

La Rete Geodetica Costiera della Regione Emilia-Romagna

Stefano Gandolfi^(a), Nunzio De Nigris^(b), Maurizio Morelli^(b), Luca Tavasci^(b),
Luca Poluzzi^(a), Nicola Cenni^(a)

^(a) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2, 40136, Bologna

^(b) Unità Mare Costa – Servizio IdroMeteoClima Arpae, Viale Silvani, 6, 40122, Bologna

Introduzione

Il litorale emiliano-romagnolo costituisce un'importante ricchezza naturalistica e socio-economica a livello nazionale, per questo motivo la difesa della costa è tra i temi d'interesse dell'azione di governo della Regione Emilia-Romagna e di diversi Enti locali. La conoscenza dello stato attuale della costa e della sua evoluzione nel tempo sono tra i requisiti fondamentali per una corretta definizione delle politiche di salvaguardia del patrimonio paesaggistico – ambientale e di tutela del quadro economico della fascia costiera. Per questo motivo da diversi decenni l'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (Arpae), su incarico della Regione, svolge attività di monitoraggio per l'individuazione delle dinamiche costiere ed il riconoscimento dei vari fattori incidenti sulla dinamica litoranea e le criticità presenti. In questo ambito si inseriscono le periodiche campagne di rilievo topografico e/o batimetrico della spiaggia emersa e dei fondali antistanti. Queste misure sono indispensabili per monitorare la continua evoluzione del litorale dovuto al fenomeno dell'erosione costiera e decidere quali politiche adottare per la sua conservazione nel tempo. Una delle tecniche di conservazione è il ripascimento, tecnica che prevede l'apporto di sabbia proveniente da accumuli litoranei e giacimenti sottomarini nelle zone più colpite dall'erosione. Per svolgere adeguatamente questa attività è fondamentale conoscere la quantità di materiale eroso dal mare e questo valore viene solitamente stimato confrontando tra loro i rilievi topografici e/o batimetrici eseguite nella medesima area in tempi diversi. Al fine di poter correttamente confrontare rilievi eseguiti in periodi diversi, e anche da ditte differenti, è necessario definire in modo univoco un sistema di riferimento a cui riferire tutti i rilievi. Tale sistema di riferimento è bene che sia adeguato per precisione e materializzazione alle tecniche di rilievo che si intendono utilizzare. Per questo motivo l'Unità Mare Costa di Arpae, per conto della Regione Emilia-Romagna, ha riscontrato la necessità di costruire una struttura geodetica di riferimento per le future attività di monitoraggio lungo il litorale emiliano-romagnolo. In questo lavoro vengono descritte le varie fasi che hanno condotto alla creazione di questa struttura di riferimento denominata Rete Geodetica Costiera (RGC), realizzata dall'Unità Mare Costa di Arpae in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DiCAM) dell'Università di Bologna.

Progettazione della Rete Geodetica Costiera

La realizzazione della Rete Geodetica Costiera (di seguito RGC) di riferimento per i futuri rilievi topo-batimetrici che verranno eseguiti lungo la costa emiliano-romagnola, ha richiesto una fase preliminare di studio volta a definire le caratteristiche progettuali della rete e che vengono riportate di seguito:

- al fine di facilitare le diverse operazioni di controllo e monitoraggio, la RGC deve essere sufficientemente densa. In particolare, considerando i modi usuali di utilizzo che basano il rilievo topo-batimetrico su sistemi GNSS RTK, è stata individuata in 4-5 Km l'interdistanza ottimale tra i vertici;
- la posizione dei vertici appartenenti alla RGC deve essere nota con precisioni centimetriche ($s_{qm} \leq 2\text{cm}$) sia in termini planimetrici che altimetrici.
- vertici devono, per quanto possibile, essere collocati in prossimità della costa e comunque in siti che garantiscano la loro stabilità nel tempo;
- la posizione dei vertici deve essere misurabile sia con tecniche classiche che spaziali (GNSS);
- per ciascun vertice devono essere stimate sia le quote ellissoidiche che quelle ortometriche;
- la posizione dei vertici RGC deve essere erogata nel sistema di riferimento geodetico ufficiale nazionale ETRF2000, epoca 2008.0 come descritto nel Decreto Ministeriale del 10 novembre 2011.
- per la realizzazione di tale infrastruttura geodetica è preferibile utilizzare vertici o capisaldi preesistenti per evitare duplicazioni e limitare i costi dell'intervento.

Per dare un seguito a quest'ultima scelta nella prima fase di progettazione è stata condotta un'attenta valutazione delle reti già esistenti sul territorio con lo scopo di individuare vertici e/o capisaldi esistenti e che soddisfacessero le caratteristiche sopra menzionate. In particolare sono state analizzate in dettaglio: la rete di livellazione per il monitoraggio della subsidenza di Arpae, la rete GPS-7 della Regione Emilia Romagna, le reti di livellazione e GPS dell'Istituto Geografico Militare (IGM95) e i vertici delle reti appartenenti ai differenti Enti che si occupano del monitoraggio del territorio della provincia di Ferrara e del delta del fiume Po, come ad esempio il Consorzio di Bonifica della Provincia di Ferrara e la rete d'inquadrimento dei mareografi della Sacca di Goro. In particolare, si è partiti dall'esame dei diversi capisaldi appartenenti alla rete di livellazione realizzata da Idroser ed ereditata da Arpae (realizzata nel 1984 e rilevata con livellazione dal mezzo di altissima precisione fino al 2005) per finalità di monitoraggio della subsidenza. Si è preferito utilizzare questa infrastruttura geodetica come primaria per due ragioni, la prima perché all'impianto la rete di livellazione era omogenea nella definizione del datum di altezza e la seconda perché era una infrastruttura realizzata dallo stesso ente della RGC. Nonostante la densità di capisaldi presenti nella rete di livellazione Arpae d'impianto sia in linea teorica più che soddisfacente per le finalità del progetto, la realizzazione della RGC si è sovrapposta alla rete Arpae solo parzialmente sia per l'inadeguatezza di alcuni capisaldi di livellazione per un rilievo GNSS sia per via della fisiologica "mortalità dei capisaldi" dovuta

principalmente ad interventi di ammodernamento delle strutture ed infrastrutture viarie che ha visto una significativa riduzione dei capisaldi realmente presenti sul territorio specialmente in alcune aree. Laddove il caposaldo Arpae fosse consono per requisiti alle esigenze della nuova rete è stato semplicemente necessario eseguire un rilievo GNSS. Laddove non si trovavano capisaldi Arpae con le caratteristiche richieste si è proceduto prima con la valutazione di altri capisaldi o vertici appartenenti ad altre reti e in ultima ratio con l'individuazione di aree consone alla materializzazione di vertici ex-novo.

Campagne di misura ed Analisi Dati

Nel precedente capitolo è stata descritta la fase di progettazione della Rete Geodetica Costiera, successivamente a questa sono state eseguite 6 campagne di misura sui capisaldi e/o vertici individuati nella fase di progetto. Su ogni singolo vertice sono state necessarie diverse azioni tra cui, l'aggiornamento della monografia esistente con anche l'acquisizione di nuovo materiale fotografico, il rilievo della posizione tridimensionale mediante la tecnica GNSS utilizzando due diverse modalità, quella statica e quella in tempo reale NRTK (Network Real Time Kinematic). Per quanto riguarda la modalità statica si è scelto di acquisire osservazioni per un periodo di tempo dai 30 ai 60 minuti. I rilievi di tipo NRTK sono stati eseguiti utilizzando il servizio di posizionamento di precisione in tempo reale gestito dalla Fondazione dei Geometri e Geometri Laureati dell'Emilia Romagna (Foger, NetGEO-Topcon). Il rilievo in tempo reale è stato eseguito almeno due volte, una prima volta stazionando 5 minuti e 10 minuti per le successive. Si sottolinea che il rilievo ottenuto dal servizio di posizionamento in tempo reale della Foger è stato realizzato principalmente per uno studio circa la stabilità di tali servizi in aree di costa dove molto spesso le correzioni d'area lavorano per estrapolazione più che per interpolazione.

Come riportato in precedenza, la finalità della Rete Geodetica Costiera è quella di fornire una infrastruttura geodetica riferita ad un unico sistema di riferimento da utilizzarsi per georiferire tutti i rilievi volti al monitoraggio della zona costiera della Regione Emilia-Romagna. Questo sistema di riferimento è un aspetto convenzionale che deve da un lato essere di semplice applicazione e dall'altro deve essere formalmente riconosciuto e quindi aderente al D.M. del 10 novembre 2011; che definisce, per le Pubbliche Amministrazioni, come sistema di riferimento geodetico nazionale la realizzazione ETRF2000 - all'epoca 2008.0 - del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89. Questo è da un lato un sistema geodetico globale ma dall'altro è definito in modo statico e "congelato" ad una ben definita epoca (2008.0 ossia 1 gennaio 2008). La definizione delle posizioni della rete al sistema di riferimento sopramenzionato pone alcune criticità realizzative che, per poter essere superate, ha visto un primo inquadramento dei rilievi GNSS eseguiti nel sistema di riferimento ITRS ed in particolare, nel caso specifico, al frame di riferimento ITRF08. L'inquadramento in tale sistema di riferimento è possibile se si dispongono di stazioni GNSS permanenti in acquisizione da almeno 3 anni (in modo da poter stimare velocità con precisione sufficientemente accurata). Nel territorio considerato esistono attualmente diverse stazioni di riferimento

monitorate costantemente dal gruppo di Geomatica del DICAM e di cui sono note posizioni e velocità nel sistema di riferimento ITRS. La figura 1 mostra la distribuzione delle stazioni GNSS permanenti presenti sul territorio vicino al litorale emiliano-romagnolo, le cui osservazioni sono state acquisite per stimare la posizione dei vertici RGC.

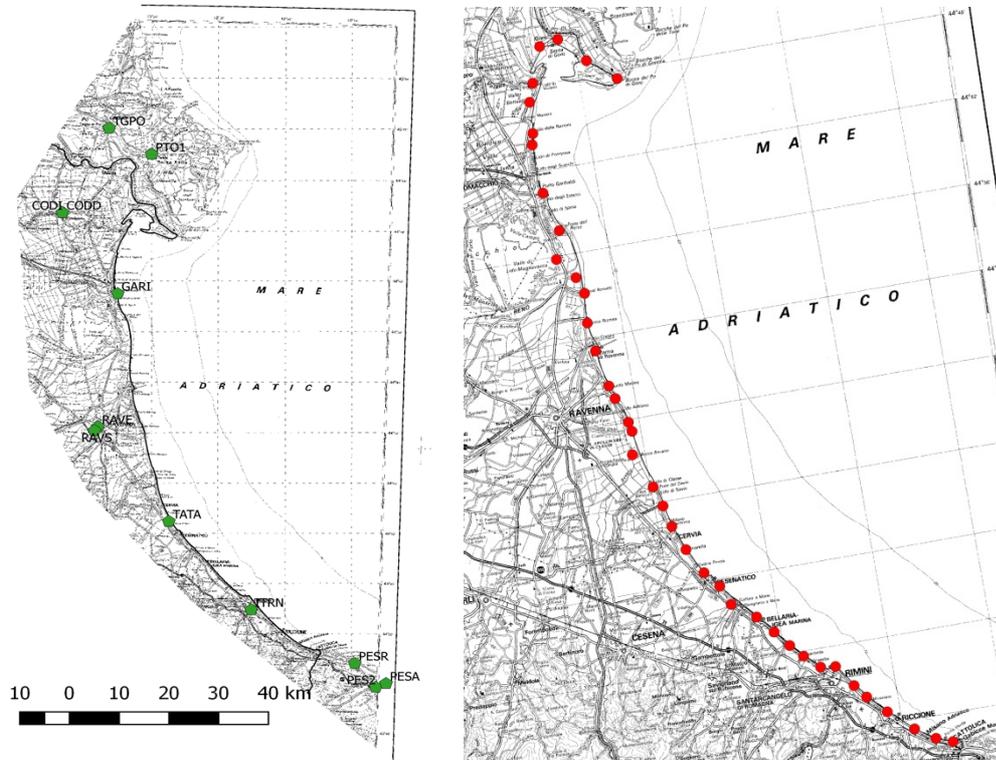


Figura 1 – Rete Geodetica Costiera. A destra vi è la distribuzione delle stazioni GNSS permanenti utilizzate per l'inquadramento geodetico della Rete Geodetica Costiera. A sinistra vi è la distribuzione dei vertici della Rete Geodetica Costiera.

Le stazioni permanenti GNSS sono state utilizzate come rete di riferimento per tutti i vertici RGC. In particolare, per poter stimare le coordinate dei punti della rete con le precisioni richieste, si è proceduto con un classico approccio differenziale. Sono state quindi calcolate le *baseline* utilizzando come criterio quella della *baseline* più corta (non sono mai state realizzate *baseline* superiori a 10 km in quanto tale aspetto ha garantito una stima in linea con quanto preventivato). Nel caso in cui i vertici si trovassero entro un raggio di 10 km da una delle stazioni permanenti si sono generate *baseline* direttamente tra vertice e la stazione permanente GNSS più prossima mentre nel caso in cui il vertice si trovasse a distanze superiori allora lo schema di progetto prevedeva di stimare *baseline* tra punti della rete fino a generare una sorta di "poligonale ad estremi vincolati su due stazioni permanenti". Le diverse *baseline* sono state generate utilizzando due differenti programmi di calcolo RTKLIB (<http://www.rtklib.com/>) e Gamit (Herring et al. 2015). Successivamente, le coordinate cartesiane della posizione di ciascun vertice RGC sono state stimate mediante compensazione in blocco a *vincoli sovrabbondanti* sulle posizioni delle stazioni GNSS permanenti (note con precisioni millimetriche). L'epoca di riferimento della posizione dei vertici RGC è quella in cui sono state svolte le diverse campagne di misura (agosto 2016 e maggio 2017), per poterle

esprime nel sistema di riferimento nazionale è necessario in primo luogo riportare queste coordinate alla data 2008.0. Questa operazione è stata eseguita utilizzando le velocità delle stazioni GNSS permanenti stimate dal gruppo di Geomatica del Dicam nell'ambito di diversi progetti di monitoraggio di fenomeni geofisici, geologici ed antropici (Cenni et al. 2013). Successivamente, tramite le opportune trasformazioni di Similarità (Boucher e Altamimi 2008) le posizioni dei vertici RGC sono state riportate al sistema di riferimento ETRF2000 epoca 2008.0. A questo punto le coordinate cartesiane sono state convertite utilizzando l'ellissoide di riferimento WGS84 in geografiche ottenendo quindi anche le quote ellissoidiche. La quota ellissoidica risulta essere una componente poco utile per progettazioni di natura tecnica o per rappresentazioni cartografiche ma utile per applicazioni di monitoraggio, per questo motivo, come descritto precedentemente nelle prescrizioni di progettazione, per ogni vertice è stato necessario stimare anche la quota ortometrica. Il passaggio da quota ellissoidica a quota ortometrica è stato realizzato a partire dalla rete di livellazione Arpae che per molte aree coincide anche con la RGC. Le quote ortometriche di tali capisaldi sono state definite a partire dalle quote d'impianto e corrette con i modelli ufficiali di subsidenza ottenuti dall'interferometria SAR integrata con stazioni GNSS permanenti. Partendo da tale presupposto, nell'ipotesi in cui il vertice coincideva con quello della rete Arpae, la quota ortometrica associata al punto poteva essere ottenuta semplicemente applicando il modello di subsidenza all'ultima quota ortometrica misurata, nel caso invece in cui il vertice fosse o appartenente ad un'altra rete oppure di nuova istituzione, eseguendo misure di livellazione geometrica dal mezzo di alta precisione tra il vertice stesso ed il caposaldo Arpae più prossimo e successivamente riportare la quota aggiornata sul vertice. In Figura 2 è mostrata la posizione dei vertici RGC ottenuta al termine della procedura di analisi dei dati GNSS acquisiti in modalità statica.

Conclusioni

La Rete Geodetica Costiera, struttura di riferimento indispensabile per le future attività di monitoraggio, indispensabili per una corretta gestione del litorale emiliano – romagnolo è stata realizzata a partire dalle infrastrutture geodetiche presenti nel territorio seguendo una logica del riuso che ha evitato inutili duplicazioni di vertici e garantito un risparmio economico. I rilievi sono stati eseguiti utilizzando la tecnica GNSS sia in modalità statica che in tempo reale (NRTK). La precisione sulle singole posizioni dei vertici RGC prescritta in fase progettuale è stata raggiunta grazie all'analisi delle osservazioni statiche mediante due differenti programmi di calcolo (RTKLIB e Gamit) e ad un approccio classico che ha analizzato le baseline stimate con questi software mediante una compensazione in blocco. Al termine del calcolo la posizione dei vertici RGC è stata definita nel sistema di riferimento geodetico nazionale, per essere correttamente usata dalle Pubbliche Amministrazioni per le operazioni di monitoraggio legate al controllo costiero.

Riferimenti bibliografici

Boucher C. & Altamimi Z., 2008, Memo : Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, technical note published on we at <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>

Cenni N., Viti M., Baldi P., Mantovani E., Bacchetti M., Vannucchi A. (2013), Present vertical movements in central and northern Italy from GPS data: possible role of natural and anthropogenic causes, *Journal of Geodynamics*, 71, 74-85 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2013.07.004>.

Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. (2015), *GAMIT Reference Manual, GPS Analysis at MIT, Release 10.6*. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusset Institute of Technology, Cambridge MA.