

**APPENDICE 6.1**  
**ATTIVITÀ SPERIMENTALE DI RILIEVO DEI FONDALI DEL FIUME**  
**TEVERE CON METODOLOGIA MULTIBEAM**  
**PROGETTO “STUDIO BATIMORFOLOGICO E SISMOSTRATIGRAFICO**  
**DELL’ALVEO DEL FIUME TEVERE LUNGO IL TRATTO COMPRESO TRA**  
**LA FOCE E PONTE DEL GRILLO”**

*Rapporto interno estratto dalla relazione finale del relativo lavoro*

*Marcello Bernabini (1), Alessandro Bosman (2), Marco Ciccarini (1), Mattia Crespi (3),  
Leonardo Macelloni (1), Augusto Mazzoni (3), Giovanni Reina (3)*

- (1) DITS - Area di Geofisica, Sapienza Università di Roma  
(2) Dipartimento Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma  
(3) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Sapienza Università di Roma

## **1 INTRODUZIONE**

In questa relazione si intende mettere in evidenza le metodologie e le tecniche usate per il posizionamento di una imbarcazione nell’ambito di una “Attività Sperimentale di Rilievo dei Fondali del Fiume Tevere con Metodologia Multibeam”.

Lo studio si basa su un rilievo operato con quattro differenti metodologie geofisiche:

- ecoscandaglio multifascia (Multibeam)
- sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar)
- sismica a riflessione monocanale ad elevata risoluzione (Sub Bottom Profile)
- sismica a riflessione ad elevata penetrazione (Sparker e multicanale)

Dallo studio è stato possibile ottenere le seguenti informazioni:

1. definizione di estremo dettaglio del fondo del fiume;
2. identificazione ed estensione di morfologie specifiche (barre, solchi erosivi, terrazzamenti interni all’alveo);
3. individuazione di lineamenti specifici quali strutture abbandonate, oggetti sommersi e resti archeologici;
4. descrizione in continuo della sezione trasversale utile per lo studio della idrodinamica fluviale;
5. una base di confronto, nel caso di monitoraggio con rilievi ripetuti, per la definizione dell’evoluzione nel tempo delle forme di accumulo con indicazioni sul trasporto di fondo.

In questo tipo di rilievo tutte le informazioni che si ricavano dai diversi sensori utilizzati a bordo, vengono georeferenziate tramite un ricevitore GNSS, installato a bordo dell’imbarcazione, generalmente operante in modalità RTK classica (posizionamento in tempo reale rispetto ad una stazione master opportunamente attivata nelle vicinanze dell’area del rilievo).

In oltre, spesso la trasmissione di correzioni differenziale viene demandata ad apparati radio in grado di operare in distanze non superiori a qualche chilometro.

Queste scelte impongono la materializzazione di più stazioni master per poter portare a termine rilievi di estensione maggiore. Conseguentemente è necessario georiferire le stazioni master con elevata accuratezza per non introdurre errori nel posizionamento dell’imbarcazione spostandosi da una stazione all’altra.

Data la lunga estensione del tratto del fiume Tevere oggetto dell’indagine (circa 80 km), il posizionamento condotto con questa metodologia avrebbe comportato costi elevati sia in termini economici che temporali per poter preventivamente rilevare e calcolare i vertici della rete geodetica nei quale andare a

posizionare di volta in volta la stazione master utilizzata.

Per ovviare a questi problemi è stato proposto dall'Area di Geodesia e Geomatica di condurre il rilievo avvalendosi della rete sperimentale di stazioni permanenti della Regione Lazio (RESNAP-GPS w3.uniroma1.it/resnap-gps), utilizzando la rete GSM per la trasmissione e ricezione delle correzioni differenziali.

L'area oggetto delle indagini è riportata nella figura 1.1 Il rilievo è stato diviso in 4 "leg" corrispondenti ai quattro segmenti di fiume separati da ostacoli artificiali (dighe, soglie e briglie):

- leg I dalla foce all'Isola Tiberina ≈ 37 km
- leg II da Castel Giubileo a Ponte del Grillo ≈ 23 km
- leg III dall'Isola Tiberina a Ponte Milvio ≈ 7.5 km
- leg IV da Ponte Milvio a Castel Giubileo ≈ 12 km



Figura 1 - Ubicazione del rilievo morfobatimetrico.

## 2 POSIZIONAMENTO TRAMITE RICEVITORE GNSS: PROBLEMATICHE E SOLUZIONI

Nella prima configurazione della strumentazione utilizzata nel rilievo, il posizionamento era esclusivamente realizzato in tempo reale mediante un ricevitore/antenna Ashtech (non abilitato alla registrazione di dati grezzi) in grado di ricevere i prodotti per il posizionamento erogati dalla RESNAP-GPS con un collegamento diretto modem to modem (sfruttando la rete GSM). La qualità del posizionamento era fornita dal ricevitore a bordo tramite i classici flag indicanti il tipo di soluzione delle ambiguità (NONE, FLOAT, FIXED). Conseguentemente per procedere alle operazioni di rilievo era necessario assicurarsi che la soluzione fosse ad ambiguità di fase fissate ad intero (FIXED) per poter garantire la maggior preci-

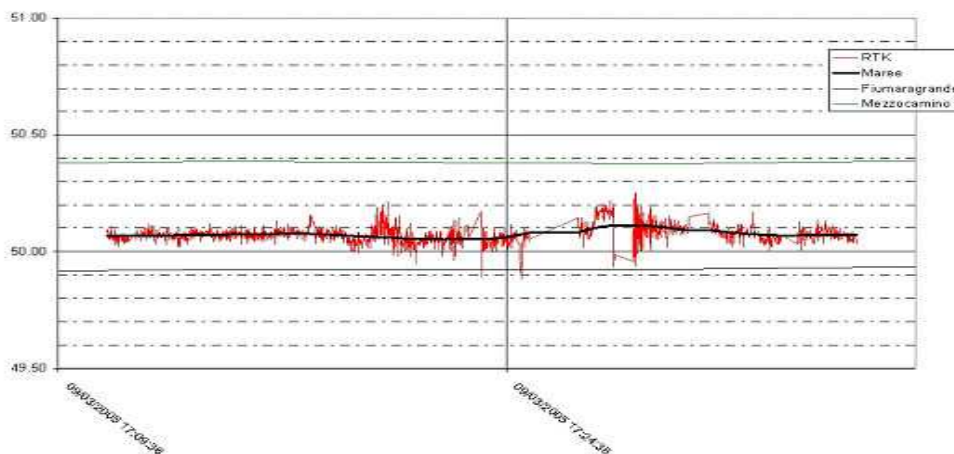
sione alla georeferenziazione delle informazioni provenienti da tutti i sensori operanti a bordo.

L'analisi delle prime registrazioni nel tempo delle quote determinate mediante il posizionamento in RTK indicavano l'esistenza di derive e salti bruschi non giustificabili con variazioni reali di livello dell'acqua. Anche la normale fluttuazione nel tempo dei valori, pur dopo aver eliminato i valori del tutto anomali (outlier), risultava avere una dispersione media spesso non compatibile con le approssimazioni richieste.

Nelle Figure 2.1 e 2.2 sono riportati esempi di variazioni nel tempo di quote RTK insieme con l'andamento delle quote degli idrometri di Fiumara grande e Mezzocamino.

I problemi che si sono evidenziati nella determinazione delle quote RTK si possono sintetizzare nei seguenti punti.

Si è notato che il ricevitore utilizzato nel posizionamento in RTK manteneva un flag marcato FIXED anche dopo alcuni secondi da una interruzione di ricezione di correzioni differenziali (causata da problemi di copertura di campo GSM), fornendo coordinate stimate con precisioni progressivamente minori. Questo risultava evidente in fase di rilievo nel caso di un periodo sufficientemente lungo da consentire al ricevitore di cambiare il flag delle coordinate da FIXED a FLOAT (ambiguità di fase non fissata ad intero). Invece nel caso in cui, dopo breve interruzione di connessione, le correzioni differenziali tornavano ad essere ricevute correttamente non era possibile individuare in fase di rilievo le posizioni stimate, seppur in FIXED, con precisioni non ottimali.

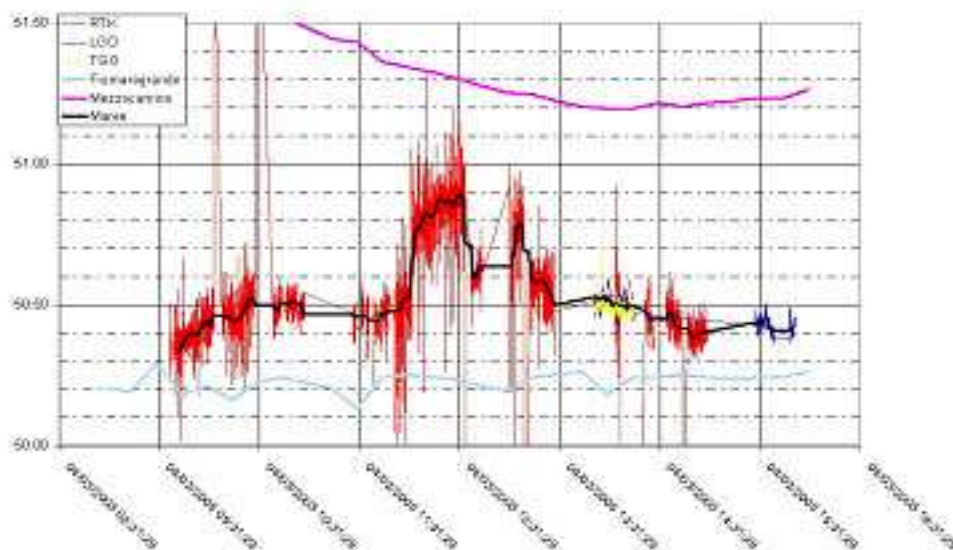


**Figura 2.1** –18/03/2005 - Variazioni nel tempo delle quote RTK (in rosso). In nero la quota mediata. Sono indicate le quote idrometriche di Mezzocamino e Fiumara Grande.

In oltre, per sua stessa natura, la precisione ottenibile tramite posizionamento GNSS, indipendentemente da metodologie e tecniche di rilievo adottate, è fortemente condizionata dal numero di satelliti tracciati e dalla qualità dei segnali ricevuti. Un basso numero di satelliti visibili, o interruzioni nella ricezione dei segnali (cycle-slips), portano ad una diminuzione di precisione ottenibile nel posizionamento. Questi problemi sono stati riscontrati in fase di rilievo, specialmente nelle zone con visibilità di cielo limitata spesso presenti nell'alveo del fiume, data la presenza degli argini e degli alberi e di ponti, il cui attraversamento da parte della imbarcazione causa inevitabilmente una interruzione nella ricezione dei segnali di tutti i satelliti tracciabili.

Un ulteriore controllo effettuato è stato il confronto con i dati degli idrometri dell'Ufficio Idrografico e Mareografico. Nel tratto del fiume investigato sono presenti 7 idrometri che registrano i livelli del fiume ogni 15 minuti. Si era anche ipotizzato in un primo tempo di utilizzare tali registrazioni per determinare le quote del fiume nei vari punti di rilievo dell'imbarcazione, ma la variabilità delle portate, l'influenza di

vari fattori come la marea alla foce, le variazioni nella pendenza dell'alveo nei diversi tratti non avrebbero permesso una determinazione delle quote con la sufficiente approssimazione. Inoltre non erano ben conosciute le quote assolute di riferimento dei vari idrometri ed il campionamento ad intervalli di 15' era stato considerato troppo basso per le finalità del rilievo.



**Figura 2.2** – 04/03/2005 – Variazioni nel tempo delle quote RTK (in rosso) In nero la quota mediata. Sono indicate le quote idrometriche di Mezzocamino e Fiumara Grande.

In ogni modo i dati degli idrometri sono stati presi in considerazione come controllo in quanto:

- le variazioni di quota determinate con il GNSS tutte le volte che l'imbarcazione passava vicino ad un idrometro dovevano essere corrispondenti ad analoghe variazioni di quota registrate dall'idrometro negli stessi tempi;
- le variazioni di quota determinate lungo una qualsiasi rotta dovevano essere compatibili con le variazioni di quota nello stesso periodo registrate dagli idrometri più vicini, tenuto conto dei possibili ritardi dovuti alla propagazione di una variazione di livello lungo il corso del fiume.

È opportuno sottolineare che l'integrazione di tutte le informazioni provenienti dai sensori veniva realizzata in tempo reale con software che non permettono il riprocessamento a posteriori dei dati. È però possibile apportare correzioni alla sola componente altimetrica del posizionamento come correzione di marea. Per sfruttare questa possibilità, al fine di avere una migliore determinazione delle quote, è stato installato a bordo un secondo ricevitore (Leica GX1230) in grado di acquisire i dati grezzi dalla stessa antenna utilizzata per il posizionamento in tempo reale tramite un opportuno splitter.

I dati acquisiti sono stati postprocessati ed utilizzati come confronto e correzione ove possibile (solo per la componente altimetrica) delle posizioni stimate in RTK.

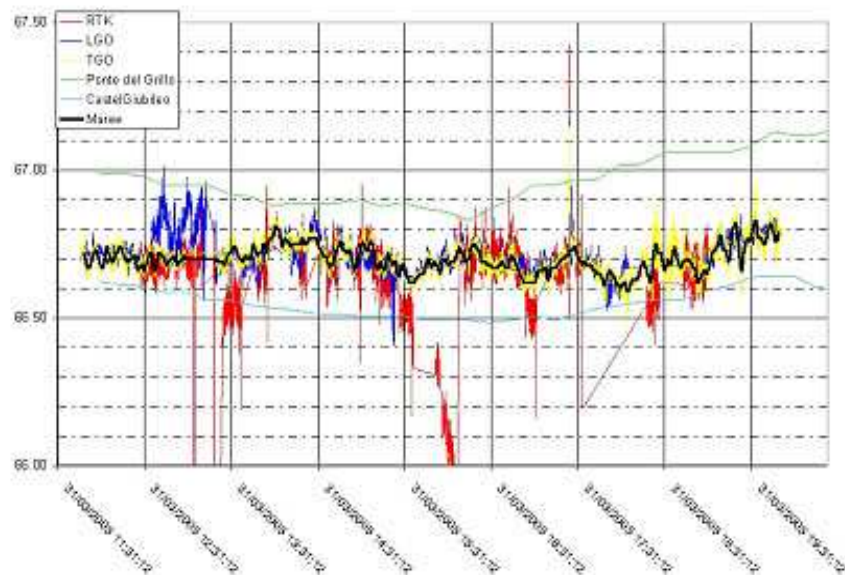
### 3 CONFRONTO RTK – POSTPROCESSING ED INTEGRAZIONE DEI DATI

Tutti i dati grezzi registrati a bordo (con un campionamento ad 1 sec.) sono stati postprocessati rispetto alla stazione permanente MOSE (Roma – S.Pietro in Vincoli).

L'elaborazione è stata condotta utilizzando due software commerciali con due distinte strategie:

- Leica Geo Office (LGO) con strategia Ionofree
- Trimble Geomatic Office (TGO) con strategia Wide-Lane

A seguito dell'elaborazione è stato realizzato un confronto sulle coordinate stimate (in termini di quote ellissoidiche) per valutare l'accuratezza dei dati RTK rispetto alle due elaborazioni sopra descritte. L'esempio riportato in Figura 3.1 (diagrammi RTK, LGO e TGO) mostra le differenze tra i risultati dei diversi tipi di elaborazione dei dati della stessa giornata di acquisizione. In particolare è possibile osservare come le quote RTK siano interessate spesso da salti e/o da derive del segnale, dovute agli effetti sistematici sopra descritti in caso di condizioni di rilievo non ottimali nel posizionamento in tempo reale (RTK). Differentemente il Post-Processing mostra una congruenza e continuità della soluzione con una diminuzione del rumore e assenza di discontinuità apprezzabili, migliorando significativamente la qualità del dato.



**Figura 3.1** – 31/03/2005 – Variazioni nel tempo delle quote RTK (in rosso), LGO (in azzurro) e TGO (in giallo). In nero la quota mediata. Sono indicate le quote idrometriche di Ponte del Grillo e Castel Giubileo.

L'ultima fase di elaborazione si è basata sullo studio del metodo di filtraggio ed interpolazione delle quote. Tale procedura è stata realizzata attraverso diversi confronti sui dati GNSS postprocessati registrati sia in condizioni cinematiche, che in condizioni "statiche", durante la notte, con l'imbarcazione ormeggiata.

L'individuazione del tipo di elaborazione nasce dall'esigenza di eliminare gli outlier residui e di attenuare le alte frequenze indotte dalla normale fluttuazione dei dati e dalle rapide oscillazioni trasversali dell'imbarcazione (heave, roll e pitch).

Inizialmente i dati sono stati elaborati applicando mediane, sia su finestra fissa che mobile, con intervalli temporali di ampiezza variabile. La lunghezza temporale della finestra è critica in quanto al suo aumentare cresce la regolarizzazione, ma aumentano gli effetti dovuti alla non linearità delle quote reali nella finestra temporale considerata, non linearità dovuta ad esempio ad inversioni di rotta, a variazioni

della velocità dell'imbarcazione, ecc.

Dopo una serie di prove ed il loro confronto, la media mobile su finestra di 2 minuti, su dati precedentemente trattati con mediana sempre su finestra mobile di 2 minuti, ha fornito una soluzione che si è ritenuta ottimale per la correzione degli errori casuali presenti sulle singole quote, considerate anche la velocità dell'imbarcazione e la rapidità di variazione del pelo libero dell'acqua lungo il fiume. Tali medie sono riportate a linea continua nei diagrammi di Figura 3.1 in cui vengono riportati anche i dati elaborati in post processing (TGO – LGO) prima dell'applicazione dei filtri oltre che al dato RTK. Per una scelta più consapevole della lunghezza della finestra di filtraggio sarebbe stato utile avere registrazioni degli idrometri con campionatura almeno ogni minuto. Si sarebbe in tal modo potuto meglio valutare la variabilità reale delle quote dell'acqua a corto periodo rispetto alla variabilità dovuta a rumore.

#### 4 CONCLUSIONI

L'analisi ed il confronto dei dati ottenuti sia in tempo reale che in postprocessamento ha permesso di portare a termine con successo la georeferenziazione dei dati di tutti i sensori operanti a bordo con le accuratezze necessarie (5 cm per le componenti planimetriche, 10 cm per la componente altimetrica).

Le difficoltà incontrate sono state molteplici: alcune legate strettamente alla natura del rilievo condotto oltre alle tecniche utilizzate.

Per quanto riguarda le prime, i problemi maggiori sono stati causati dalle ostruzioni presenti lungo il corso del fiume specialmente in ambito urbano (quali ad esempio l'attraversamento di numerosi ponti e la navigazione nelle prossimità dei muraglioni) e quindi, anche in futuri rilievi simili, di difficile soluzione.

Per quanto riguarda le tecniche utilizzate, se da un lato è utile sottolineare che l'infrastruttura utilizzata (la rete RESNAP-GPS) era nel periodo del rilievo (primavera 2005) ancora nella fase embrionale e non perfettamente consolidata, dall'altro è possibile affermare che i problemi maggiori sono legati all'apparato di trasmissione utilizzato. Allo stato attuale questi problemi possono essere risolti utilizzando, come veicolo per la trasmissione di correzioni differenziali, il protocollo NTRIP. Questo protocollo, ove sostanzialmente il flusso dati tra reti di stazioni permanenti e ricevitori rover avviene in ambiente Internet, garantisce maggiore stabilità ed affidabilità.

È quindi possibile affermare che, in futuri rilievi, i problemi legati alla navigazione di precisione in tempo reale (o a posteriori), potranno essere risolti più agevolmente, sfruttando le potenzialità crescenti delle reti di stazioni permanenti.

#### 5 RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito della Convenzione che il Dipartimento Idraulica Trasporti e Strade (DITS) della Sapienza Università di Roma ha stipulato con la Regione Lazio – Dipartimento Territorio – Direzione Regionale Ambiente e Protezione Civile (attualmente Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli). Tale Convenzione, su finanziamento dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, approvata con Det. Dir. N° B2426 del 22/7/2004, aveva come finalità uno studio denominato "Attività Sperimentale di Rilievo dei Fondali del Fiume Tevere con Metodologia Multibeam" avente per tema lo studio batimorfologico e sismostratigrafico del tratto terminale dell'alveo del Fiume Tevere dalla Foce fino a Ponte del Grillo. La Convenzione è stata successivamente integrata con un Contratto per Attività di Servizio del 13/7/2006 tra lo stesso DITS, l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e la Regione Lazio dal titolo "Integrazione attività sperimentale di rilievo dei fondali del Fiume Tevere con metodologia Multibeam", avente come tema la messa a punto di particolari metodologie e la loro applicazione ai dati già raccolti per una loro più raffinata elaborazione.