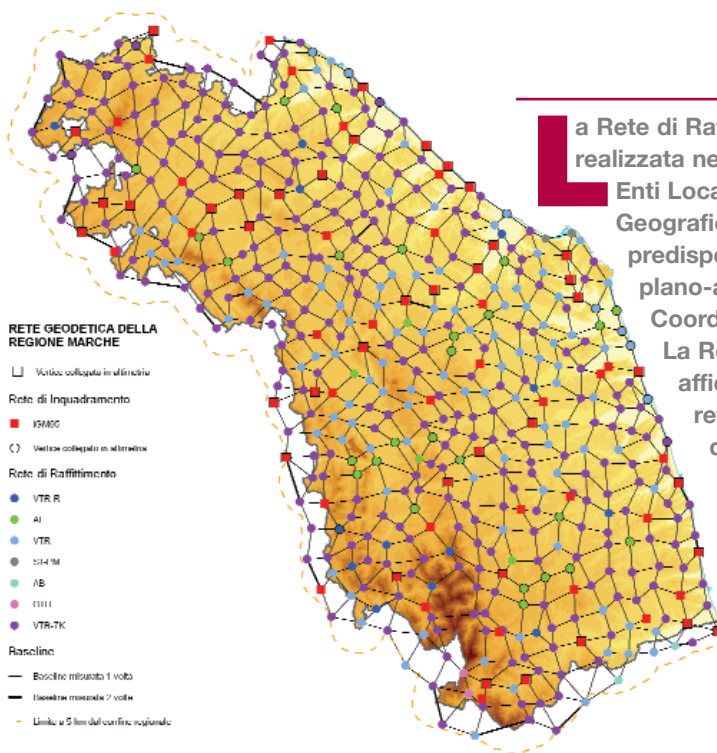


La rete geodetica della Regione Marche

di S. Bellesi, E. S. Malinverni



La Rete di Raffinamento a 7 km della Regione Marche è stata realizzata nell'ambito dell'azione B9 dell'Intesa Stato-Regioni-Enti Locali del 26-IX-1996 sui Sistemi Informativi Geografici, coerentemente alle specifiche tecniche predisposte dal gruppo di lavoro Reti di inquadramento piano-altimetriche del Comitato Tecnico di Coordinamento (CTC).

La Regione Marche, con D. G. R. n. 331/2004 ha poi affidato l'incarico di eseguire il raffinamento della rete IGM95 al Dipartimento DARDUS della Facoltà di Ingegneria (Università Politecnica delle Marche).

La convenzione prevedeva la verifica e la ricognizione dei punti già materializzati dalla Regione Marche nell'ambito di progetti precedenti, l'elaborazione di un progetto di rete completo di simulazione, la costruzione di un DataBase dei punti rilevati da cui poter produrre, come report, le monografie e la compensazione intrinseca delle misure nel riferimento WGS84.

La compensazione finale con il calcolo delle coordinate piane nei vari sistemi di riferimento e l'adattamento al geode sono stati eseguiti dall'IGMI dopo la stipula di un Accordo Quadro e dell'Atto Esecutivo N. 1 in data 28-VI-2006

PROGETTAZIONE

La geometria della rete è stata costruita in ambiente GIS con il software Mapinfo. Questa scelta si è resa necessaria per iniziare da subito la costruzione di un DB associato dei punti e poter ottenere, attraverso opportune query e selection, file di esportazione in formato ASCII da impiegare per le successive elaborazioni.

Sono stati costruiti due file: uno per i punti (Rete_prj) ed uno per le baseline da misurare (Baseline_prj), imponendo la perfetta congruenza geometrica fra i vertici delle baseline ed i punti facenti parte dello schema di progetto.

La tabella associata a Rete_prj prevede i seguenti campi:

- ✓ Codice, nome o numero identificativo del punto,
- ✓ Est, coordinata Est,
- ✓ Nord, coordinata Nord,
- ✓ Quota, valore della quota ortometrica,

- ✓ Tipo, tipologia di punto, ovvero:
 - IGM95 (rete d'inquadramento IGM95 sul territorio regionale e limitrofo per una fascia di 5 km),
 - ST-PM (stazioni permanenti),
 - VTR-R (vertici della rete GPS regionale realizzata per la CTR 1:2000 nel 1994),
 - VTR (vertici istituiti con la realizzazione della CTR 1:10.000 nel 2000),
 - AF (vertici istituiti e collegati in altimetria per il rilievo delle Aste Fluviali nel 2002),
 - AB (vertici di raffinamento della Regione Abruzzo), VTR-7K (vertici di nuova istituzione).
- ✓ ReteGPS7, test di appartenenza del punto allo schema di rete in base alla sua raggiungibilità e materializzazione deducibile dalla monografia,
- ✓ QuotaH, test di collegamento altimetrico alle linee di livellazione di alta precisione dell'IGMI.

Al termine della ricognizione a tavolino, i punti, rispondenti alle specifiche (ReteGPS7=vero), sono stati selezionati ed impiegati per costruire singoli buffer di 3,5 km ed individuare, così, le zone in cui inserire i punti di nuova istituzione. Inoltre, volendo migliorare la geometria complessiva della rete ed il suo attacco con le altre reti in fase di realizzazione, sono stati previsti dei punti anche nelle regioni confinanti (Emilia Romagna, Toscana, Umbria, Abruzzo). La scelta dei siti in cui monumentalizzare i contrassegni è stata operata sempre in ambiente GIS con l'ausilio di cartografie raster e/o vettoriali disponibili e supportate da Mapinfo, in diverse scale di rappresentazione, come i quadranti regionali 1:25.000 o la CTR 1:10.000, ed una CTR 1:200.000 per verificare l'accessibilità dalle principali arterie stradali.

Il dettaglio della scala 1:10.000 è stato utile per vagliare le eventuali situazioni di impedimento e comunque le possibili difficoltà di ricezione del segnale GPS e per individuare la presenza di manufatti che possano garantire con le loro dimensioni, consistenza e destinazione d'uso, un'adeguata

stabilità nel tempo (spalle di ponti, muri di sostegno, chiuse di canali ed in genere ogni altra struttura di calcestruzzo gettata in loco). La scelta, date le modalità, era da considerarsi provvisoria in quanto suscettibile di cambiamenti dopo il sopralluogo e la verifica puntuale della ricettività del segnale satellitare.

Dopo i punti sono state stabilite le baseline da misurare, cercando di costruire quadrilateri con lati di 7 chilometri, con la sola eccezione delle zone montane, dove per problemi di quote e viabilità si è dovuto prevedere basi di lunghezza superiore con poligoni anche di 6 lati. La tabella associata a Baseline_prj prevede i seguenti campi:

- ✓ Punto_1, numero identificativo del punto iniziale,
- ✓ Punto_2, numero identificativo del punto finale,
- ✓ Nome, nome della base,
- ✓ Distanza, lunghezza della base,
- ✓ Count, numero di sessioni di misura della base.

La compilazione del DB è stata eseguita tramite update dopo aver testato la correttezza topologica dello schema di rete.

SIMULAZIONE

La simulazione è stata effettuata con il software Netgps (Crespi 1996), programma in Fortran77 sviluppato presso il Politecnico di Milano, che permette di eseguire la compensazione e la simulazione di una rete GPS, definire le ellissi d'errore nonché eseguire il calcolo dell'affidabilità interna ed esterna della stessa secondo la teoria di Baarda (1968).

La fase di simulazione ha visto l'utilizzo di due schemi di rete con differenti ridondanze:

Schema 1 con 1033 basi, 522 punti e ridondanza=1,98. In ogni punto convergono 3 baseline ed è prevista una doppia misura per le basi più lunghe. Risultato:1033 basi di cui 39 misurate 2 volte.

Schema 2 con 1015 basi, 522 punti e ridondanza=1,94. In ogni punto convergono 3 baseline ed è prevista una doppia misura solo per le basi esterne più lunghe. Risultato: 1015 basi di cui 21 misurate due volte.

Sono stati, poi, adottati come sqm fissi (s=5mm) e chilometrici (s=1mm/km) per il calcolo delle precisioni a priori i valori dichiarati dalla casa costruttrice dei ricevitori GPS impiegati nel rilievo.

Infine è stato scelto come vincolo l'IGM95 117706 situato in posizione baricentrica rispetto alla rete.

I risultati ottenuti, riportati in tabella 1, dimostrano, che a parità di precisioni conseguite, per via delle minori basi da rilevare, conviene adottare lo schema 2.

PARAMETRI	SCHEMA 1		SCHEMA 2		TOLLERANZE	
	rms	sqm max	rms	sqm max		
Coordinate compensate						
X	0,012	0,016	0,012	0,016		
Y	0,012	0,016	0,012	0,016		
Z	0,012	0,016	0,012	0,016		
a ellissoidi di errore	a max	a medio	a max	a medio	in X, Y	in Z
	0,016	0,012	0,016	0,012	0,030	0,050

Tabella 1 (valori espressi in metri)

PIANIFICAZIONE

Una volta disegnata la rete, si pone il problema di una razionale pianificazione delle misure che garantisca, da un lato, il raggiungimento degli obiettivi della simulazione stessa, e, dall'altro, tenda a minimizzare e coordinare correttamente, tra le diverse sessioni, i tempi di passaggio da un vertice all'altro. La pianificazione è stata eseguita con il modulo Occupation Planning del software Pinnacle. Per prima cosa è stata ricostruita la rete all'interno del software immettendo la lista di punti, con le relative basi e successivamente sono state prodotte le schede di stazione in formato A4 nelle quali riportare: nome e numero del vertice, nome del file di memorizzazione, nome dell'operatore, data, ora di inizio e di termine della sessione di misura, marca e modello dello strumento utilizzato, tipo e caratteristiche dell'antenna, misure dell'altezza dell'antenna e loro media, schizzo monografico e note eventuali. Quindi sono stati predisposti i contrassegni per i punti di nuova istituzione, considerando anche l'eventualità di punti scomparsi. Si è posto particolare impegno nella scelta e monumentalizzazione dei vertici. Infatti i punti devono essere accessibili, stazionabili e permanenti. Per la monumentalizzazione sono stati usati chiodi in acciaio inox con gambo lungo 9 cm, testa con foro che ne identifica il centro e una rondella metallica di ottone con impressa la sigla "REGIONE MARCHE" che ne migliora la visibilità. Infine, è stata impiegata una camera digitale per il rilievo fotografico dei punti da inserire nelle schede monografiche.

RILIEVO

Il rilievo della rete è stato eseguito con ricevitori GPS Legacy - Topcon a doppia frequenza ai quali, a partire da marzo 2005, si è aggiunto il sistema GLONASS. Le sessioni di misura si sono svolte dal giugno 2004 all'ottobre 2005 con una sospensione dei lavori di due mesi per le condizioni meteorologiche sfavorevoli. Il rilievo sul campo è stato curato in particolar modo dall'Ing. G. Gagliardini. La modalità di esecuzione delle osservazioni è stata di tipo rapido statico. La singola misura eseguita su ogni base è riportata in appositi report dalla cui analisi sono state verificate:

- ✓ l'indipendenza delle basi;
- ✓ la durata della sessione in funzione della lunghezza delle basi stesse;
- ✓ i valori dei semiassi delle ellissi relative calcolati mediante l'espressione (1) che raggiungono valori massimi di 0,018 m inferiore ai 0,02 m richiesti, e l' sqm della differenza di quota che è risultato minore di 0,03 m con la sola eccezione di tre punti sui quali si hanno valori di 0,033 m.

$$\begin{aligned}
 ax^2 + by + c &= 0 & S_{xx} \quad S_{yy} \quad S_{xy} \\
 a &= 1 & \text{varianza e covarianza} \\
 b &= -S_{yy} - S_{xx} & \text{degli estremi della base} \\
 c &= S_{xx} \cdot S_{yy} - S_{xy}^2 & \text{asse minimo} = \sqrt{\lambda_1} \\
 \lambda_{1/2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} & \text{asse massimo} = \sqrt{\lambda_2} \quad (1)
 \end{aligned}$$

per la planimetria

$$sqm = \sqrt{S_{xx}} \quad \text{per l'altimetria}$$

✓ la chiusura di tutti i 471 poligoni costituenti la rete, secondo la formula:

$$\bar{A} = \sqrt{(\sum dx)^2 + (\sum dy)^2 + (\sum dz)^2} \leq 10cm$$

Successivamente è stata eseguita la compensazione a minimo vincolo come nella fase di simulazione impiegando il metodo a minimi quadrati ed il software Pinnacle. Questa elaborazione è stata preceduta da operazioni di pre-processamento quali: rimozione dei satelliti con segnale disturbato, analisi delle portanti, individuazione di eventuali cycle-slip. Il risultato conseguito è una precisione intrinseca in planimetria inferiore ai 2 cm, ed in quota inferiore ai 3,8 cm, rispettando di gran lunga le precisioni richieste (figura 1). Si riportano per completezza anche le difformità fra lo schema di progetto e quello di rilievo.

TIPOLOGIA DI PUNTO	PROGETTO	RILIEVO
VTR-OTH-AB	253	105+2+2
VTR-R	40	13
IGM95	72	64
AF	37	30
VTR-7K	118	304
ST-PM	2	2
Totale punti rete	522	522
Totale Punti noti in quota	90 (17%)	78 (15%)

Dei 522 vertici, 304 sono stati materializzati ex-novo, mentre 2 (OTH) sono stati trovati casualmente sul territorio. Da osservare che 8 vertici IGM95 non sono stati rinvenuti ed è stato necessario sostituirli. Tutto ciò ha inevitabilmente portato ad una variazione, seppur non sostanziale, della geometria della Rete.

COMPENSAZIONE FINALE

I dati così ottenuti sono stati inviati all'IGMI che ha chiesto di intervenire sugli 8 punti non ritrovati. In particolare per 4 di essi (109903, 110901, 125904, 133901) è stata richiesta la misura della linea di base di collegamento fra il vertice IGM95 e la nuova materializzazione regionale per classificarli, poi, come associati, per gli altri 3 (125903, 132901, 132902, 115901) è stata richiesta la misura dei collegamenti con i vertici IGM95 in quanto esistenti ma non rintracciati o danneggiati, mentre per il vertice 125702 si è dovuto eseguire una nuova determinazione con il riattacco in quota al più vicino caposaldo di livellazione. Le compensazioni finali sono state svolte su 526 punti e 1019 basi per un valore di ridondanza di 2,24 impiegando Geolab.

Le precisioni conseguite con un livello di confidenza del 95 % sono state inferiori alle tolleranze del capitolato del CTC (Tabella 2).

Infine sono stati verificati i riattacchi altimetrici tramite adattamento locale del geoido ITALGEO2005. Il calcolo è stato eseguito, prima, valutando localmente la congruità del modello con i 97 vertici GEOTRAV presenti nelle Marche, e poi aggiungendo i punti di quota nota compresi 8 realizzati dall'IGM nella missione G4/2006 per un totale di 141. Questa procedura è stata ripetuta fino ad ottenere uno scarto massimo inferiore ai 0,09 m. Nonostante l'esclusione di alcuni punti il numero complessivo di vertici collegati ai capisaldi di livellazione è rimasto invariato. I valori delle coordinate nei vari riferimenti sono stati ricavati con il programma Verto. In figura 2 alcune tematizzazioni sul grafo finale della rete.

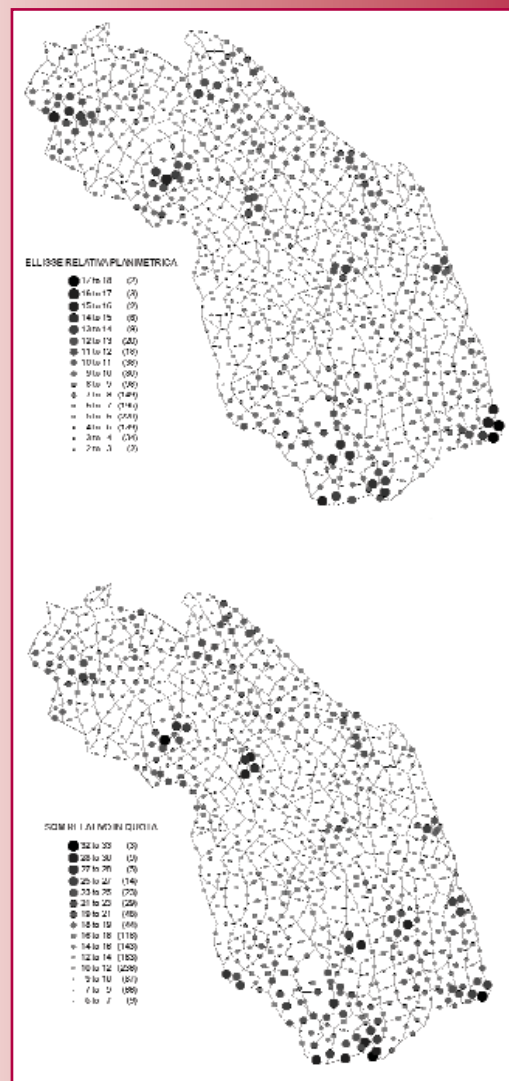


Figura 1 - Ellissi relative planimetriche e sqm relativo in quota sulle basi

CALCOLO	PARAMETRI		TOLLERANZE	
	max	medio	max	medio
Minimo Vincolo				
<i>a ellissi di errore eqm in quota</i>	0,044	0,015	0,050	0,030
	0,065	0,026	0,080	0,050
Estremi Vincolati	max	medio		
<i>errori relativi:</i>				
<i>a ellissi di errore eqm in quota</i>	0,066	0,025		
	0,109	0,042		
<i>errori assoluti:</i>				
<i>a ellissi di errore eqm in quota</i>	0,063	0,097		
	0,024	0,040		

Tabella 2 (valori espressi in metri)

DATABASE E MONOGRAFIE

Tutte le informazioni relative alla Rete misurata sono gestibili anche in un database Microsoft Access. La sua struttura è un'implementazione della banca dati del sistema informativo geografico costruito in Mapinfo. Questo ha permesso non solo un facile e rapido interscambio dei dati prodotti con un continuo aggiornamento, ma anche la gestione e produzione delle monografie finali da distribuire agli utenti.

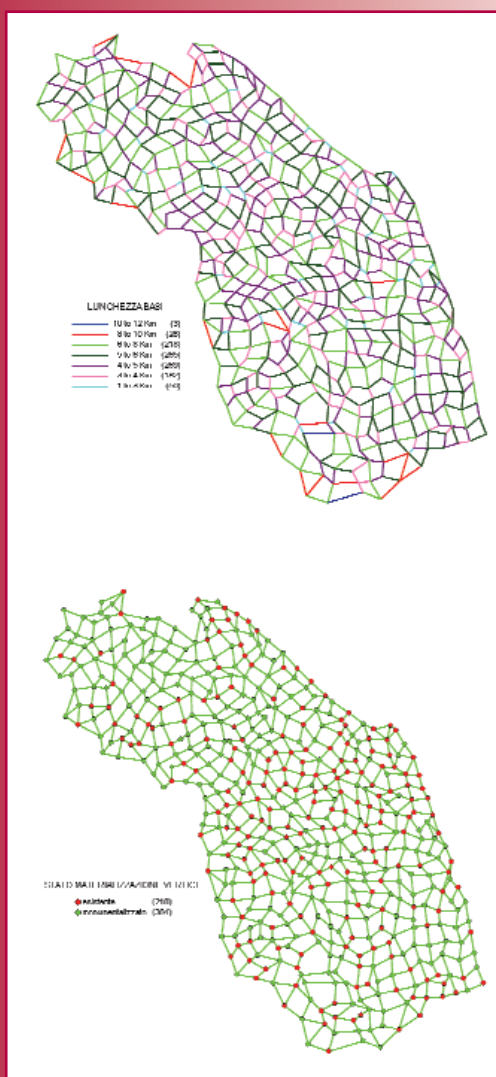


Figura 2 - Tematizzazioni sul grafo finale della rete

Il Report costruito in Access contiene tutte le informazioni richieste e necessarie per una corretta e rapida localizzazione dei vertici della Rete. Ogni scheda oltre alle informazioni testuali, alle coordinate nei vari sistemi di riferimento adottati, contiene anche uno schizzo monografico ricavato dalle schede redatte in campagna, una foto del vertice che inquadra l'area antistante per un facile riconoscimento della sua ubicazione e uno stralcio della cartografia alla scala 1:25000 (figura 3). Per poter produrre questo ultimo elemento è stato predisposto in linguaggio Mapbasic un apposito Tool che, in ambiente MapInfo, automatizza la procedura di ricerca, ritaglio e creazione della mappa associata a ciascun vertice.

Riferimenti bibliografici

Baarda W. (1968) A testing procedure for use in geodetic networks, Netherlands Geodetic Commission, New Series, Vol. 2, No. 4.

Crespi M. (1996) A Software Package for the Adjustment and the Analysis of GPS Control Networks. Reports on Surveying and Geodesy - In memory of Professors Alberto Gubellini and Giorgio Folloni (Ed. M. Unguendoli), DISTART - Università di Bologna, Edizioni Nautilus, pp. 237-264.

IGM- Servizio Geodetico. Relazione sul calcolo per la determinazione dei vertici di raffittimento della rete IGM95 nel territorio della Regione Marche., 13-XII-2006.

Intesa Stato, Regioni, Enti Locali 26/9/96 su Sistemi Informativi Geografici. Gruppo di lavoro di Reti plano-altimetriche. Specifiche Tecniche-Raffittimento della rete fondamentale IGM95, 16-VII-2001. Sito web: www.intesagis.it.

Università Politecnica delle Marche – Regione Marche. "Adeguamento Plano-Altmetrico della Rete Regionale secondo le specifiche dell'Intesa Stato Regioni". Progetto e Simulazione della Rete, 15-VII-2004.

Università Politecnica delle Marche – Regione Marche. "Adeguamento Plano-Altmetrico della Rete Regionale secondo le specifiche dell'Intesa Stato Regioni". Relazione finale, 26-X-2005.

Autore

STEFANO BELLESI
Regione Marche
PF Informazioni Territoriali e Beni Paesaggistici
Via Tiziano, 44 – 60100 Ancona
e-mail: stefano.bellesi@regione.marche.it

EVA SAVINA MALINVERNI
Università Politecnica Marche
Facoltà di Ingegneria – DARDUS
Via Breccie Bianche – 60131 Ancona
e-mail: e.s.malinverni@univpm.it

REGIONE MARCHE		RETE RAFFITTIMENTO GPS	
PF - Informazioni territoriali			
Comune: FERMO		Vertice N. 125644	
Località: SAN TOMMASO		Data rilievo: 28/07/2006	
Materializzazione: Contorno metallico con rondello in ottone			
Accesso: Cerchione su muretto in c.s. lungo la S.S. 18 all'incrocio per l'Ido San Tommaso-Campaggio l'Orto			
Informazioni ausiliarie:			
Geografiche (Roma40) φ: 43° 13' 43.7178" λ: 1° 19' 22.8667"	Piane (Gauss-Boaga) N: 4707030.08 E: 2420547.6	Geografiche (WGS84) φ: 43° 13' 48.08848" λ: 1° 19' 30.65270"	Piane (UTM-WGS84) N: 4787024.87 E: 400538.87
Geografiche (ED50) φ: 43° 13' 43.5667" λ: 1° 19' 33.8751"	Piane (UTM-ED50) N: 4787218.11 E: 400808.57	Quota s.l.m. 378,77 Altezza ell. 40,830	Riferimenti altimetrici Datum: IGM 10/97 Caposello IGM 10/97 20000
Data esecutrice: Università Politecnica delle Marche			

Figura 3 - Scheda monografica