UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Integrazione di metodologie per il monitoraggio dei corsi d'acqua

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Integrazione di metodologie per il monitoraggio dei corsi d'acqua / Chiaverini, I., Ostuni, D., Teruggi, L.B., Farenga, M.. - ELETTRONICO. - (2012), pp. 439-444. (16a Conferenza Nazionale ASITA Vicenza Novembre 2012).

Availability:

The webpage https://hdl.handle.net/2158/1007382 of the repository was last updated on 2015-10-01T09:25:52Z

Publisher:

ASITA

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

Publisher copyright claim:

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

09 October 2026

Integrazione di metodologie per il monitoraggio dei corsi d'acqua

Ivan Chiaverini (*), Daniele Ostuni (*), Liliana B. Teruggi (*), Marcelo Farenga (**)

(*) Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze, Via S. Marta 3, Tel 055/4796220
(**) Instituto de Geologia de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, Funes 3350

Riassunto
L'obiettivo di questo contributo è quello di relazionare sui risultati fino ad oggi conseguiti nello studio di aspetti metodologici del monitoraggio di un corso d'acqua con l'uso di aerei ultraleggeri (ULM) e camere digitali commerciali calibrate. In particolare sono considerati alcuni aspetti relativi al grado di dettaglio necessario per questo tipo di indagini e le specifiche problematiche operative formulando una prima valutazione sull'efficacia degli strumenti e metodi utilizzati.

Abstract
The purpose of this paper is to report on the results so far achieved in the study of the methodological aspects of monitoring river morphology using ultralight aircraft (ULM) and commercial digital calibrated cameras. In particular, are considered some aspects related to the degree of detail required for this type of investigation and the specific operational problems for an initial valutation of the effectiveness of the tools and methods used.

Premessa
Le variazioni morfologiche e le tendenze evolutive degli alvei rappresentano una conoscenza importante nello studio della dinamica fluviale, sia per individuare le condizioni di rischio, sia per la gestione dell'alveo e dei suoi sedimenti.
Negli ultimi anni è migliorata sensibilmente la qualità e quantità degli strumenti di acquisizione e, come in altri settori della geomatica, anche per lo studio della morfologia fluviale si ricorre diffusamente all'integrazione tra il tradizionale rilievo diretto e le varie tecniche di monitoraggio (Barker et al., 1997; Dixon et al., 1998; Lane 1998, 2001).
Una prima ed immediata valutazione viene eseguita sulla base delle cartografie e dei rilievi fotogrammetrici attuali e pregressi forniti dagli enti territoriali. Questi dati sono in genere caratterizzati da incompletezza e discontinuità temporale ai fini di un esaustivo monitoraggio dei parametri osservati e, per specifiche indagini localizzate, anche dall'inadeguatezza del grado di dettaglio.
La disponibilità di fotocamere digitali e di specifici software di calibrazione, restituzione e trattamento dei dati acquisiti, ha offerto al gruppo di lavoro la possibilità eseguire test metodologici relativi a queste specifiche applicazioni.
Per le prove considerate nella presente comunicazione sono stati scelti alcuni tratti del fiume Cecina, Toscana meridionale, già oggetto di studio per altre ricerche di geomorfologia e dinamica fluviale (Teruggi et. al., 2005; Rinaldi et al., 2008; Teruggi et al., 2008; Luppi et al., 2009; Teruggi, Rinaldi, 2009; Teruggi et al., 2011)
Per definire in modo più specifico il monitoraggio nell'intorno dei tratti scelti, sono state effettuate dal 2009 al 2011 alcune riprese aerofotogrammetriche a bassa quota con aeromobile ultraleggero e fotocamere digitali, al fine di ottenere una immediata e complementare registrazione dei fenomeni attivi (erosione e sedimentazione) e per elaborare con dati comparativi il trend in atto, nonché formulare una prima valutazione dell'efficacia degli strumenti e dei metodi utilizzati.

Evoluzione delle acquisizioni effettuate

Il monitoraggio eseguito per sviluppare i test metodologici è caratterizzato da un insieme di acquisizioni aerofotogrammetriche dello stato attuale dell'alveo che, comparate con le informazione desunte dalla cartografia storica, dalle restituzioni fotogrammetriche e dai vari rilevamenti territoriali, sono state elaborate con software di tipo GIS (Teruggi, Rinaldi, 2009).

Per una preliminare valutazione metrica sono stati utilizzati principalmente rilievi topografici eseguiti in epoche precedenti a partire dal 1980.

Negli anni successivi, con strumentazioni più evolute, sono stati rilevati in modo costante gli eventi più significativi intervenuti in alcune parti dell'alveo. Nel 2009 con una nuova fase delle indagini, è stata effettuata una strisciata fotogrammetrica integrale del fiume digitalizzata ad alta risoluzione.

L'operazione ha consentito di stabilire un affidabile inquadramento metrico generale per tutto l'alveo ed ha permesso anche di relazionare in modo più completo i dati acquisiti negli anni precedenti.

Metodologia e strumenti impiegati

Programmare acquisizioni fotogrammetriche standard ai fini di un monitoraggio territoriale risulta operativamente complesso oltre che per i costi anche per l'attuazione di una rapida e contestuale registrazione di eventi intercorsi; pertanto, nel lavoro in oggetto, sono state inizialmente valutate le precisioni attese e quelle conseguibili con semplici tecniche fogrammetriche da aeromobile ultra leggero e camere digitali calibrate, adattando via via alle necessità delle indagini le modalità operative.

L'aereomobile utilizzato è un ULM Groppo modello Folder, appartenente al Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università di Firenze; è un velivolo biposto dotato di appositi dispositivi che consentono la collocazione a bordo di sensori di vario genere (termo camera, I.R, ecc.). L'utilizzo di un ULM consente di operare a velocità relativamente basse e pertanto di minimizzare l'eventuale effetto di sfocatura causato dal trascinamento sull'immagine a bassa quota per le immagini a grande scala.

I nuovi software fotogrammetrici ed il continuo miglioramento della risoluzione dei sensori digitali permettono di realizzare in modo autonomo acquisizioni fotogrammetriche con fotocamere digitali calibrate. Queste acquisizioni speditive rispetto a quelle professionali più avanzate soffrono di un sensibile degrado della risoluzione iniziale del processo; risulta comunque possibile contenere questo fattore considerando alcuni ovvi criteri di metodo che possono influenzare sensibilmente le precisioni conseguibili e l'omogeneità dei risultati.

Le fotocamere utilizzate per le acquisizioni in oggetto sono state una Nikon D700 24x36 mm con ottiche di focali nominali 28 e 50 mm e una medio formato Hasselblad 60x60 mm di focale nominale 40 mm con dorso digitale *Phaseone PH20*, rispettivamente con sensore digitale da 12 e 16 Mpx .

Nel monitoraggio in oggetto i voli sono stati effettuati ad una quota di 300 e 500 m s.l.m. determinando una dimensione del pixel a terra compressa fra i 2 e 5 cm.

I parametri principali delle due fotocamere sono stati ricavati in sede presso la facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, elaborando per ogni fotocamera una decina di immagini che inquadrano a raggera un predisposto poligono angolare di circa 10 x 5 m, contenente 40 punti di controllo fotografici. Il poligono è stato ripreso con le fotocamere da metricizzare a distanze da 5 a 10 m con il diaframma regolato per distanza iperfocale e l'obiettivo in modalità manuale bloccato a infinito. Le relative collimazioni dei punti di controllo sono state poi elaborate con il *software Micromap* (Geoin, 2011) in base alle routine di vertice di piramide, ricalibrando i dati nominali iniziali della focale e del centro ottico e ricavando la distorsione radiale mediata sulle semidiagonali (Fig. 1).

L'applicazione di queste correzioni numeriche, non è il solo aspetto da considerare; altri fattori a monte influiscono sensibilmente nel formare la qualità finale del processo di restituzione. La tipologia e la qualità intrinseca delle ottiche utilizzate determinano di fatto ciò che viene trasmesso al pixel; per un miglior risultato finale è senz'altro indicato l'utilizzo di ottiche di qualità che

preservino la nitidezza delle informazioni con obiettivi ad alta luminosità e a bassa distorsione. Pertanto è sconsigliato l'uso di obiettivi tipo tele-zoom caratterizzati da sistemi a lenti telescopiche. Inoltre occorre valutare con attenzione l'uso di ottiche grandangolari, molto utili per l'abbracciamento di un campo visivo più ampio ma di fatto caratterizzate da distorsioni radiali maggiori che determinano in fase di restituzione sensibili correzioni via software che causano spesso problemi di lettura e coerenza del modello stereoscopico.

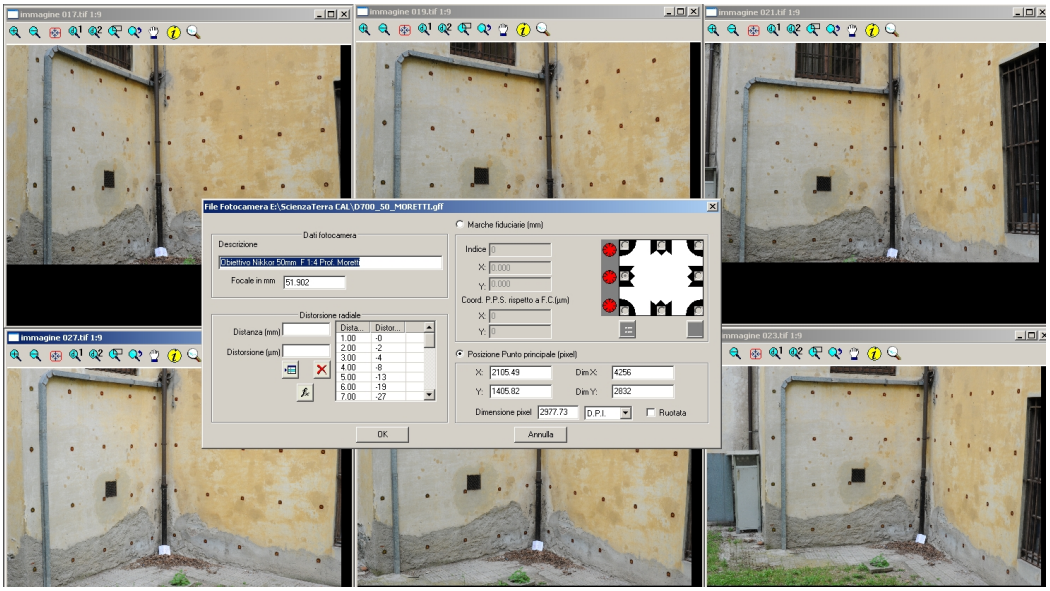

Figura 1. Calibrazione di fotocamera Nikon D700, vertice di piramide in ambiente Micromap.

Restituzione e elaborazione dei dati

Per le acquisizioni estive del 2011 a causa di una concomitante revisione periodica del veivolo sono stati noleggiati anche aeromobili da turismo convenzionali non specificamente attrezzati, fornendoci l'opportunità di sperimentare l'operatività di queste procedure speditive anche in condizioni logistiche non ottimali, aggiungendo un ulteriore tema di interesse alla sperimentazione stessa. In queste condizioni i fotogrammi acquisiti possono risultare parzialmente fuori dalla *target* area, mossi, caratterizzati da basi stereoscopiche non ottimali e da eccessive inclinazioni angolari. In genere nei programmi di restituzione dopo l'orientamento assoluto è possibile se occorre applicare al modello un ricampionamento epipolare per migliorare la visione stereoscopica ma questa procedura in alcuni casi impone alle immagini elaborazioni estreme che possono influenzare nella fase di restituzione la percezione 3D dei vettori tracciati e quindi la precisione finale delle collimazioni. Questo effetto è particolarmente avvertibile ai margini degli stereogrammi ove la distorsione radiale è maggiore e nel collegamento fra modelli adiacenti (Mikhail, 2007; Geoin, 2011). E' possibile tentare un recupero dei fotogrammi con maggiori problemi angolari effettuando un pre-trattatamento correttivo. In questi casi estremi il modello può essere comunque realizzato applicando la competente pre-rotazione K al fotogramma con problemi; con questo pre-trattamento viene resa di nuovo possibile la visione stereoscopica e la conseguente correzione della parallasse verticale nell'orientamento relativo. Con questo ricampionamento ruotato sul centro geometrico si genera un'immagine equivalente con qualche parziale taglio di informazione agli angoli ruotati fuori cornice; da alcune verifiche effettuate sembra che l'operazione influisca limitatamente sulla congruità delle collimazioni (le successive procedure di orientamento assoluto attenuano sensibilmente gli errori introdotti dalla rotazione dell'immagine) e anche la corrispondente

correzione della distorsione radiale appare comunque correttamente applicata. Per limitare queste problematiche utilizzando un aereo senza botola di fondo, occorrerà prevedere ad una riduzione delle basi di presa realizzando fotogrammi multipli con una ampia sovrapposizione stereoscopica (almeno dell'80%); la strisciata caratterizzata da immagini ripetute con scatti multipli e ravvicinati permetterà poi di operare in fase di orientamento una preselezione e consentire l'eventuale sostituzione di fotogrammi caratterizzati da valori angolari eccessivi. La restituzione 3D elaborata in una *cloud-point* tipo DEM 50x50 cm è stata effettuata senza utilizzare routine automatiche di autocorrelazione ma esclusivamente attraverso la collimazione stereoscopica diretta di vettori complessi che delineando dettagliatamente gli articolati volumi dell'invaso sia per una migliore aderenza all'oggetto del rilievo, sia perché era comunque richiesta una rappresentazione vettoriale di numerosi tematismi sovrapposti al modello volumetrico stesso (Fig. 2).

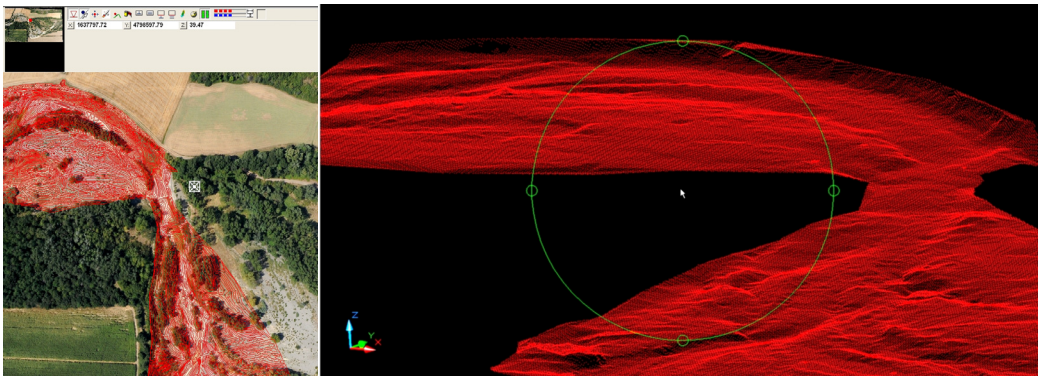

Figura 2. Restituzione elaborata in cloud-point.

Per queste acquisizioni fotogrammetriche aeree, l'ordine di grandezza delle precisioni verificato dai protocolli di orientamento è risultato di alcuni decimetri (s.q.m ±15 cm).
La restituzione selettiva dei diversi elementi dimensionali e attributi qualitativi individuati è stata programmata predisponendo differenziati *layer* informativi per lo studio dei seguenti temi:
- Tracciamento del profilo delle linee d'acqua
- Restituzioni a curve di livello (Fig. 3).
- Restituzioni di profili longitudinali di fondo dell'alveo durante periodi di magra.
- DEM 50 x 50 cm complessivo delle aree di studio.
- Correlazioni temporali delle variazioni del DEM 2009-2011. (Fig. 4).
- Correlazioni temporali delle variazioni su sezioni specifiche dal 2007 al 2009 (Fig. 5).

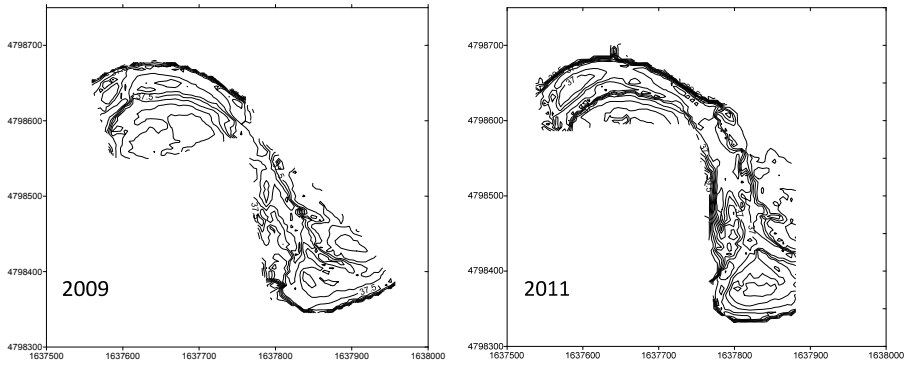

Figura 3. Modelli 2009-2011 a curve di livello.

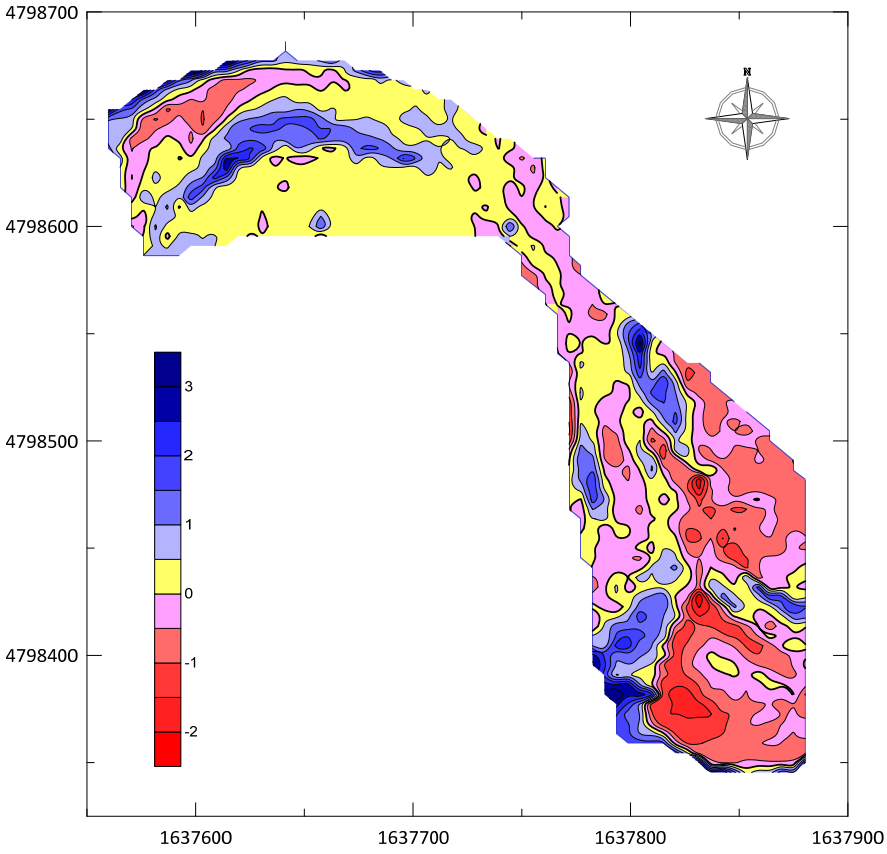

Figura 4. Correlazioni temporali delle variazioni del DEM 2009-2011.

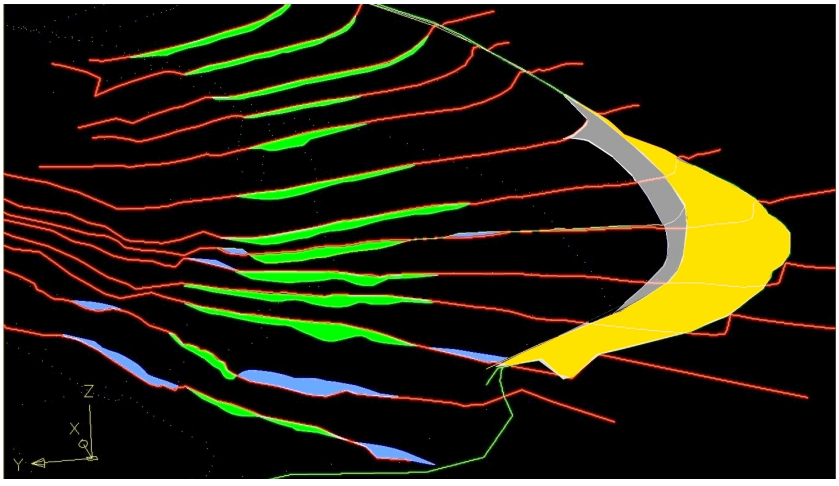

Figura 5. Correlazioni temporali delle variazioni su sezioni specifiche dal 2007 al 2009.

Considerazioni finali

La fotogrammetria, tecnica consolidata per lo studio dei processi erosivi, vive attualmente un incremento della sua applicazione nello studio dei processi fluviali.

Gli aeromobili ULM del tipo usato per questo studio consentono per la loro bassa velocità di stallo di eseguire levate aerofotogrammetriche anche a bassa quota e conseguentemente programmare una scala dei fotogrammi adatta ad indagini localizzate su piccole aree.

La possibilità di introdurre acquisizioni fotogrammetriche autogestite da aeromobile leggero offre poi il valore aggiunto di poter disporre rapidamente di dati verificabili acquisiti in prossimità temporale ad intercorsi eventi di piena e permette inoltre di osservare sia gli effetti in dettaglio sia le cause generatrici nell'intorno delle zone attive in una relazione continua e diretta.

I dati fino ad oggi ottenuti e riportati nella presente comunicazione rappresentano comunque una fase iniziale della ricerca metodologica in atto per questo monitoraggio e saranno oggetto di futuri approfondimenti.

Riferimenti bibliografici

Barker R., Dixon L., Hooke J. (1997), "Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion". *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 1217-1227.

Dixon L.F.J., Barker R., Bray M., Farres P., Hooke J., Inkpen R., Merel A., Payne D. & Shelford A. (1998), "Analytical photogrammetry for geomorphological research". In: Lane S.N., Richards K.S. & Chandler J.H. (Eds.), *Landform monitoring, modelling and analysis*. 63-94, Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Geoin S.r.l. (2011), *Manuale Micromap, versione 2.0*, Italia. 272pp.

Lane, S.N. (1998), "The use of digital terrain modelling in the understanding of dynamic river systems". In: Lane S.N., Richards K.S. & Chandler J.H. Eds., *Landform Monitoring, Modelling and Analysis*, Wiley, Chichester, 311-342.

Lane, S.N. (2001), "The measurement of gravel-bed river morphology". In: Mosley, M.P. (Ed), *Gravel-Bed Rivers V*, Hydrological Society, Wellington, New Zealand, 291-337.

Luppi L., Rinaldi M., Teruggi L.B., Darby S.E., Nardi L. (2009), "Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (Central Italy)". *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 530-546.

Mikhail E. M., Bethel J.S., McGlone J. C. (2007), "Introduction to modern photogrammetry". Wiley & Sons Ltd.

Rinaldi M., L. B.Teruggi, C. Simoncini, L. Nardi (2008), "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale". *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences* 21(1B), 291-302.

Teruggi L.B., Chiaverini I., Ostuni D., Rinaldi M. (2005), "Integrated methodology for monitoring fluvial bank erosion". *Geologica Romana*, 38: 25-29.

Teruggi L.B., Rinaldi M., Ostuni D., Chiaverini I. (2008), "Quantificazione dell'apporto di sedimenti provenienti dall'erosione delle sponde del fiume Cecina". *Atti del Convegno* "GEOSED 2008", 118-120.

Teruggi L.B., Rinaldi M. (2009), "Analysis of planimetric channel changes along the Cecina River (central Italy)". *In: Medimond International Proceedings of 27th IAS Meeting of Sedimentology,* Alghero, Italy, 27-30.

Teruggi L.B., Rinaldi M., Chiaverini I., Ostuni D. (2011), "Application of terrestrial photogrammetry to the measurement of a riverbank retreat". *Italian Journal of Engineering Geology and Environment. Special Issue.* 115-122.