Analisi dell'andamento del livello del mare e reti di stazioni permanenti GNSS

Nicola Perfetti (*), Alberto Pellegrinelli (*), Paolo Russo (*)

(*) Engineering Department IN Ferrara (ENDIF) - Università degli Studi di Ferrara, via G. Saragat 1, 44100 Ferrara,
e-mail: nperfetti@ing.unife.it, tel. 0039-0532-1912023

Riassunto
Il presente contributo è incentrato su alcuni problemi emersi in uno studio recente e riguardante il mareografo di Porto Corsini (in provincia di Ravenna). I risultati preliminari indicano che, a causa della subsidenza del territorio ravennate, non è possibile separare la variazione del livello del mare dal movimento proprio della stazione mareografica. È quindi difficile stabilire in modo accurato il livello medio mare e la sua velocità di variazione, ed il conseguente inquadramento di queste informazioni nel datum altimetrico nazionale.
La recente diffusione di reti di stazioni permanenti GNSS offre la possibilità di affrontare lo studio del livello medio del mare nello stesso sistema di riferimento dei GNSS. L'imminente integrazione di strumenti GNSS e mareografici permetterà di separare i movimenti propri della struttura ove alloggia il mareografo dalle variazioni del livello del mare, consentendo un'accurata stima del livello medio del mare e della sua velocità di variazione.

Abstract
The paper concerns a recent study regarding the tide gauge data of the Porto Corsini (Ravenna) station. The preliminary results show some problems: the land subsidence in Ravenna area prevent correct sea level variation estimation. Then, it is difficult to estimate correctly the mean sea level and the sea level rise. It is also difficult to get these information in the national altimetric datum.
Today, the sea level variations can be studied in the same reference system of the GNSS, thanks to the recently developed permanent networks. The forthcoming integration between tide gauge stations and the GNSS instruments will enable us to distinguish between sea level rise and tide gauge station motion.

Introduzione

Alcuni problemi legati ai sistemi di riferimento altimetrici adottati da enti territoriali operanti nella provincia di Ferrara, hanno spinto gli autori di questo lavoro ad affrontare lo studio dei dati mareografici disponibili per il territorio nazionale, e di quelli riguardanti la pianura padana orientale in particolare, con l'intento di correlare detti sistemi al livello del mare Adriatico. I sistemi di riferimento adottati dagli enti sono spesso frutto di convenzioni interne agli stessi. Non sempre sono collegati direttamente al livello del mare e quasi mai tengono conto dei fenomeni di abbassamento del terreno. Così può capitare che le reti di livellazione realizzate e utilizzate da questi enti, inizialmente inquadrate rispetto a capisaldi della Nuova Rete Altimetrica Fondamentale dell'IGM, a distanza di tempo non siano più congruenti con essa. Per un territorio come quello della provincia di Ferrara, la conoscenza del livello del mare è di rilevanza fondamentale, tenuto conto dell'altimetria (buona parte del territorio si trova sotto il livello del mare) e dell'importanza che ha la rete idrografica in esso presente. Nell'affrontare il problema, si sono poste alcune questioni. Il datum altimetrico nazionale è riferito al livello medio del mare di Genova 1942, informazione, questa, "datata". Il livello medio del mare Tirreno non è detto coincida con quello del mare Adriatico. A

tale riguardo, l'unico dato reperito in bibliografia è dovuto a Salvioni (Salvioni, 1957) che determinò un dislivello tra il livello medio mare di Genova e quello di Venezia di -8 mm (il primo è più alto del secondo), con uno scarto quadratico medio di 14.4 mm. Per quanto riguarda la velocità di variazione del livello del mare, a livello globale si hanno stime di un innalzamento di 1-3 mm/anno (Miller e Douglas, 2004). Per il bacino del Mediterraneo essa varia da 0.4 mm/anno nella parte occidentale a 9 mm/anno nella parte orientale (Fenoglio-Marc, 2002), con una media di 7 mm/anno (Cazenave et al., 2002).
Per cercare di risolvere il problema si sono recuperati i dati di alcune stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale (RMN), disponibili al sito internet http://www.idromare.com, al fine di effettuarne un'analisi e di correlare i risultati di questa ai dati altimetrici del territorio. L'analisi è stata condotta con l'intento di valutare un livello medio mare e la velocità di variazione del livello stesso nelle varie stazioni mareografiche. Rapportando il livello medio del mare ottenuto alla quota dei capisaldi di livellazione presenti nelle vicinanze dei mareografi è, in teoria, possibile mettere in relazione l'altimetria del territorio al livello del mare. Sin dall'inizio dello studio sono risultati evidenti problemi dovuti alla qualità dei dati ed alla stabilità delle cabine mareografiche (dovuta per esempio al fenomeno della subsidenza). Il presente lavoro riguardante la stazione di Porto Corsini (Ravenna), rappresenta un'esemplificazione dei problemi riscontrati ed ha l'obiettivo di "porre il problema" ad una platea più vasta di quella costituita dai soli enti della provincia di Ferrara, con l'intento di trovare spunti comuni per la ricerca.

La Rete Mareografica Nazionale e i dati mareografici
La RMN (Figura 1) è gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) per conto dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT).

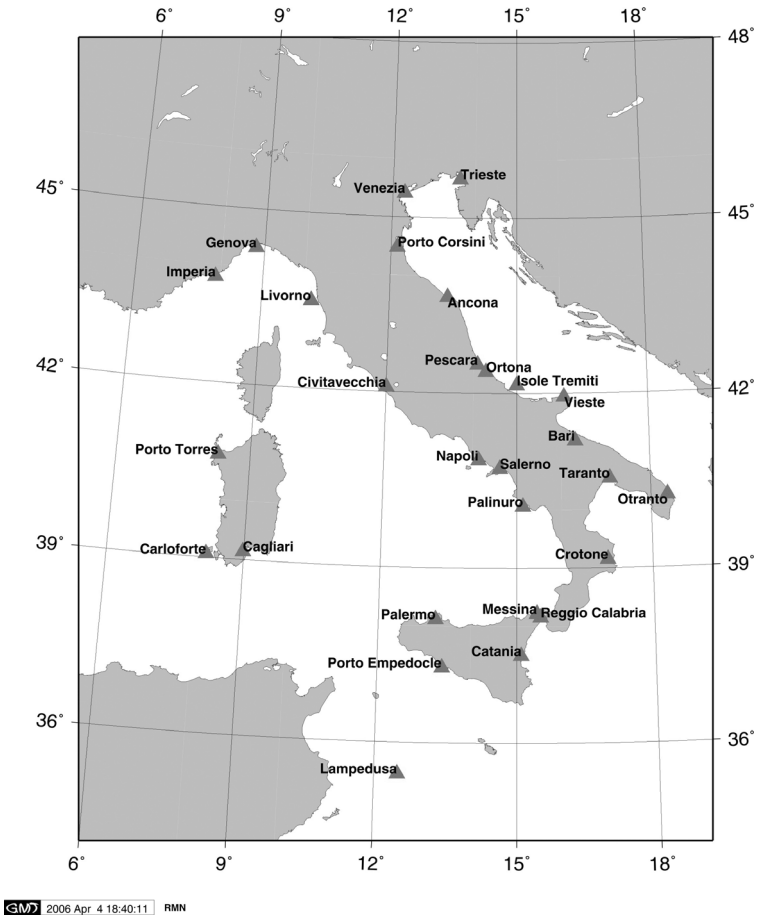

Figura 1 - Stazioni della Rete Mareografica Nazionale.

La rete è costituita da 28 stazioni, uniformemente distribuite lungo le coste del territorio nazionale e dotate di mareografi (uno ad ultrasuoni ed uno a galleggiante), quotati rispetto a capisaldi della Nuova Rete Altimetrica Fondamentale dell'IGM. Gli strumenti registrano la posizione altimetrica del livello marino. I dati raccolti sono messi a disposizione sotto forma di misure di livelli del mare orarie. Ulteriori informazioni sono disponibili al sito http://85.45.103.204/index_i.htm. In un prossimo futuro alla Rete Mareografica Nazionale (RMN) dovrebbe essere affiancata una "Rete Costiera di stazioni GPS permanenti" (Bonci et al., 2005).

Analisi dei dati della stazione di Porto Corsini (Ravenna)

I dati orari registrati dall'epoca 1975.0 all'epoca 2006.0, scaricati dal sito http://www.idromare.com, sono stati trasformati in medie giornaliere (Figura 2). Nella figura sono evidenti "buchi", cioè periodi di tempo per i quali non sono disponibili dati (in particolare tra il 1975 e il 1986 e tra il 1990 e il 1996). È evidente un salto tra le misure raccolte nel 1975 e quelle acquisite dall'agosto del 1986. I dati prima del 1986 non sembrano indicare la posizione del livello marino rispetto ai capisaldi di livellazione della Nuova Rete Altimetrica Fondamentale dell'IGM. Queste tipologie di problemi sono evidenti anche nei dati di altre stazioni della RMN, e possono creare difficoltà nella stima del livello medio del mare ad una certa epoca e della sua velocità di variazione. Indicazioni sugli effetti dei salti nelle serie temporali di dati e sulla stima della loro entità si trovano in Williams (Williams, 2003) e Perfetti (Perfetti, 2006).

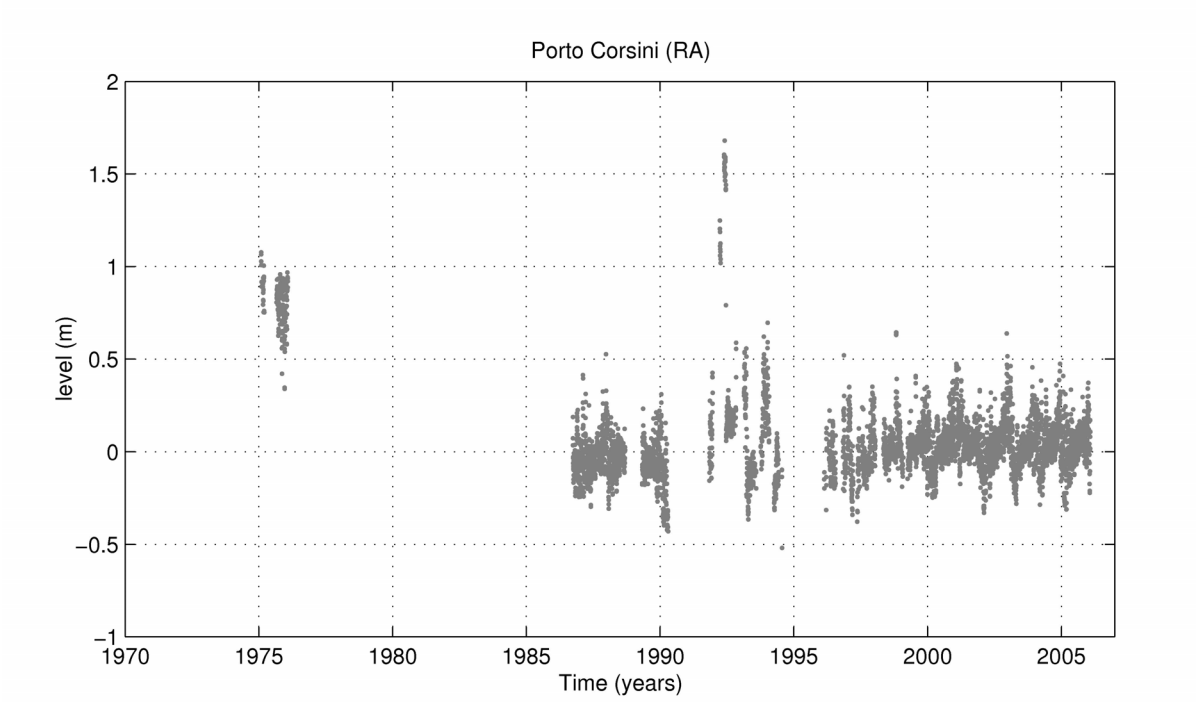

Figura 2 - Dati mareografici giornalieri della stazione di Porto Corsini

In Figura 3 è riportata l'interpolazione lineare dei dati. La tecnica utilizzata è la stessa descritta in Perfetti (Perfetti, 2006). I parametri stimati sono il livello all'epoca 1970.0 (z_0) e la velocità di variazione del livello del mare (v_z). Questa viene considerata uguale prima e dopo il salto. Il presente lavoro è un'estrapolazione di uno studio più ampio nel quale sono coinvolte altre stazioni della RMN, l'epoca di riferimento 1970.0 è stata scelta perché anteriore alle date di inizio delle registrazionei dei dati di tutte le stazioni utilizzate.

I risultati indicano per z_0 un valore di 795 ± 14 mm e per v_z un valore di 3 ± 1 mm/anno. Il salto tra il 1975 e il 1986 è stato stimato essere pari a -853mm ± 17mm. Le misure sono state ritenute di

uguale precisione (le misure dei mareografi ad ultrasuoni hanno un errore variabile da 5 a 20 mm) e non si è tenuto conto degli effetti sistematici in esse presenti.
Poiché i dati raccolti negli anni settanta non sembrano essere indicativi dell'effettiva posizione altimetrica del livello del mare, è stato dedotto (in luogo di z_0) il livello del mare anche all'epoca 2000.0 (z_{2000}), che risulta pari a 38mm ± 37 mm.
Tenuto conto inoltre dell'andamento dei dati prima del 1996.0, è stata ri-calcolata la velocità di variazione del livello del mare, sulla base delle sole misure successive a tale data, essa risulta essere di 6 ± 1 mm/anno.

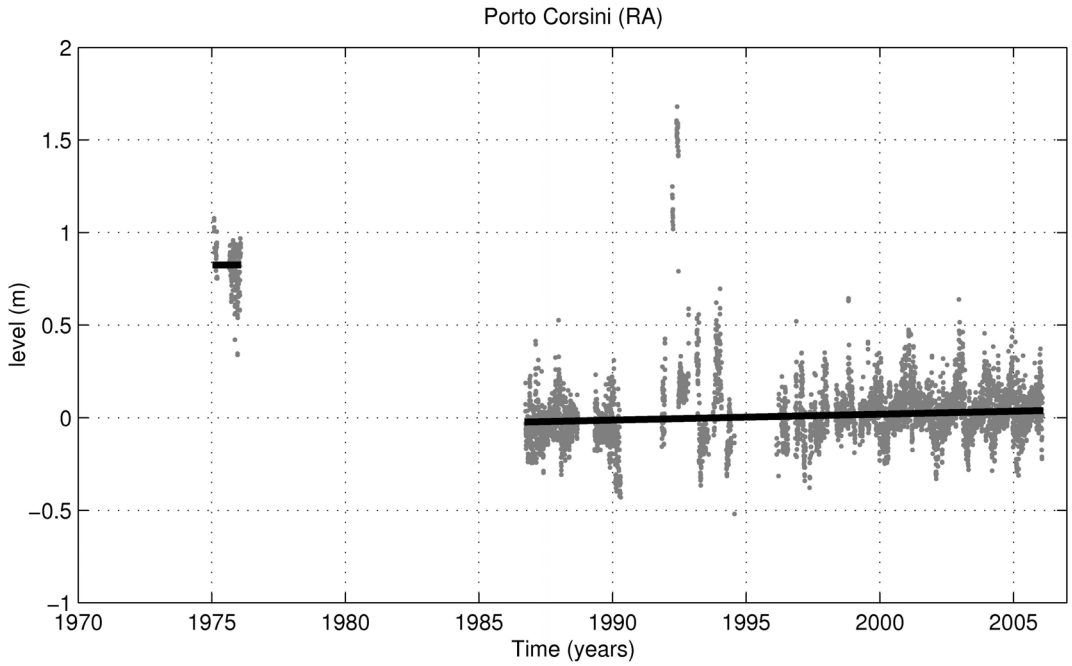

Figura 3 - Interpolazione lineare dei dati mareografici giornalieri della stazione di Porto Corsini

La stazione mareografica di Porto Corsini (Figura 4) è sita, in realtà, nella parte del molo di Marina di Ravenna e si trova in una zona soggetta a subsidenza. Assumendo per la stazione la velocità di abbassamento stimata a Marina di Ravenna, che è pari a 12 mm/anno (Benedetti et al., 2000), il valore determinato per la velocità di variazione del livello del mare può, a seconda di come interpretato, assumere significati particolari. Per esempio, se i dati mareografici non tengono conto della subsidenza, allora la velocità di variazione del livello del mare determinata è somma di quella dovuta alla subsidenza e di quella propria del mare. Ciò significherebbe che il livello del mare sta diminuendo.
In uno studio approfondito, si dovrebbe tenere anche conto dell'effetto del carico atmosferico e idrologico sulla crosta terrestre (van Dam et al., 2001; Blewitt e Lavallée, 2002) e quindi sulla cabina mareografica. Per l'Italia ciò si traduce in un oscillazione con periodicità annuale e di intensità variabile da 1 a 6 mm (Pellegrinelli et al., 2005)

Figura 4 - La cabina della stazione mareografica di Porto Corsini

Conclusioni

Dall'analisi effettuata risulta evidente la difficoltà di definire il livello medio mare e la sua velocità di variazione a Porto Corsini. La velocità stimata sembra in linea con i dati in bibliografia, se non si tiene conto della subsidenza. Utilizzando tale dato si ottengono risultati in controtendenza. È evidente la necessità di integrare, quanto prima, le stazioni mareografiche in una rete di stazioni GNSS permanenti, al fine di separare i movimenti della stazione dalle variazioni del livello del mare. Solo in questo modo sarà possibile avere stime accurate del livello medio del mare ad una epoca prefissata e della sua velocità di variazione.

Bibliografia

Benedetti G., Bitelli G., Bonsignore F., Draghetti T., Unguendoli M., Zavatti A. (2000), "Land subsidence in the Emilia-Romagna region, northen Italy", *Proceedings of Sixth International Symposium on Land Subsidence*, Vol.1: 61-76. Ravenna-Italy 24-29 september 2000

Blewitt G., Lavallée D. (2002), "Effect of annual signals on geodetic velocity", *Journal of Geophysical Research* 107(B7), doi 10.1029/2001JB000570

Bonci L., Calcaterra S., Gambino P., Giuliani R., Mattone M. (2005), "Le reti GPS del servizio geofisica di APAT", *Atti del Convegno Sifet 2005*, Palermo 29 giugno - 1 luglio 2005

Cazenave A., Bonnefond P., Mercier F., Dominh K., Toumazou V. (2002), "Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges", *Global and Planetary Change* n.34: 59–86

Fenoglio-Marc L. (2002), "Long-term sea level change in the Mediterranean Sea from multi-satellite altimetry and tide gauges", *Physics and Chemistry of the Earth* n.27: 1419–1431

Miller L., Douglas B.C. (2004), "Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise", *Nature* 428: 406-409, doi: 10.1038/nature02309

Pellegrinelli A., Perfetti N., Russo P. (2005), "Time series analysis of daily solutions of IGFN permanent GPS stations", *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* Vol. 46, n. 2-3: pp. 85-97
Perfetti N. (2006), "Detection of station coordinate discontinuities within the Italian GPS Fiducial Network", in pubblicazione sulla rivista *Journal of Geodesy*
Salvioni G. (1957), "Confronto fra i livelli medi mare a Genova e a Venezia", *Bollettino di Geodesia e Scienze* Affini Anno XVI, n. 4: 539-545
Van Dam T., Wahr J., Milly P.C.D., Shmakin A.B., Blewitt G., Lavallee D., Larson K.M. (2001), "Crustal displacements due to continental water loading" *Geophysical Research Letters* 28(7):651–654
Williams S.D.P. (2003), "Offsets in global positioning system time series", *Journal of Geophysical Research* 108(B6):2310, doi:10.1029/2002JB002156