

## Utilizzo di strumenti GIS per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere agli impatti dei cambiamenti climatici.

Silvia TORRESAN (\*), Andrea CRITTO (\*\*), Matteo DALLA VALLE (\*), Antonio MARCOMINI (\*\*)

(\*) Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC), c/o Consorzio Venezia Ricerche (CVR), Viale della Libertà 12-30175 Venezia Marghera, 0415093184, 0415093074, [torresan@unive.it](mailto:torresan@unive.it), [m.dallavalle@unive.it](mailto:m.dallavalle@unive.it)

(\*\*) Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia, Calle Larga S. Marta 2137-30123 Venezia, 0412348548, 0412348584, [critto@unive.it](mailto:critto@unive.it), [marcom@unive.it](mailto:marcom@unive.it)

### Riassunto

Sulla base delle più recenti metodologie proposte in letteratura per l'analisi della vulnerabilità rispetto ai possibili effetti dei cambiamenti climatici (Jones e Boer, 2004; Klein e Nicholls, 1999) e per la valutazione comparativa degli impatti e dei rischi su base spaziale (Landis, 2005) è stato sviluppato un *framework* per l'analisi e la gestione integrata degli impatti e dei rischi connessi ai cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale.

Tale *framework* integra modelli per lo sviluppo di scenari regionali futuri di cambiamento climatico e metodologie per l'identificazione e la valutazione degli impatti bio-fisici e socio-economici dei cambiamenti climatici sui sistemi costieri a scala regionale, al fine di ottenere una comparazione e prioritizzazione degli impatti, dei bersagli e delle aree a rischio su base spaziale. Il *framework* guiderà lo sviluppo di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) su base GIS mirato a supportare i decisori nell'analisi e nella gestione delle informazioni inerenti i possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle aree costiere a scala regionale e nella pianificazione delle opportune misure di adattamento. Tale DSS sarà prodotto all'interno delle attività di ricerca svolte dal Consorzio Venezia Ricerche (CVR) nell'ambito del Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC). Contrariamente a quanto consentito dai più attuali DSS sviluppati a livello internazionale per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala globale (DINAS-COAST Consortium, 2006), il DSS sviluppato dal CVR si baserà sui modelli e sugli scenari climatici elaborati a scala regionale dal centro CMCC e consentirà di esplorare e prioritizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ambienti costieri a livello regionale. A tal fine il DSS integrerà una serie di indicatori ed indici di impatto e vulnerabilità per la valutazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici sulle aree costiere a scala regionale.

Sulla base degli indicatori integrati nel DSS denominato Dynamic and Interactive Vulnerability Assessment (DIVA) per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala globale, è stato definito un insieme di indicatori che consentono un'analisi più approfondita e dettagliata delle implicazioni dei cambiamenti climatici sui sistemi costieri a scala regionale. Mediante l'utilizzo di strumenti e funzionalità GIS, tali indicatori sono stati applicati alle coste dell'Alto Adriatico e confrontati con gli indicatori di vulnerabilità a scala globale elaborati mediante l'utilizzo del DSS DIVA. Tale confronto ha consentito di evidenziare i vantaggi di un'analisi spaziale di maggior dettaglio rispetto ad un'analisi a scala globale.

### Abstract

Based on emerging methodologies for regional scale comparative assessment (Landis, 2005), a spatially resolved regional risk assessment framework for climate change impacts assessment within coastal zone management was developed. This allows relevant impact sources and vulnerable exposure units to be identified and compared in order to support the formulation of

management scenarios. The main aim of the proposed Regional Risk Assessment framework is the identification of integrated areas resulting from the aggregation of multiple local sources and/or exposure units, that can be considered as homogeneous geographic sites in the definition of mitigation/remediation and management strategies.

The framework is made of three main phases. The first phase, called “Scenario construction”, is aimed at the definition of future climate change scenarios at the regional scale; the second phase, named “Integrated impact/risk assessment”, is based on a Regional Risk Assessment methodology and allows prioritization of impacts, targets and areas at risk in the considered region. Finally, the third phase, called “Impact/risk management”, focuses on the definition of actions and responses to reduce and mitigate risks, according to Integrated Coastal Zone Management (ICZM) strategies. The core of the framework is the Regional Risk Assessment methodology which integrates future climate change scenarios with physical and socio-economic vulnerability assessment, in order to estimate and compare risks at the regional scale.

The developed Regional Risk Assessment framework will support the creation of a GIS based Decision Support System (DSS) for climate change impact assessment and management on coastal zones at the regional scale. The DSS will be developed as part of the research activities of the recently established Euro-Mediterranean Centre for Climate Change (CMCC, Italy). CMCC is aimed at the study of climate change and its impacts, focusing on the Mediterranean region, and in particular on the Northern Adriatic sea, including the Venice Lagoon. After an accurate analysis of existing DSSs for global vulnerability assessment, a specific set of vulnerability indicators suitable for the assessment of climate change impacts on coastal zones at the regional scale was defined within the proposed framework. Finally, by means of GIS applications and maps, the proposed set of indicators was applied to the coasts of the Veneto region, taken as case study, and the main results are here presented.

## **Introduzione**

I più recenti progressi raggiunti dalla comunità scientifica internazionale in merito alla comprensione delle dinamiche del clima e delle possibili conseguenze dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali ed antropici confermano che il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile (IPCC, 2007). Entro il 2100, infatti, la temperatura potrebbe innalzarsi di 1.8-4°C mentre il livello del mare potrebbe crescere tra i 18 e i 59 cm. Alla luce di tali proiezioni sui futuri cambiamenti del clima, le aree costiere sono considerate particolarmente vulnerabili nei confronti di diversi impatti biofisici e socio-economici (es. incremento di mareggiate e inondazioni, accelerazione dell’erosione costiera, intrusione del cuneo salino, danni agli ecosistemi costieri, alle proprietà, alle attività economiche e ricreative) e si ritiene che saranno sottoposte a crescenti rischi durante il 21esimo secolo e oltre. Gli impatti connessi ai cambiamenti climatici, inoltre, si andranno a sommare ad ulteriori pressioni in aumento sui sistemi costieri (es. crescita di popolazione, urbanizzazione, agricoltura, trasporti e turismo) e richiedono la definizione di opportune misure di adattamento, in accordo con strategie più ampie di pianificazione territoriale e gestione delle zone costiere.

La valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici può costituire, pertanto, un elemento importante all’interno di strategie per la gestione integrata delle zone costiere (ICZM). Una definizione chiave del concetto di vulnerabilità rispetto ai cambiamenti climatici è fornita dall’Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) secondo il quale la vulnerabilità di un sistema è funzione di 3 elementi principali: le caratteristiche, l’intensità e la frequenza dei cambiamenti climatici a cui il sistema è esposto (esposizione); il grado con cui un sistema risente degli effetti, positivi o negativi, provocati dalle variazioni climatiche (sensibilità); la capacità di un sistema di adeguarsi al cambiamento climatico, di attenuarne i potenziali danni, di sfruttarne le opportunità o di far fronte alle sue conseguenze (capacità di adattamento).

La vulnerabilità è quindi intesa come un concetto multi-dimensionale che include una vasta gamma di fattori biogeofisici, socio-economici, istituzionali e culturali e richiede l’identificazione di appropriati indicatori rappresentativi delle molteplici proprietà del sistema esaminato (Füssel,

2007). A tale riguardo, in ambito internazionale sono spesso stati sviluppati metodi di valutazione degli impatti della vulnerabilità e dei rischi ambientali basati sull'utilizzo di indicatori costruiti ed organizzati secondo modelli concettuali diversi. Il modello più utilizzato è il Pressure-State-Response (PSR), messo a punto dall'Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) il quale è stato successivamente rielaborato dall'European Environmental Agency nel modello Driving force – Pressure – State – Impact – Response (DPSIR) (EEA, 1995) anch'esso ampiamente utilizzato. Attualmente non esistono indicatori univocamente accettati che rappresentino le diverse problematiche legate ai rischi associati alla zona costiera. Tuttavia, in letteratura, esistono diversi studi che presentano indicatori di vario tipo (Sterr et al., 2000), costruiti seguendo approcci scientifici diversi e basati su parametri di diversa natura (fisici, biologici, antropici), che possono essere utili per le strategie di gestione e pianificazione costiera e per la valutazione dei rischi connessi ai cambiamenti climatici.

L'utilizzo di tali indicatori è particolarmente rilevante nello sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) finalizzati a supportare i decisori nell'affrontare e gestire le diverse problematiche che affliggono i sistemi costieri. In particolare, negli ultimi anni si è cresciuto l'utilizzo di DSS per l'analisi delle dinamiche di interazione tra gli abitanti delle aree costiere e le diverse attività economiche (RAMCO; <http://www.netcoast.nl/tools/cosmo.htm>); per l'esplorazione degli impatti di differenti progetti di sviluppo e misure di protezione in relazione a diverse problematiche ambientali (COSMO; <http://www.netcoast.nl/tools/cosmo.htm>) e per l'analisi integrata degli aspetti ecologici e socio-economici relativi al mare ed alle coste (WadBOS; <http://www.riks.nl/projects/WadBOS>). Tra i DSS specificatamente sviluppati per trattare le problematiche connesse ai cambiamenti climatici nelle zone costiere, inoltre, particolare rilevanza assumono i DSS SimCLIM (<http://www.climsystems.com/site/products/?id=9>) e Dynamic Interactive Vulnerability Assessment (DIVA; DINASCOAST Consortium, 2006), sviluppati rispettivamente per supportare la costruzione di scenari futuri di innalzamento del livello del mare e di variazioni della linea di costa, e per l'analisi integrata della vulnerabilità delle aree costiere agli effetti dell'innalzamento del livello del mare. In particolare, il DIVA è uno strumento innovativo che supporta i decisori nell'interpretazione e valutazione della vulnerabilità costiera ai cambiamenti climatici su scala nazionale, sovranazionale e globale e consente di produrre indicatori di impatto e vulnerabilità per le coste di tutto il mondo. Nel dettaglio, il DIVA è costituito da 3 componenti principali: 1) un database globale contenente dati biofisici e socio-economici per le aree costiere; 2) un modello integrato per l'analisi degli impatti biofisici e socio-economici, degli effetti e dei costi delle misure di adattamento; 3) un'interfaccia grafica per gli utenti (GUI) che consente la selezione di dati e scenari, l'applicazione di simulazioni modellistiche e l'analisi dei risultati.

Sebbene i DSS esistenti forniscano numerose funzionalità utili per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala nazionale, sovranazionale e globale, essi non forniscono informazioni adeguate per scale di maggior dettaglio che richiedono una risoluzione spaziale più elevata. L'informazione utile per pianificare misure di adattamento ai possibili impatti dei cambiamenti climatici, invece, può essere ottenuta solo se la valutazione della vulnerabilità del sistema avviene a scala regionale o locale (Fussler et al., 2002). Complessivamente, quindi, a livello internazionale è necessario operare ulteriori sforzi per produrre strumenti e metodologie adeguati per consentire l'analisi e la gestione dei possibili impatti connessi ai cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale.

In questo contesto nell'ambito del progetto CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, [www.cmcc.it](http://www.cmcc.it)), si è definito un *framework* per l'analisi e la gestione integrata degli impatti bio-fisici e socio-economici dei cambiamenti climatici sui sistemi costieri a scala regionale. Tale *framework* supporterà lo sviluppo di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) su base GIS, mirato a guidare i decisori nella pianificazione delle opportune misure di adattamento.

Di seguito, dopo una breve descrizione degli obiettivi e delle principali attività di ricerca svolte nell'ambito del CMCC, verrà descritto il *framework* proposto e verrà fornita una breve descrizione dell'applicazione al caso di studio rappresentato dalle aree costiere dell'Alto Adriatico.

## Framework per l'analisi e la gestione integrata degli impatti e dei rischi connessi ai cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale.

Il *framework* concettuale proposto per l'analisi e la gestione integrata degli impatti e dei rischi connessi ai cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale, nell'ambito del progetto CMCC, integra strumenti e metodologie per l'identificazione e la valutazione degli impatti biofisici e socio-economici dei cambiamenti climatici sui sistemi costieri a scala regionale e rappresenta uno schema di riferimento per la definizione degli obiettivi, delle funzionalità e della struttura di un DSS mirato a supportare i decisori nella pianificazione delle opportune misure di adattamento. L'organizzazione generale del *framework* proposto è riportata in Figura 1, dove sono illustrate le 3 fasi che lo compongono e gli elementi principali che rientrano in ciascuna fase.

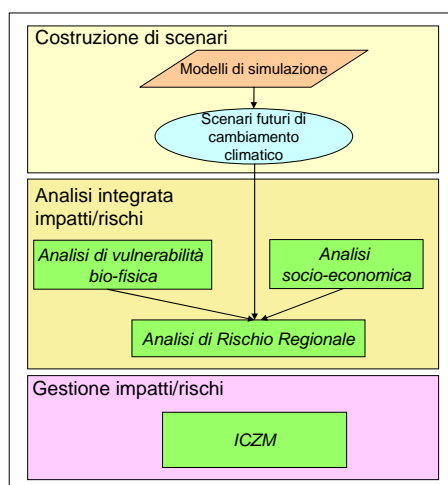


Figura 1 - Framework proposto per lo sviluppo di un DSS per l'analisi e la gestione integrata degli impatti connessi ai cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale.

La prima fase del *framework* consiste nella Costruzione di Scenari ed è finalizzata alla formazione di scenari futuri di cambiamento climatico a scala regionale per l'area costiera esaminata. Le attività principali incluse in questa fase comprendono l'identificazione degli impatti da indagare nello studio e l'applicazione di modelli di simulazione per l'elaborazione degli scenari. Gli scenari prodotti rappresentano le condizioni spaziali e temporali future degli stressori e delle forzanti di cambiamento climatico, associati ai potenziali impatti indagati.

La fase successiva del *framework* riguarda l'Analisi Integrata degli impatti e dei rischi ed è mirata alla prioritizzazione degli impatti, dei bersagli e delle aree a rischio a scala regionale, attraverso l'analisi e l'integrazione di aspetti biofisici e socio-economici. Il nucleo centrale di questa fase è costituito dalla procedura di Analisi di Rischio Regionale (ARR (Landis, 2005) che integra gli scenari futuri di cambiamento climatico, rappresentativi dei pericoli cui potrebbe essere soggetta l'area esaminata, con i risultati della valutazione della vulnerabilità biofisica e socio-economica del sistema. Complessivamente, la fase di analisi integrata degli impatti e dei rischi prevede la valutazione della vulnerabilità biofisica del sistema costiero e l'integrazione dei parametri di vulnerabilità bio-fisica e socio-economica all'interno dell'analisi di rischio regionale, al fine di prioritizzare gli impatti e i rischi su base spaziale e consentire la definizione delle migliori strategie di adattamento. Le procedure di analisi della vulnerabilità biofisica e socio-economica portano allo sviluppo di indici di vulnerabilità e di indici socio-economici che permettono di riassumere le informazioni acquisite e facilitano la costruzione di mappe di vulnerabilità che supportano la visualizzazione e la prioritizzazione dei risultati. L'aggregazione delle informazioni e dei risultati ottenuti in indici sintetici, inoltre, agevola il confronto e l'integrazione dei dati biofisici e socio-economici all'interno dell'analisi di rischio regionale.

La terza ed ultima fase del *framework* è la fase di Gestione degli impatti e dei rischi finalizzata a supportare la definizione delle misure di mitigazione e adattamento degli impatti e dei rischi in accordo con i principi di gestione integrata delle zone costiere (ICZM). All'interno del *framework*, le attività incluse nella fase di gestione degli impatti e dei rischi si basano sui risultati ottenuti nella fase di analisi integrata, ovvero la prioritizzazione degli impatti, dei bersagli e delle aree a rischio. Tali risultati, possono essere visualizzati e analizzati agevolmente sotto forma di mappe ed indici integrati di rischio, e supportano il decisore nell'individuazione delle priorità di intervento. Le funzionalità previste per quest'ultima fase nell'ambito del progetto CMCC riguardano la produzione di informazioni, linee guida e strumenti per supportare le autorità che gestiscono e pianificano le zone costiere nella gestione dei rischi connessi ai cambiamenti climatici, nella scelta delle opzioni di adattamento e mitigazione e nella condivisione dei risultati ottenuti.

### **Analisi di vulnerabilità a scala regionale mediante strumenti GIS.**

Come visto in precedenza, la fase di analisi integrata degli impatti e dei rischi inclusa nel *framework* prevede la valutazione della vulnerabilità dei sistemi costieri ai cambiamenti climatici a scala regionale attraverso l'identificazione di opportuni indicatori ed indici di vulnerabilità. A tal fine, nell'ambito del progetto CMCC, alcuni indicatori di vulnerabilità biofisica delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala regionale sono stati proposti ed applicati alle coste del Veneto.

Gli indicatori proposti sono stati identificati prendendo come riferimento alcuni indicatori inclusi nel DSS DIVA (DINAS COAST Consortium, 2006) relativi alle caratteristiche altimetriche, alla pendenza e alla morfologia del territorio costiero, alla presenza e alla tipologia di zone umide e copertura vegetale ed alla quantità e densità di popolazione costiera. Inoltre, gli indicatori proposti sono stati selezionati ed adattati in base alla disponibilità di dati territoriali ed ambientali per l'area costiera del Veneto.

Complessivamente, i dati reperiti sono stati forniti da varie istituzioni pubbliche su supporto GIS o excel e riguardano diverse caratteristiche fisiche e socio-economiche del territorio in esame. Nel dettaglio i dati raccolti includono un modello digitale di elevazione del terreno (DEM) a 25 m fornito dalla Regione Veneto, la carta Geomorfologica della Provincia di Venezia in formato digitale in scala 1:20.000 (Bondesan et al., 2004), i dati relativi alla distribuzione di zone umide e copertura vegetale inclusi nel database I&CLC2000 (<http://www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000/clc2000/prodotti.asp>), i dati inclusi nel sistema informativo geografico costiero (SIGC) elaborato da APAT (<http://www.mais.sinanet.apat.it/cartanetms/coste/>), i limiti amministrativi regionali, provinciali e comunali e i dati di densità di popolazione ricavati dal censimento dell'ISTAT eseguito nel 2001 e riportati nel sito della Regione Veneto <http://statistica.regione.veneto.it/indicatori.jsp>.

Sulla base degli indicatori proposti dal DIVA e dei dati disponibili per l'area di studio, quindi, sono stati sviluppati 7 indicatori (Area X, Pendenza, Caratteristiche geomorfologiche della costa, Potenziale di migrazione delle zone umide, Zone umide e copertura vegetale, Densità di popolazione e Popolazione costiera) che rappresentano la sensibilità dei sistemi costieri ai possibili effetti dei cambiamenti climatici a scala regionale e riguardano il rilievo e la pendenza del territorio costiero, le principali caratteristiche geomorfologiche, la presenza e la tipologia di zone umide e copertura vegetale, la quantità e la densità di popolazione.

Infine, sulla base della metodologia proposta da Mc Fadden et al. (2003) per il DSS DIVA, è stata sviluppata ed applicata una procedura per la segmentazione della linea di costa a scala regionale e si sono ottenuti 140 segmenti che rappresentano unità omogenee in termini di vulnerabilità nei confronti dei possibili effetti del cambiamento climatico e dell'innalzamento del livello del mare.

Complessivamente, il calcolo degli indicatori e la segmentazione della linea di costa del Veneto sono stati eseguiti in ambiente GIS con il programma ArcView 9.1, mediante la sovrapposizione di mappe contenenti i dati raccolti per l'area di studio e l'applicazione di diversi comandi raster e vettoriali (es. *spatial analyst tools*, *buffer*, *zonal statistics tools*) e di vari strumenti di editing (es. *cut polygon featur*s).

Il contributo più innovativo apportato dal lavoro svolto riguarda la scala spaziale di riferimento e il dettaglio dell'analisi che si distingue rispetto alla gran parte degli studi proposti negli ultimi anni a livello internazionale (Nicholls et al., 2007). Gli indicatori di vulnerabilità proposti a scala regionale, infatti, forniscono informazioni utili per pianificare misure di adattamento ai possibili impatti dei cambiamenti climatici. Tuttavia, l'applicazione di indicatori di vulnerabilità proposti a scala regionale ha messo in luce una serie di problematiche peculiari che derivano da una maggior risoluzione spaziale di analisi e dalla necessità di ottenere informazioni più approfondite e dettagliate sull'area di studio in esame. Infatti, la complessità di gestione dei dati e delle informazioni risulta notevolmente amplificata man mano che si aumenta la scala di dettaglio. Un'altra difficoltà incontrata riguarda la ricerca dei dati territoriali, ambientali e cartografici necessari per la stima degli indicatori mediante strumenti GIS. Alle complessità legate alla raccolta, selezione e gestione della base dati di partenza, inoltre, si aggiungono le problematiche connesse alla complessità geometrica riscontrata alla risoluzione spaziale richiesta dall'analisi. Con l'aumentare del dettaglio di analisi, infatti, aumenta notevolmente non solo la quantità di dati da gestire ma anche la precisione con cui tali dati vengono rappresentati nell'area di riferimento e quindi la complessità geometrica.

### Riferimenti bibliografici

- Bondesan A., M. Meneghel, R. Rosselli, A. Vitturi (2004), *Carta geomorfologica della provincia di Venezia, scala 1:50.000 (con edizione digitale alla scala 1:20.000)*. LAC, Firenze.
- DINAS-COAST Consortium (2006), *DIVA 1.5.5*, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, CD-ROM.
- EEA (1995), *Europe's Environment. The Dobbris Assessment*, European Environmental Agency, Copenhagen.
- Füssel H.M (2007), "Vulnerability: A generally applicable conceptual *framework* for climate change research", *Global Environmental Change* 17: 155-167.
- Füssel H.M., R.J.T., Klein (2002), "Assessing Vulnerability and Adaptation to Climate Change: An Evolution of Conceptual thinking", Paper presented at the UNDP Expert Group Meeting on "Integrating Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change", Havana, Cuba, 17-19 June 2002.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Jones, R., Boer, R. (2004), "Assessing Current Climate Risks", Technical paper 4 in "Adaptation Policy *Framework* for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measured. Edited by Bo Lim, Erika Spanger-Siegfried, Ian Burton, Elizabeth Malone, Saleemul Huq". 91-117pp.
- Klein R.J.T., R.J Nicholls (1999), "Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change", *Ambio*, 28(2): 183-187.
- Landis, WG., 2005. Regional Scale Ecological Risk Assessment: using the relative risk model. CRC Press, pp 320.
- Mc Fadden L., Vafeidis A., R.J. Nicholls (2003), A Coastal Database for Global Impact and Vulnerability Analysis. Coastal Sediments '03 'Crossing disciplinary boundaries'. Conference Proceedings. Clearwater Beach, Florida. 18-23 May 2003. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, UK, DINAS-COAST Working Paper No. 5.
- Nicholls R.J., R.J.T. Klein e S.J. Tol, 2007. Integrating Knowledge for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. in Mc Fadden L. R.J. Nicholls, E. Penning-Rowell (Eds), *Managing Coastal Vulnerability*. Elsevier, The Netherlands, pp. 224-241.
- Sterr, H., R. Klein and S. Reese, 1999: Climate change and coastal zones: an overview of the state-of-the-art on regional and local vulnerability assessment. Paper presented at "The impacts of climate change on the Mediterranean area: regional scenarios and vulnerability assessment", Venice, Italy, 9-10 December, 1999.