Dati satellitari e GPS nelle applicazioni archeologiche: ricostruzione della paleo-geografia nell'area del sito di Lothal (Gujarat, India)

Francesco Mancini(*), Giuseppina Marcheselli(**), Francesco Stecchi(**)

(*) Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, Politecnico di Bari, Via Orabona, 4 – 70125 Bari
fmancini@racine.ra.it
(**) CIRSA, Università di Bologna, Via S. Alberto 163, 48100 Ravenna
g.marcheselli@unibo.it, francesco.stecchi2@unibo.it

Riassunto
Il lavoro illustra alcuni dei risultati raggiunti nell'ambito delle attività di ricerca condotte in prossimità del sito archeologico di Lothal (Saurashtra peninsula Stato del Gujarat, India nord-occidentale). Il sito rappresenta uno dei principali insediamenti della civiltà della Valle dell'Indo ed in particolare di quella Harappana (circa 2400 anni a.C). Ai fini delle considerazioni archeologiche relative alla localizzazione dello sito, occorre procedere alla ricostruzione degli aspetti paleo-geografici dell'area ed al rilievo morfologico di dettaglio del sito stesso. Esso rappresenta probabilmente un antico porto inserito in un contesto idrografico oggi non più presente, essendo l'area molto distante dal mare è non più coinvolta dalla circolazione delle acque superficiali. Pertanto la formulazione di teorie archeologiche relative allo sviluppo ed al declino dell'insediamento passano attraverso la ricostruzione degli aspetti paleo-geografici dell'area, nel contesto dei cicli climatici recenti, e della morfologia del sito, in quanto quest'ultimo doveva necessariamente risultare protetto all'interno della pianura tidale in cui si trovava.

Abstract
The authors report preliminary results achieved in the reconstruction of the local-scale morphology and palaeogeography around the Harappan town of Lothal (2400yr b.C.) located in the Saurashtra peninsula (Gujarat, NW India) by means of GPS survey and processing of satellite imageries. Lothal represents one the most interesting archaeological site of the Indus civilization, with remnants essentially constituted by a dock, an acropolis, a lower town and a graveyard area. The presence of the dock suggested to archaeologists the site to be interpreted as a port supplied by an ancient fluvial system. However, the modern river network was completely altered after the ingression/transgression alternations of sea water, driven by climate cycles and a reconstruction of such aspects is needed in order to confirm the theories related to the developing and ending of the harappan settlement of Lothal. The investigation imply the use of multispectral satellite data in mapping palaeochannels and in the reconstruction of the site palaeo-hydrographical aspects mostly related to the ancient development of a tidal salt marsh s left, subsequently, dry after the sea level dropping.

Introduzione

Il lavoro illustra il contributo dei dati satellitari e del rilevamento GPS nelle applicazioni archeologiche ed in particolare dove occorre ricostruire l'evoluzione paleo-ambientale dell'area a supporto delle teorie insediative, di approvvigionamento e di posizionamento strategico. Tali teorie devono essere verificate nell'ambito del contesto paleo-geografico e quindi in relazione con i fenomeni di trasgressione e regressione marina avvenuti in concomitanza dei cicli climatici olocenici. In un'ottica di questo tipo è anche vero che le informazioni di carattere archeologico possono rappresentare una *proxy* nelle ricerche attinenti ai cicli climatici.

L'area di studio è quella della Penisola del Saurashtra, (Stato del Gujarat, India nord-occidentale). Nell'area si trova uno dei siti più significativi della "Harappan civilisation" (2400 b.C) denominato Lothal, dove gli scavi eseguiti negli anni '50 hanno portato alla luce una vasca di notevoli dimensioni (circa 200m di lunghezza con perfetto orientamento N-S), probabilmente destinata a cantiere navale e ricovero delle imbarcazioni, oltre a varie altre strutture insediative. Queste comprendono l'acropoli, i magazzini, la cosiddetta "città bassa" ed un'area cimiteriale, il tutto dislocato su un'area complessiva di circa 7 ettari. La rappresentazione pittorica di figura 1 fornisce una possibile interpretazione dello stato originale del sito con la vasca che doveva essere connessa al reticolo idrografico. Nel riquadro in basso a destra un'immagine recente della vasca.

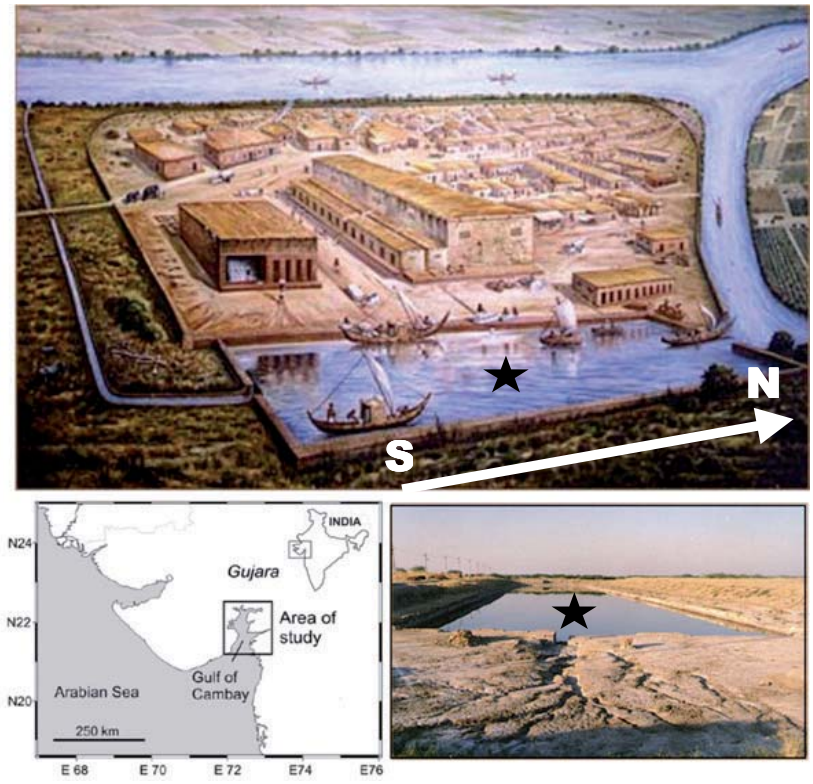


Figura 1 – Rappresentazione pittorica del sito di Lothal (BIBLIO) con ipotesi relative alla presenza di canali fluviali in connessione con il sito. Nei riquadri inferiori compaiono l'inquadramento geografico dell'area ed un dettaglio della vasca come si presenta oggi (vista da sud).

Lothal è stato interpretato come un porto, anche se il livello marino moderno posiziona la linea di riva a circa 50 km dal sito (Rao, 1985; Khadkikar et al., 2004a e 2004b). Pertanto le teorie formulate prevedono una maggiore vicinanza del mare nel periodo di maggior prosperità della civiltà harappana e oppure l'esistenza di una via di contatto tra il mare ed il sito attraverso il reticolo fluviale. Quindi il contributo delle tecniche di rilevamento satellitari e terrestri (GPS) vanno sia nella direzione della ricostruzione degli aspetti paleo-geografici dell'area (in particolare di quelli relativi al paleo-reticolo idrografico ed alla definizione degli stazionamenti olocenici del livello marino) sia verso la ricostruzione della morfologia del sito di Lothal, utile nella valutazione dell'assetto del sito verso i continui allagamenti dovuti a cicli monsonici cui l'area è soggetta. Nel primo caso sono stati utilizzati dati satellitari multispettrali ASTER ed immagini QuickBird,

quest'ultima ai fini di una maggiore risoluzione geometrica in prossimità del sito, nel secondo il rilievo GPS cinematico. Infine si mostrerqanno possibili scenari di ingressione marina olocenica basati sui dati SRTM verificati sulla base della cartografia dell'area e disponibili con una risoluzione spaziale di 90m.

Inquadramento geomorfologico dell'area del Golfo di Cambay: aspetti evolutivi

Il quadro geomorfologico risulta quindi di fondamentale importanza nella conferma dell'interpretazione del sito quale importante nodo commerciale. L'evoluzione dell'area è quindi strettamente connessa ai cicli climatici olocenici che hanno portato all'alternanza di periodi di ingressione e trasgressione marina e del conseguente spostamento della linea di costa lungo la piana tidale su cui scorre il sistema fluviale del Bhogavo-Sabarmati, probabilmente connesso al sito all'epoca dell'insediamento. Diversi autori (Hashimi et al, 1995; Rao et al., 2003; Mathur et al., 2004) concordano nel ritenere che 10 ka b.p. il livello marino fosse inferiore di 70 m rispetto al livello attuale, il quale sembra essere stato raggiunto circa 7 ka b.p. In seguito, fra 7 ka b.p. e 4 ka b.p. si è mantenuto un trend regolare di innalzamento relativo (Nigam et al., 1990). 6 ka b.p., durante quello che viene definito "optimum climatico medio-olocenico", il clima era caratterizzato da condizioni calde e umide. In questo periodo il livello marino nell'area si sarebbe attestato su un livello di +2 m (Hashimi et al., 1995) rispetto a quello attuale. Inoltre, in base allo studio dei paleocanali e paleodelta individuati attraverso l'elaborazione di immagini satellitari IRS 1D LISS-3 (Khadkikar et al., 2004a) si può affermare che ad est del corso attuale del Sabarmati la linea di costa doveva passare approssimativamente per la città di Vataman, fino alla confluenza fra i fiumi Bhogavo e Sabarmati, ad una distanza dal sito di Lothal non molto superiore ai 10 km.
Altri autori (Mathur et al., 2004; Gaur et al., 2007; Rao et al. 1996) concordano nell'affermare che la massima ingressione marina si sia verificata fra 4,5 e 4 ka b.p., quando il livello marino doveva essere di circa 6 m superiore a quello attuale, per poi iniziare progressivamente ad abbassarsi. Tuttavia tali bilanci potrebbero essere imputabili anche a movimenti legati alla tettonica regionale recente che suggeriscono un possibile sollevamento della zona a partire da 2k anni fa (Chamyal L.S. et al., 2003; Kusumgar et al., 1998). Una delle tecniche utilizzate in archeologia per l'individuazione di paleo-canali e potenziali pattern geomorfologici, indicativi di un possibile stazionamento del livello marino, consiste nell'utilizzo delle immagini satellitari multi spettrali, utili nell'individuazione di strutture morfologiche relitte che presentano una risposta spettrale anomala rispetto alle aree circostanti in ragione di una differente tipologia di sedimento o di variazioni nelle sue condizioni (livello di umidità o coperture che si differenziano dal contesto). Questo è ovviamente possibile se tali strutture risultano affioranti o comunque manifestano un effetto secondario sulla crescita della vegetazione sovrastante. Tali effetti sono normalmente chiamati "crop mark".

Analisi dei dati satellitari

L'analisi degli aspetti geomorfologici dell'area è stata effettuata a partire da 6 immagini multitemporali del sensore TERRA-ASTER acquisite nel periodo Aprile-Maggio, quando il territorio si presenta privo di vegetazione essendo il periodo della raccolta già concluso. Vanno escluse anche le immagini relative alla stagione monsonica che provoca allagamenti su tutta la zona. In queste condizioni il terreno si presenta nudo e la ricerca di strutture relitte risulta facilitata. Come detto sopra la presenza di paleocanali nell'area è stata evidenziata anche precedentemente da altri autori (Khadkikar et al., 2004a) in base all'analisi dei dati raccolti dal sensore IRS 1D LISS-3. Tuttavia questi studi hanno avuto soprattutto il carattere di indagini paleo-geografiche, supportate anche da rilevamenti micro-paleontologici, ma non sono stati presi in considerazione altri aspetti a supporto delle teorie evolutive dell'area, quali quelli altimetrici. Infatti, è necessario che le teorie relative alla regressione e trasgressione marina vengano formulate anche in base ai caratteri altimetrici dell'area. Questo aspetto risulta molto delicato in quanto i dislivelli nell'area sono compresi in un range di 10 metri, l'area è molto vasta e remota e le informazioni cartografiche

disponibili (solo a piccola scala) riportano informazioni altimetriche spesso in disaccordo. La presenza di paleocanali è stata enfatizzata, nei dati ASTER multispettrali, con la tecnica delle componenti principali (CP). Una nuova immagine di tipo RGB è stata generata a partire dalle 3 CP (figura 2) sulla quale sono visibili le strutture relitte cercate.

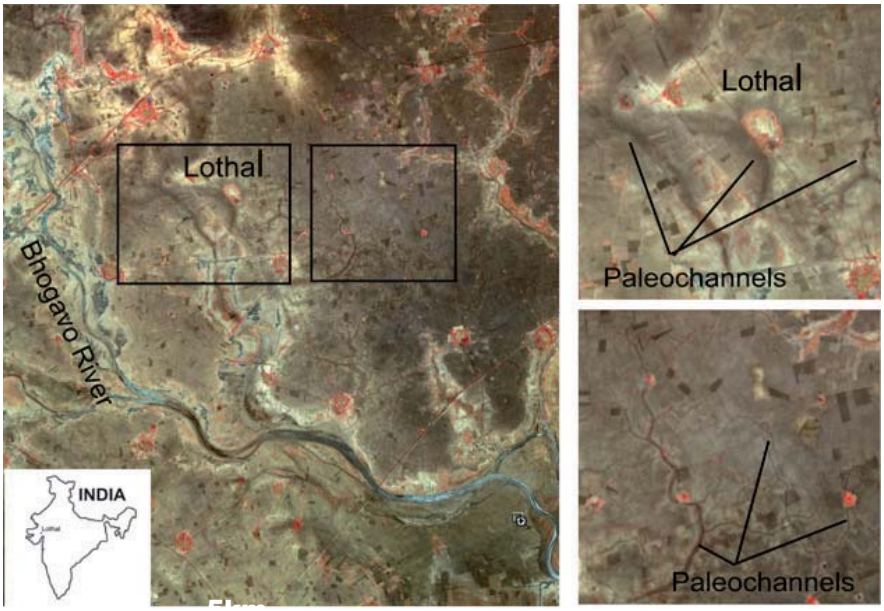


Figura 2 – Dati falso-colore (PC1, PC2 e PC3) ASTER dell'area di Lothal dove è visibile il sistema di paleo-canali principale con i relativi tributari. Nei riquadri a destra l'area di Lothal ed un particolare dei canali relitti.

Il rilevamento del sito con tecnica GPS cinematica relativa

La ricostruzione della morfologia di dettaglio del sito è stata effettuata tramite rilevamento GPS cinematico in modalità relativa, quindi tramite post-elaborazione. Il rilevamento è stato effettuato con 3 ricevitori Topcon GB500 L1/L2 e due operatori per complessive otto giornate di lavoro. Il dettaglio del rilevamento è funzionale anche alla successiva interpretazione dei dati magnetometrici (non discussi in questo lavoro) acquisiti nell'ambito della stessa campagna archeologica. Il lavoro sul campo è stato effettuato nella consueta modalità che prevede una stazione di riferimento (di nuova installazione) e due rover per il rilevamento cinematico. L'acquisizione dei dati è avvenuta in modo automatico con *sampling rate* impostato a 5 secondi. Pertanto in fase di post-elaborazione dei dati viene fornita una posizione, con ambiguità fissate, ad ogni epoca e con accuratezza tipica della modalità cinematica relativa (circa 1-1,5 cm).

La post-elaborazione ha fornito un insieme di punti sparsi con spaziatura variabile in relazione alla complessità della morfologia rilevata ma comunque inferiore ai 3-4 metri nelle aree a maggiore regolarità. Il rilievo è stato effettuato con particolare attenzione nella zona della vasca e delle aree limitrofe, in considerazione della rilevanza della struttura e dell'esigenza di ricercare eventuali tracce superficiali del canale di ingresso alla vasca. Dell'esistenza di quest'ultimo, infatti, non esistono ancora prove, sebbene Rao (1985) ne abbia riportato traccia nelle mappe archeologiche realizzate in seguito agli scavi effettuati nei primi anni '50. Per questo motivo nella zona è stato eseguito anche il rilevamento magnetometrico di dettaglio con passaggi del sensore, trasportato manualmente, ad intervalli spaziali regolari di due metri. Il frutto del rilevamento GPS è visibile nella figura 3 dove compare il modello tridimensionale del sito ed alcuni dettagli relativi all'altimetria di alcune parti rilevanti.

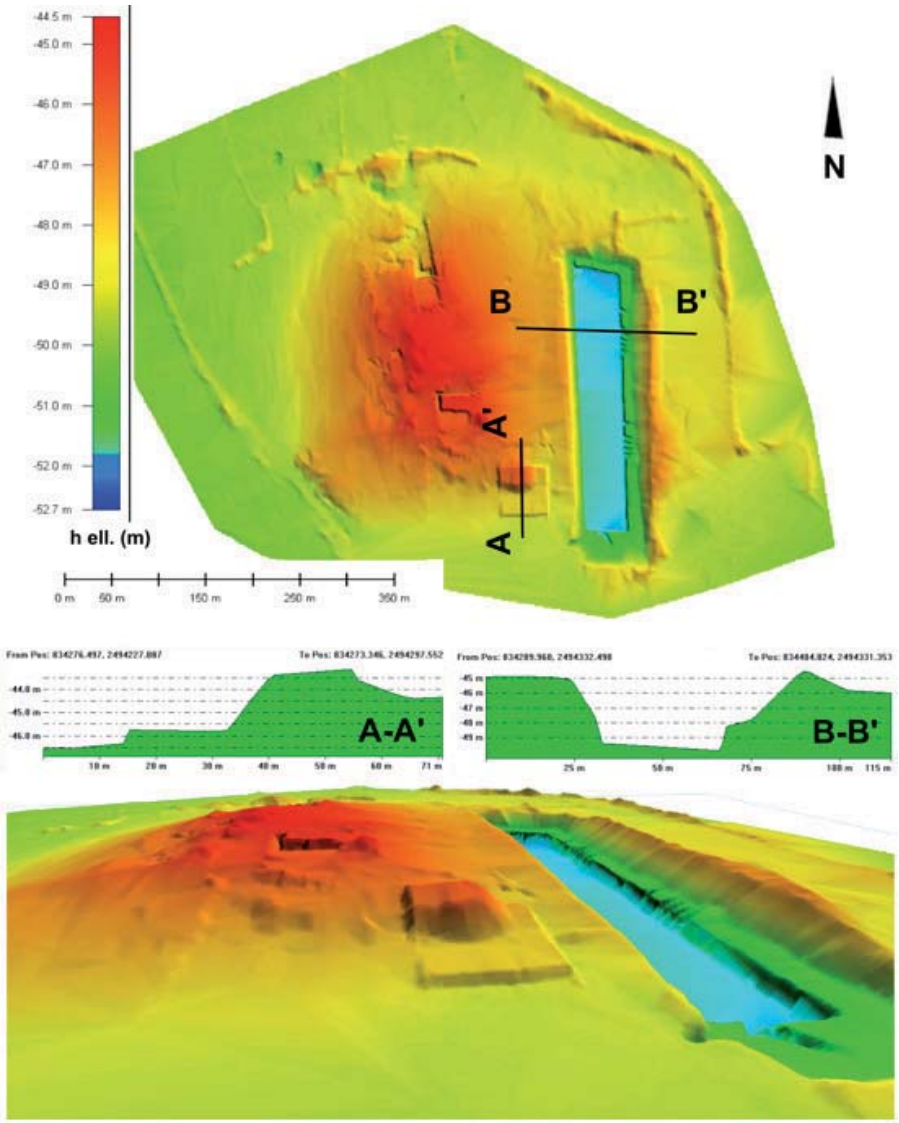
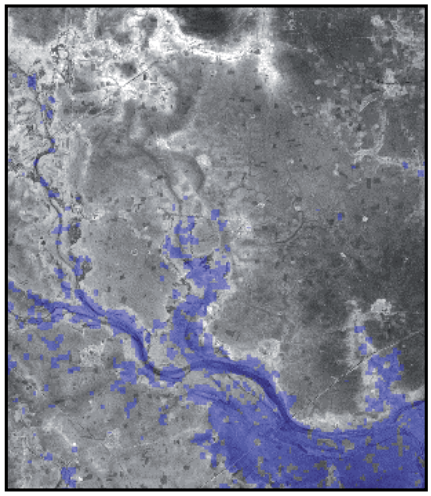


Figura 3 – Modello tridimensionale ottenuto dal rilevamento GPS cinematico. Il modello consente la lettura di elementi morfometrici di interesse nelle valutazioni di carattere archeologico (si vedano ad esempio le sezioni AA' e BB'). In basso una vista prospettica del sito (da Sud).

Ipotesi evolutive dell'area

Le ipotesi relative allo stazionamento del livello marino nel periodo di massimo sviluppo dell'insediamento di Lothal possono essere solo speculative in quanto non esistono osservazioni rigorose che quantificano il dislivello rispetto alla quota attuale. Inoltre a questa quota va sommata quella eventuale di uplift tettonico dell'area, presente per diversi autori, che potrebbe avere contribuito ad isolare l'insediamento in termini di rifornimento idrico. In figura 4 viene mostrato un possibile scenario che ipotizza un livello marino posizionato a +4 m nel periodo harappano ed un contributo di 1,5-2 m (meno di 0,5mm/anno) di uplift dell'area a partire da 4500 anni dal presente.



La variabilità dei dati altimetrici SRTM è stata verificata tramite confronto con i dati disponibili localmente. Come si nota nella figura 4 (medesima estensione geografica di figura 2), la linea di riva si posizionerebbe a circa 10 km dal sito coerentemente con i ritrovamenti di microorganismi marini nelle carote di sedimento prelevate nella zona (Khadkikar et al., 2004a).

Conclusioni

Le indagini effettuate nel progetto di ricerca descritto evidenziano il possibile contributo dell'approccio multidisciplinare nella comprensione degli aspetti geografici ed ambientali che contribuiscono alla formulazione delle teorie archeologiche. Si sottolinea anche la stretta relazione esistente tra l'indagine archeologica e gli aspetti evolutivi del territorio, legati a loro volta ai cicli climatici.

Figura 4 – Scenario evolutivo dell'area

Ringraziamenti

Lavori svolti nell'ambito del "Lothal Revisitation Project" con collaborazione tra ASI, Archaeological Survey of India, (Dr. R.S. Fonia, direttore ASI) ed il Dipartimento di Archeologia dell'Università di Bologna (prof. M. Tosi). Le attività di rilevamento sono supportate dalla logistica della missione archeologica organizzata dal Dip. di Archeologia (Univ. di Bologna) e coordinata dal Dott. D. Frenez.

Bibliografia

Chamyal L.S., Maurya D.M., Raj R. (2003), "Fluvial system of the drylands of western India: a synthesis of Late Quaternary environmental and tectonic changes", *Quaternary International*, 104, 69-86.

Gaur A.S., Vora K.H., Sundaresh C. (2007), "Shoreline changes during last 2000 years on the Saurashtra coast of India: Study based on archaeological evidences", *Current Science*, 92, 103-110.

Hashimi N.H., Nigam R., Nair R.R. Rajagopalan G. (1995), "Holocene sea level curve and related climatic fluctuations for western Indian continental margin. An update", *Jour. Geol. Soc. India*, 46, 157-162. Reprinted in "Vedic Saraswati: Evolutionary History of a Lost River of Northwestern India" Radhakrishna B.P. and S.S. Mehr, (Eds.), *Mem.Geol.Soc. India*, 42, 297-302.

Khadkikar A.S., Basavaiah N., Gundurao T.K., Rajshekhar C. (2004a), "Palaeoenvironments around the Harappan porto f Lothal, Gujarat, western India", *Journal of Indian Geophysical Union*, 8, 49-53.

Khadkikar A.S., Rajshekhar C., Kumaran K.P.N. (2004b), "Palaeogeography around the Harappan port of Lothal, Gujarat, western India", *Antiquity*, 896-903.

Kusumgar S., Raj R., Chamyal L.S. Yadav G. (1998), "Holocene paleoenvironment changes in the lower Mahi Basin, western India", in Mook W.G, van der Plicht J. *Proceedings of the 16th International 14C conference*, 40(2), 819-823.

Mathur U.B., Pandey D.K. Bahadur T. (2004), "Falling Late Holocene sea level along Indian coast", *Curr. Sci*, 87, 439–440.

Nigam R., Hashimi N.H. Pathak M.C. (1990), "Sea Level Fluctuations: Inferences from relegious and archaeological records and their oceanographic evidences", *Mar. Archaeol*, 1, 16–19.

Rao S.R. (1985), "Lothal", Archaeological Survey of India.

Rao V.M.P., Veerayya M., Thamban M., Wagle B.G. (1996), "Evidences of Late Quaternary Neotectonic Activity and Sea Level Changes along continental margins of India", *Curr. Sci.*, 71(3), 213-219.

Rao, V. P., Rajagopalan, G., Vora, K. H. and Almeida, F., 2003. Late Quaternary sea level and environmental changes from relic carbonate deposits of the western margin of India. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.) 112, pp. 1–25.