

DESYCO: un Sistema di Supporto alle Decisioni per la valutazione degli impatti legati ai cambiamenti climatici nelle aree costiere

Jonathan Rizzi (*, **), Silvia Torresan (*), Andrea Critto (*, **), Alex Zabeo (*),
Silvio Giove (***), Antonio Marcomini (**)

(*) Consorzio Venezia Ricerche - Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici
Divisione impatti su coste e suoli c/o, Viale della Libertà, 12, 30175 - Venezia
tel +390415093189, fax +390415093074, jonathan.rizzi@unive.it

(**) Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Dorsoduro, 2137, 30121 - Venezia
tel +390412348548, fax +390412348584, marcom@unive.it

(***) Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Matematica Applicata, Dorsoduro, 3825/e, 30123 - Venezia
tel +390412346912, fax +390412347444, sgiove@unive.it

Sintesi

DESYCO (DEcision support SYstem for COastal climate change impact assessment) è un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) integrato con un GIS che ha come obiettivo la valutazione degli impatti legati ai cambiamenti climatici nelle aree costiere (es. innalzamento del livello del mare, aumento dell'intensità e della frequenza delle mareggiate, variazioni nella qualità delle acque marine). Il sistema è composto da varie componenti integrate fra loro: un geodatabase per la gestione di tutti i dati usati dal sistema, una serie di tool personalizzati e delle interfacce che facilitano l'interazione da parte degli utenti finali e l'analisi dei risultati.

Il DSS è basato su una metodologia di Analisi di Rischio Regionale che integra gli output di modelli climatici, idrodinamici e biogeochimici per la costruzione di scenari di pericolo a scala regionale e utilizza strumenti di Analisi Multi-Criteriale (MCDA), indicatori ed indici di vulnerabilità per comparare e prioritizzare gli impatti, i bersagli e le aree a rischio nella regione di interesse. Le mappe di rischio che vengono generate combinano la vulnerabilità (data dalla distribuzione di fattori ambientali e socioeconomici presenti sul territorio) e il pericolo (che rappresenta le condizioni di esposizione del territorio agli impatti dei cambiamenti climatici) al fine di identificare e classificare le aree e i bersagli a rischio presenti sul territorio. Tutti gli output generati da DESYCO sono mappe basate su una griglia con un passo che può variare a seconda delle esigenze e dei dati disponibili.

Il DSS è stato realizzato nell'ambito del Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC, www.cmcc.it) ed è stato applicato alle aree costiere italiane del Nord Adriatico (Veneto e Friuli Venezia Giulia). Nell'articolo viene presentata la struttura del DSS, le principali funzionalità e i primi risultati ottenuti attraverso l'applicazione al caso di studio.

Abstract

DESYCO (DEcision support SYstem for COastal climate change impact assessment) is a Decision Support System (DSS) integrated with a GIS having the aim of making an assessment of climate change related impacts on coastal areas (e.g. sea level rise, increased storminess, changes in water quality). The system is composed by several components integrated together: a geodatabase to store all project data, some customized tools and interfaces created to make easily interact the user with the system.

The DSS is based on a Regional Risk Assessment methodology integrating the output of climate, hydrodynamic and biogeochemical models for the construction of hazard scenarios at regional/local scale and uses Multi Criteria Decision Analysis (MCDA), vulnerability indicator and indices to

compare and prioritize impacts, targets and areas exposed to risks in the study areas. Risk maps are generated combining vulnerability (e.g. the distribution of environmental and socio-economic factors), and the hazard (the exposition to climate change impacts) and identify and classify areas and targets at risk on the investigated area. All generated outputs are maps with a grid with a dimension that can be changed according to user requirements.

The DSS has been developed within the Euro Mediterranean Centre for Climate Changes (CMCC, www.cmcc.it) and has been applied in the North Adriatic area (Veneto and Friuli Venezia Giulia).

In the paper is introduced the DSS structure, the main functionalities and the preliminary results obtained through the application to the case study area.

Introduzione

Oggigiorno ci sono sempre maggiori evidenze di come il riscaldamento globale stia causando impatti sulle comunità e sugli ecosistemi costieri (IPCC, 2007). Innalzamento del livello medio del mare, aumento delle tempeste, cambiamenti nella qualità dell'acqua ed erosione costiera sono esempi di conseguenze del riscaldamento globale a cui sono esposte le popolazioni costiere, le infrastrutture, le spiagge, le aree umide e gli ecosistemi in generale. Le zone costiere, inoltre, rappresentano una risorsa ecologica, economica e sociale particolarmente fragile, essendo il risultato di un insieme di sottosistemi dinamici, insostituibili e interdipendenti, che si trova sotto sempre maggiori pressioni quali lo sfruttamento delle risorse, i conflitti sugli usi e la degradazione degli ecosistemi naturali. Gli impatti dei cambiamenti climatici che colpiscono le comunità costiere e gli ecosistemi sono influenzati fortemente da fattori geografici regionali e dalle condizioni climatiche e socio-economiche. Gli studi degli impatti, quindi, devono essere condotti ad una scala locale o regionale, considerando scenari di cambiamento climatico ad alta risoluzione (ottenuti attraverso procedure di *downscaling*) e i risultati di analisi di vulnerabilità costiera determinata da condizioni ambientali e socio-economiche sito-specifiche. A tal proposito è necessario sviluppare approcci e strumenti interdisciplinari innovativi che siano in grado di analizzare i rischi connessi ai cambiamenti climatici e supportare i processi decisionali dalla scala regionale alla scala locale.

I Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS, Decision Support Systems) sono sistemi informativi basati sull'utilizzo di computer progettati per supportare la soluzione di problemi non strutturati, il processo decisionale e l'implementazione della decisione. I DSS, in particolare, sono considerati strumenti utili per affrontare le problematiche legate ai cambiamenti climatici e supportare i decisori nell'attuare una gestione sostenibile delle risorse e nella definizione di misure di mitigazione e adattamento. Questi strumenti possono essere caratterizzati da uno schema concettuale di riferimento (*framework*) e da una struttura. Il primo si riferisce alle problematiche di valutazione e gestione a cui risponde il DSS e per le quali offre specifiche funzionalità, mentre la struttura descrive le componenti principali del sistema in termini di database, modello e interfaccia grafica (Agostini et al, 2009).

Un DSS è previsto per supportare più che sostituire il giudizio dei decisori, per assisterli e per migliorare l'efficacia del processo decisionale oltre che la sua efficienza. Ci sono diversi tipi di DSS, come quelli spaziali o quelli ambientali (Janssen, 1992). I DSS spaziali sono specificamente progettati per fornire all'utente un ambiente decisionale che permetta l'analisi di informazioni geografiche da gestire in maniera flessibile (Densham, 1992). Un DSS ambientale consiste in vari modelli ambientali accoppiati, database e strumenti per la valutazione che sono integrati all'interno di una interfaccia grafica, spesso realizzata utilizzando funzionalità di gestione dei dati spaziali fornite da GIS (Matthies, 2005). Un DSS applicato in un'ottica di gestione delle aree costiere deve essere sia spaziale sia ambientale.

Con l'obiettivo principale di prioritizzare i potenziali impatti, i bersagli e le aree a rischio a causa dei cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale, nell'ambito del Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC, www.cmcc.it) è stato sviluppato il DSS DESYCO (DEcision support SYstem for COastal climate change impact assessment). DESYCO è stato applicato alle coste dell'Alto Adriatico ed è basato su una metodologia di Analisi di Rischio

Regionale (ARR), che permette di stimare il rischio relativo nella regione di interesse, confrontare diversi impatti e pericoli legati ai cambiamenti climatici e classificare le aree rischio, al fine di guidare i decisori nella definizione delle strategie di adattamento. Nel presente articolo, dopo una breve introduzione del centro CMCC e dell'area di studio, saranno presentati gli obiettivi e le principali funzionalità di DESYCO e della metodologia di ARR.

Il Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

Il Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici è un centro di ricerca italiano che si occupa dello studio dei cambiamenti climatici e dei relativi impatti sui sistemi ambientali e socio-economici, con un focus particolare nell'area mediterranea. Il CMCC è dotato di un centro di calcolo attrezzato con due supercomputer di ultima generazione che permettono di far girare modelli di elevata complessità al fine di studiare la variabilità naturale del clima e i cambiamenti climatici. Gli *output* dei modelli del CMCC sono usati per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'economia, sull'agricoltura, sugli ecosistemi marini e terrestri, sulle aree costiere e sulla salute umana. Nell'ambito del CMCC, lo sviluppo di DESYCO è stato coordinato dal Consorzio Venezia Ricerche (CVR) assieme ad alcuni partner tra i quali il Consiglio Nazionale delle Ricerche, il Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia e l'Università Ca' Foscari di Venezia.

L'area di studio

L'area considerata come caso di studio comprende le aree costiere del Veneto e del Friuli Venezia Giulia, per una lunghezza complessiva di circa 286 Km (Figura 1).



Figura 1 – L'area di studio, l'Alto Adriatico e le coste del Veneto e del Friuli Venezia Giulia (Italia). (Adapted from google maps: maps.google.it).

L'area costiera del caso di studio inizia dal confine italo-sloveno e finisce alla foce del Delta del Po. Andando da nord-est a sud-ovest, tra il confine sloveno e la foce del fiume Timavo, la costa è alta e rocciosa con poche spiagge. Lungo le coste rocciose si trovano il Golfo di Trieste e diverse baie. Andando verso sud, da Monfalcone al delta del Po, la costa è formata da spiagge basse con sedimenti. La continuità della costa è spezzata da diversi fiumi (Tagliamento, Isonzo, Livenza, Piave, Brenta, Adige e Po) e da lagune (Marano, Grado, Venezia e le lagune del delta del Po). Da un punto di vista morfologico le coste sedimentarie dell'area di studio includono coste aperte sabbiose, lidi, foci fluviali e paludi salmastre. Le principali attività che si trovano nell'area sono l'industria petrolchimica, il turismo, la pesca, il trasporto acqueo e le attività legate ai porti. Nel complesso l'area costiera dell'Alto Adriatico comprende diversi ambienti precari soggetti a continui cambiamenti morfologici che possono essere apprezzati anche attraverso brevi scale geologiche (Gambolati and Teatini, 2002). L'erosione, inoltre, cominciata nel XX° secolo e soprattutto a partire dagli anni Sessanta, è ancora attiva in molte aree, sia sul fondale marino sia sulle spiagge (Bondesan et al., 1995). Molte aree, in particolare attorno al delta del Po, sono localizzate al di sotto del livello del mare e sono soggetta a subsidenza naturale o causata dall'uomo (Pirazzoli, 2005). Il Comune di Venezia, inoltre, ha avuto un incremento delle alte maree con conseguenti inondazioni della città (www.comune.venezia.it). Nel Mar Mediterraneo il range di innalzamento del livello del mare dei tre mareografi con serie storiche più lunghe varia da 1,1 mm/anno a 1,3 mm/anno (Tsimplis and

Spencer, 1997); tale innalzamento, tuttavia, non è uniforme e nell'Alto Adriatico il livello può variare da 1,2 mm/anno a Trieste fino a 2,5 mm/anno a Venezia (Antonioli and Silenzi, 2007). Per questi motivi i cambiamenti climatici e l'innalzamento del livello del mare rappresentano delle problematiche emergenti per l'area di studio, considerando anche la vulnerabilità di ambienti fragili quali le lagune costiere e la concentrazione di valori culturali e socio-economici. DESYCO e la metodologia di ARR, presentati nel presente documento, rappresentano degli strumenti innovativi per caratterizzare i pericoli legati ai cambiamenti climatici, la vulnerabilità e il rischio nell'area di studio e per supportare la definizione di strategie di adattamento preventivo.

II DSS DESYCO

La struttura di DESYCO comprende tre componenti principali: 1) un geodatabase che include dati bio-fisici e socio-economici relativi all'area di studio in esame; 2) scenari di cambiamento climatico a scala regionale derivanti da *downscaling* di modelli climatici, idrodinamici e biogeochimici, e dall'analisi di serie storiche eseguite per l'area costiera del Nord Adriatico; 3) un Modello di Rischio Relativo (MRR) per l'applicazione della metodologia di ARR.

L'architettura del software e il geodatabase

DESYCO è un software multistrato basato su librerie open source realizzato separando la logica di dati dalla logica applicativa e dalla interfaccia grafica (GUI, *Graphical User Interface*). Alla base si trova lo strato relativo ai dati, subito sopra ci sono le funzioni applicative (di base ed avanzate), infine al livello superiore è presente la GUI che, essendo separata dalla logica applicativa, potrà essere sviluppata in diverse implementazioni sia web oriented sia desktop oriented.

Lo strato dei dati usufruisce del geodatabase sviluppato nel formato Personal Geodatabase di ESRI utilizzabile anche attraverso Access, contenente tutte le mappe necessarie, attraverso una fase di esportazione nella quale le mappe vengono trasformate dal formato vettoriale a quello raster e inserite nella cartella di lavoro del software.

Il livello applicativo di base è composto da una libreria di funzioni scritte nel linguaggio Python le quali attraverso l'utilizzo delle librerie open source di GRASS GIS, GDAL e OGR permettono di effettuare le operazioni di basso livello necessarie all'applicazione della metodologia studiata.

Queste funzioni base sono utilizzate, secondo le regole dettate dalla metodologia, attraverso funzioni di più alto livello scritte nel linguaggio C#. Queste funzioni richiamano le funzioni del livello sottostante passandogli i parametri corretti basandosi sull'ausilio di file di testo di tipo Comma Separated Values (CSV) contenenti i valori relativi a score e pesi che dovranno essere compilati dall'utente.

Infine lo strato di GUI sarà realizzato separando la gestione applicativa dalle interfacce, gestendo le interazioni tra le due attraverso un controllo specifico. Il DSS potrà avere diverse interfacce che potranno essere relative a software stand alone che implementino solamente la metodologia legata al progetto, oppure plug-in od estensioni di software GIS già esistenti (ad esempio ArcGis, Grass, etc.). Sarà inoltre possibile, senza alcuno sforzo aggiuntivo, realizzare interfacce stand alone o legate a software pre-esistenti anche nell'ambito web ottenendo un prodotto webGIS completo.

La metodologia di Analisi di Rischio Regionale

La metodologia proposta per la stima degli impatti dei cambiamenti climatici sulle aree costiere ha fra i suoi obiettivi quello di aiutare le autorità regionali e nazionali ad esaminare le possibili conseguenze associate all'incertezza del clima futuro e a prioritizzare misure di adattamento. Tradizionalmente la metodologia di ARR si pone l'obiettivo di fornire un metodo quantitativo e sistematico per stimare e confrontare gli impatti dei problemi ambientali che interessano aree vaste (Hunsaker et al., 1990). Più in dettaglio, utilizza l'Analisi Multi-Criteriale (MCDA, Multi-Criteria Decision Analysis) per stimare il rischio relativo nella regione di interesse confrontando diversi impatti e pericoli, per prioritizzare i target e le unità di esposizione a rischio e selezionare i rischi che devono essere indagati più approfonditamente.

La metodologia di ARR rientra all'interno di un *framework* più ampio riguardante gli impatti dei cambiamenti climatici e la valutazione del rischio nelle aree costiere alla scala regionale (Torresan et al., 2007). Il *framework* integra strumenti e metodologie per l'identificazione di possibili impatti legati ai cambiamenti climatici e la valutazione della vulnerabilità biofisica e socioeconomica delle aree costiere al fine di prioritizzare il rischio relativo dell'area di interesse. Con questo obiettivo, il *framework* è stato suddiviso in tre fasi:

- la costruzione degli scenari futuri di cambiamento climatico per l'area di interesse;
- la valutazione integrata degli impatti e del rischio per prioritizzare gli impatti, i target, e le aree colpite a scala regionale;
- la gestione dei rischi e degli impatti, per supportare la definizione di strategie di adattamento per la riduzione del rischio e degli impatti nelle aree costiere, secondo i principi dell'ICZM.

I principali output di DESYCO sono mappe di esposizione che rappresentano le condizioni di esposizione ai potenziali pericoli legati ai cambiamenti climatici nell'area esaminata (ad esempio il livello di inondazione) e mappe di vulnerabilità che rappresentano la distribuzione spaziale dei fattori di vulnerabilità ambientale e socioeconomica. Tali mappe permettono la visualizzazione e la prioritizzazione delle aree soggette a rischio e dei recettori costieri vulnerabili, utile agli *stakeholder* e ai decisori per definire le più opportune strategie di adattamento.

Per costruire le mappe di esposizione ai cambiamenti climatici nell'area di studio esaminata (coste dell'Alto Adriatico) è stata predisposta una catena di modelli che include diversi tipi di modelli numerici che simulano come i principali processi di circolazione e morfodinamici possono essere influenzati da diversi scenari di cambiamento climatico. Partendo dai modelli di circolazione globali e regionali che rappresentano le principali dinamiche climatiche e coprono ampi domini spaziali (dalla scala globale alla scala sub-continentale), la catena dei modelli include una serie di modelli con una maggiore risoluzione in grado di simulare le dinamiche e i processi di circolazione, biogeochimici e di destinazione e trasporto di sostanze nelle aree costiere, con un dominio spaziale che varia dalla scala sub-nazionale alla scala locale.

La caratterizzazione della vulnerabilità e la costruzione di mappe di vulnerabilità comporta lo sviluppo e l'applicazione di una serie di indicatori ed indici di vulnerabilità che rappresentano la sensibilità delle comunità e degli ecosistemi presenti nelle aree costiere ai potenziali effetti dannosi dei cambiamenti climatici (Torresan et al., 2008).

Il geodatabase per il caso di studio dell'Alto Adriatico è stato popolato con dati provenienti da diversi enti ed istituzioni del Veneto e del Friuli Venezia Giulia quali regioni e province, agenzie di protezione ambientale, centri di ricerca. Tali informazioni sono state usate per costruire le mappe relativamente a 4 impatti (innalzamento del livello del mare, inondazioni temporanee dovute a tempeste, erosione e qualità dell'acqua) e 9 recettori (spiagge, aree umide, foci, sistemi biologici marini, sistemi biologici terrestri, sistemi idrologici, pesca e acquicoltura, aree protette, aree urbane).

Conclusioni

DESYCO e la metodologia di ARR sono strumenti innovativi per studiare gli impatti dei cambiamenti climatici sulle aree costiere a scala regionale e per supportare lo sviluppo di strategie di adattamento efficaci nei confronti dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici. La classificazione della vulnerabilità e del rischio non si pone l'obiettivo di fornire delle previsioni assolute degli impatti dei cambiamenti climatici, ma fornisce degli indici di rischio relativi che contengono informazioni riguardanti le aree che possono essere colpite maggiormente rispetto ad altre all'interno della stessa regione.

L'originalità del presente approccio consiste nell'applicazione di una catena di modelli che permette di fare un *downscaling* delle informazioni fornite dai modelli climatici a scala globale e subcontinentale e permette di indagare i fenomeni conseguenti a livello regionale o locale.

Nell'ambito di DESYCO e dell'approccio di ARR sviluppato, le simulazioni dei modelli numerici usati per la costruzione degli scenari di cambiamento climatico e per la costruzione di mappe di

esposizione sono validate attraverso il confronto con dati osservati in un periodo di riferimento (Gualdi et al., 2008; Djurdjevic and Rajkovic, 2008). La struttura del sistema e l'efficacia delle scelte metodologiche effettuate sono state testate attraverso il coinvolgimento di potenziali utilizzatori finali e attraverso un questionario che ha permesso di validare l'approccio adottato (sia in termini di recettori considerati sia in termini di funzionalità offerte da DESYCO). La consistenza dei risultati di DESYCO e della metodologia di ARR per l'area di studio considerata, infine, sarà testata attraverso una analisi di sensitività che permetterà di definire quanto l'incertezza negli output finali sia dovuta all'incertezza degli input iniziali e al giudizio esperto.

Bibliografia

- Agostini, P., Suter, G.W.II, Gottardo, S., Giubilato, E. (2009), "Indicators and endpoints for risk-based decision process with decision support systems", in Marcomini, A., Suter, G.W.II, Critto, A. (Eds), *Decision Support Systems for Risk Based Management of Contaminated Sites*, Springer Verlag, New York
- Antonioli, F., Silenzi, S. (2007), *Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane*, Quaderni SGI 2
- Bondesan, A., Castiglioni, G.B., Elmi, C., Gabbianelli, G., Marocco, R., Pirazzoli, P.A., Tomasin, A. (1995), "Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in northeastern Italy", *Journal of Coastal Research*, 11(4): 1354-1379, 1995.
- Densham, P.J. (1991), *Spatial Decision Support Systems, Geographical Information Systems, Volume 1 : Principles*, edited by Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W., Longman, 403-412
- Djurdjevic, V. and Rajkovic, B. (2008), "Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea", *Annal Geophysics*, 26: 1935-1954
- Gambolati, G., Teatini, P. (2002), "GIS Simulations of the Inundation Risk in the Coastal Lowlands of the Northern Adriatic Sea", *Mathematical and Computer Modelling*, 35: 963-972, 2002.
- Gualdi S., Scoccimarro E., Navarra, A. (2008), "Changes in Tropical Cyclone Activity due to Global Warming: Results from a High-Resolution Coupled General Circulation Model", *Journal of climate*, 21: 5204-5228
- Hunsaker, C.T., Graham, R.L., Suter, G.W.II, O'Neill, R.V, Barnthouse, L.W., Gardner, R.H. (1990), "Assessing ecological risk on a regional scale", *Environmental Management*, 14: 325-332
- 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
- Janssen, R. (1992), *Multiobjective decision support for environmental management*, Kluwer Academic, Dordrecht - Boston
- Matthies, M. (2007), Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools, *Environmental Modelling & Software*, 22: 123-127
- Pirazzoli, P.A.(2005), "A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area", *Quaternary Science Reviews*, 24:1989
- Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., Marcomini, A. (2007), "A regional risk assessment framework for climate change impacts evaluation in a coastal zone management perspective", In Özhan, E. (Editor), *Proceedings of the Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt, MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2: 741-752
- Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., Marcomini, A.. "Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales", *Sustainability Science*, Springer. 3: 45-65
- Tsimplis, M.N., Spencer, N.E., "Collection and analysis of monthly mean sea level data in the Mediterranean and the Black Sea", *Journal of Coastal Resaerch*, 13(2): 534-544