

Interreg IIIB – Medocc: L’Ingegneria naturalistica nella protezione del territorio – Supporto del GIS nella pianificazione degli interventi

Maria Antonietta DESSENA^a, Stefano PIGNOTTI^b, Paolo VARGIU^a, Marco ZUMAGLINI^b

a) Ente Autonomo del Flumendosa (EAF) – Cagliari (mdessena@tiscali.it)

b) Istituto Nazionale della Montagna (IMONT) – Roma (stefano.pignotti@imont.gov.it)

Riassunto

Nell’ambito dell’Iniziativa Comunitaria Interreg IIIB – Medocc, è stato approvato il progetto “*Protezione del territorio attraverso il ricorso all’ingegneria naturalistica a scala di bacino idrografico - PROGECO*” al quale partecipano in qualità di Capo Fila l’Ente Autonomo Flumendosa e quali partner l’Istituto Nazionale della Montagna, la Regione Umbria, l’Istituto Superior Técnico (Portogallo), la Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (Portogallo), l’Università della Tessaglia (Grecia) e quale partner osservatore l’Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (Tunisia). Lo scopo principale del progetto è di testare, in diversi ambiti del bacino mediterraneo, l’efficacia e le potenzialità d’utilizzo dell’ingegneria naturalistica per la protezione idrogeologica e la restaurazione degli habitat naturali. I temi affrontati nei casi di studio (uno per paese partecipante) forniscono significativi apporti in termini di conoscenza scientifica, tecnologica e opportunità di sviluppo socio-economico. Le tecniche di raccolta e analisi dati e di realizzazione e manutenzione dell’intervento potranno essere trasferite in ambiti del Mediterraneo con caratteristiche pedoclimatiche simili.

Abstract

EU Interreg IIIB-Medocc project PROGECO (<http://www.medocc-progeco.org>) concerns the use of Ecological Engineering at river basin scale within different Mediterranean contexts (Sardinia, Italy; Algarve, Portugal; Eastern Macedonia, Greece). A common, transferable methodology has been adopted, consisting of: analysis of state-of-the-art in EE applications; use of GIS for spatial data archiving, managing and processing; context analysis with identification of problem areas (with special reference to water resources, land instability, soil degradation and land use changes); identification and implementation of most appropriate structural and non-structural restoration measures. In this paper the working progress in the Sardinian case-study (Gutturreddu stream) is described, focusing on the use of GIS to: generate different-detail DTMs (from either available maps or specific land surveys); manage spatial thematic information (lithology, pedology, land cover); pre- and post-process computer-based hydraulic simulations (flooded areas and water velocities along the channel); evaluate DTM-derived morphic indicators (slope, aspect, etc.). The GIS has proved to be an efficient support in the design and assessment of EE measures.

Metodologia

Le opere di ingegneria naturalistica richiedono, nella fase di progettazione e realizzazione come in quella di monitoraggio, un’accurata conoscenza di tutti i parametri fisici e biologici in gioco. Questa necessità comporta l’acquisizione di una notevole mole di dati, che differiscono per scala e tipologia. Un’opportunità in tal senso la offre la tecnologia GIS sfruttando le funzionalità di integrazione, aggiornamento, processamento, modellazione dati e mappatura automatica dei risultati. Nel caso di studio italiano di PROGECO¹, il bacino del rio Gutturreddu in provincia di Cagliari (Fig. 1a), è stata applicata una metodologia di analisi integrata che relaziona informazioni

¹ Collaborano alla realizzazione del progetto i dottori Gianbattista Novella e Massimiliano Ponti (Regione Sardegna - Assessorato Lavori Pubblici) e i dottori Micol Vascellari e Tomasa Viridis per conto dell’Ente Autonomo Flumendosa.

derivanti da rilievi di campagna, cartografia tematica e dato digitale di nuova acquisizione e che si è rivelata uno strumento efficace a supporto dell'esecuzione di opere di ingegneria naturalistica. La procedura di rappresentazione dei risultati, sia delle opere che delle analisi, ha condotto, in un processo di feedback, al miglioramento delle conoscenze di campagna parallelamente all'affinamento delle tecniche di raccolta ed elaborazione del dato. Ai fini della programmazione e messa in opera degli interventi di ingegneria naturalistica è stato strutturato un Sistema Informativo di gestione del sito in grado di integrare le informazioni relative ai tematismi classici (uso del suolo, litologia, pedologia, unità di paesaggio, dati meteo e di portata) con gli scenari derivanti dalle elaborazioni e simulazioni degli eventi di piena per diversi periodi di ritorno fino a 100 anni.



Figura 1 – a) Il caso di studio italiano del progetto PROGECO: Regione Sardegna, rio Gutturreddu; b) Palificata viva di sostegno realizzata sulla sponda del rio Gutturreddu.

La ricerca è stata condotta suddividendo l'analisi GIS in due fasi, una a scala di bacino e l'altra a scala d'intervento. Nella prima si è proceduto alla ricostruzione del Modello Digitale del Terreno a scala 10x10 metri, a partire dai dati altimetrici messi a disposizione dalla Regione Sardegna, che ha consentito l'elaborazione delle informazioni necessarie per il calcolo delle portate di piena attendibili nell'area di intervento e l'analisi morfometrica del bacino. Successivamente è stato realizzato un rilievo plano-altimetrico di dettaglio dal quale è stato generato un DTM ad alta risoluzione (1x1 metri) della zona dove sono in fase di realizzazione tre interventi di ingegneria naturalistica. Le opere hanno lo scopo di consolidare in due tratti le sponde del rio Gutturreddu, in particolare in prossimità della strada di accesso all'oasi del WWF di Monte Arcosu e in corrispondenza della confluenza con il rio Ninni Arxius (Fig. 1b). L'analisi idraulica ha avuto il compito di definire ed adeguare le opere al regime di deflusso nel corso d'acqua, ipotizzando eventi di piena con tempi di ritorno variabili da 2 a 100 anni e verificandone i possibili effetti; il GIS, che ha fornito i dati di input all'analisi idrologica e idraulica, si è dimostrato uno strumento utile alla rappresentazione e verifica dei risultati oltre a costituire una valida base di partenza per la fase di monitoraggio che tipicamente accompagna le opere di ingegneria naturalistica.

Rilievi di terreno

Il rilievo plano-altimetrico è consistito nell'esecuzione di una serie di misure da terra per la restituzione di un piano quotato dell'intera area interessata dagli interventi previsti nel progetto, abbracciando l'alveo del rio Gutturreddu e del rio Ninni Arxius e i rilievi circostanti. Per l'esecuzione è stata utilizzata la stazione totale modello Leica TCR 703, facendo uso del metodo di misura all'infrarosso, con programma di misura EDM (Electronic Distance Measurement), "precisione" (deviazione standard) 2 mm + 2 ppm e intervallo di misura di circa un secondo.

La rete di capisaldi, vista l'assenza nei dintorni di punti di riferimento assoluti del reticolo IGM, è stata costruita inquadrando i punti fiduciali catastali e i manufatti rappresentati nella Carta Tecnica Regionale 1:10000. Il numero di stazioni utilizzate nella redazione del rilievo è stato complessivamente di undici, con un numero totale di punti battuti pari a 650. In corrispondenza dei siti d'intervento si è provveduto alla costruzione di sezioni trasversali rispetto all'asse del rio Gutturreddu, in modo da poter individuare le pendenze e le quote del terreno nello stato iniziale e nello stato di progetto.

L'ulteriore riduzione degli scostamenti delle misure di angoli e distanze, legati alla precisione intrinseca dello strumento, è stata possibile con la "chiusura" della poligonale da alcune stazioni sulla prima stazione utilizzata e con la lettura da stazioni diverse di punti sensibili individuati lungo l'area d'indagine. La presenza di tali punti iperdeterminati, oltre a permettere la verifica della precisione del rilievo, ha permesso di correggere ulteriormente l'errore di misura commesso in fase di post-elaborazione dei risultati attraverso un software dedicato.

Analisi idrologica

Tenuto conto dell'assenza di misurazioni idrometriche sul rio Gutturreddu, la strada scelta per la valutazione dei deflussi è stata quella di utilizzare formulazioni matematiche che simulano in maniera sintetica e approssimata il processo di trasformazione degli afflussi meteorici nei deflussi del corso d'acqua. Queste formulazioni includono parametri che normalmente sono riconducibili a grandezze correlate alla fisiografia (bacino idrografico e asta principale), per la valutazione delle quali l'approccio GIS si rivela particolarmente adatto. Il modello afflussi-deflussi adottato è quello cinematico, di diffusa applicazione, basato sul parametro tempo di corrivazione (o di concentrazione) del bacino, per il calcolo del quale, tra le svariate formulazioni disponibili, sono state utilizzate quelle proposte da Giandotti (1940) e da Kirpich (1940). In tabella 1 sono riportati i parametri fisici che compaiono nelle due espressioni citate, calcolati tramite GIS.

Parametro	Valore per Gutturreddu
<i>Superficie del bacino (km²)</i>	26,6
<i>Lunghezza percorso idraulico più lungo (km)</i>	13,2
<i>Pendenza percorso idraulico più lungo (%)</i>	7,66
<i>Altitudine max del percorso idraulico più lungo (m s.l.m.)</i>	1086,4
<i>Altitudine alla sezione di chiusura (m s.l.m.)</i>	75
<i>Altitudine media del bacino (m s.l.m.)</i>	419,2

Tab. 1 – Parametri fisici del bacino.

Il processo di trasformazione afflussi-deflussi dipende anche da fattori quali: la geolitologia del bacino, la pedologia e l'uso del suolo. Le informazioni disponibili, riferite al bacino del rio Santa Lucia, di cui il Gutturreddu è un tributario², sono state inserite in ambiente GIS disaggregandole sul bacino di interesse. Il GIS, mediante operatori zionali, ha permesso di ricavare il peso relativo di ogni classe rappresentata nei tematismi considerati.

I dati pluviometrici nell'area del bacino e nelle immediate vicinanze sono risultati insufficienti o inadatti alla formulazione di estrapolazioni statisticamente attendibili. Sono stati pertanto incrociati i risultati provenienti dall'impiego di regolarizzazioni statistiche esistenti con le misure, fra le poche disponibili, relative a eventi particolarmente intensi o comunque significativi (quelli di novembre 1993, dicembre 2004 e, soprattutto, novembre 1999). Ulteriori elementi di valutazione sono derivati dalla regolarizzazione recentemente messa a punto³ sui dati di portata dei corsi d'acqua sardi, così come dalle misure idrometriche effettuate sul rio S. Lucia a valle dell'area in

² Redatte nel quadro del progetto europeo MEDALUS.

³ Nel quadro del progetto CNR-VAPI.

esame (relative ai medesimi eventi di cui sopra). Le portate al colmo di piena calcolate sono riportate in tabella 2, unitamente agli altri parametri della formula razionale, utilizzata per esprimere il legame afflussi-deflussi ($Q = c h/t S)^4$:

T (anni)	h (mm)	c	Q (m ³ /s)
100	110,5	0,30	190
50	83,4	0,20	95
25	72,7	0,16	66
10	58,8	0,10	33
5	48,2	0,06	16
2	32,9	0,01	2

Tab. 2 – Portate al colmo di piena e altre grandezze idrologiche.

Le portate calcolate con l'analisi idrologica fungono da input per le simulazioni idrauliche⁵, che hanno per obiettivo il calcolo dei profili e delle velocità di corrente nel tratto del rio Gutturreddu interessato dagli interventi (la tipologia degli interventi, in particolare l'assenza di opere di laminazione dei deflussi, ha consigliato di limitare le simulazioni alle condizioni di moto permanente, in cui le grandezze idrauliche sono considerate costanti nel tempo). Il software idraulico utilizzato dispone di un'interfaccia GIS che include funzionalità di pre-processing: a partire dai DTM generati in ambiente GIS si è ottenuta la geometria di un numero opportuno di sezioni trasversali d'alveo, in formato direttamente utilizzabile nelle simulazioni idrauliche (Fig. 2). In un primo tempo si è operato sul DTM a maglie 10x10 m, che ha consentito di analizzare un tratto del corso d'acqua più esteso, a monte e a valle, rispetto all'area di intervento. Questo ha permesso di ridurre la possibilità di errori imputabili alla non sufficiente accuratezza delle condizioni geometriche al contorno.

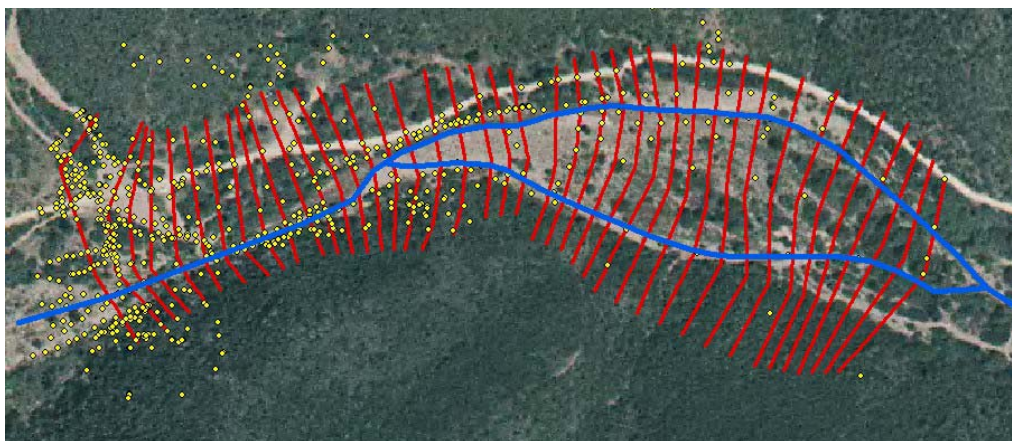


Figura 2 – Area di studio. Punti del rilievo topografico e sezioni trasversali nell'area dove sono stati realizzati gli interventi (Ortofoto a scala 1:3.000).

Successivamente, partendo dal DTM derivato dal rilievo topografico di dettaglio dell'area di intervento e dai risultati delle simulazioni effettuate col DTM 10x10, utilizzati come input per le condizioni al contorno delle nuove simulazioni, è stato possibile condurre una nuova serie di calcoli sul tronco d'alveo interessato dalle opere. Il software usato funge inoltre da post-processor per i risultati delle simulazioni, consentendone l'acquisizione e il trattamento in ambiente GIS. Il

⁴ Q è la portata di una precipitazione di altezza h e durata t (qui è il tempo di corrivazione) caduta sul bacino di area S; c è il coefficiente di afflusso, dipendente dalle caratteristiche del bacino.

⁵ Effettuate con il *freeware* americano HEC-RAS, in pratica uno standard in materia.

risultato si presta ad interessanti considerazioni, specie se confrontato con gli eventi meteorici intensi succitati. In particolare è emersa quella che pare un'incongruenza, in relazione alla piena del dicembre 2004, tra le misure di portata sul S. Lucia e la stima relativa al Gutturreddu ottenuta incrociando i risultati delle simulazioni idrauliche con l'esame della documentazione fotografica e filmata ripresa in occasione dell'evento (Fig. 3). La portata massima misurata sul S. Lucia risulterebbe di circa $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, contro i $10\div 20 \text{ m}^3/\text{s}$ stimabili per il suo affluente Gutturreddu (il cui bacino non rappresenta che un terzo dell'altro).



Figura 3 – Confronto tra la simulazione 3D della piena con tempi di ritorno di 5 anni (in alto) e l'evento alluvionale del Dicembre 2004 (in basso). Per i riferimenti spaziali si osservi la posizione dell'auto in entrambe le scene.

Modellazione GIS e rappresentazione

L'analisi morfometrica a scala di bacino ha fornito risultati sugli elementi di forma lineari, areali e di rilievo, consentendone il confronto con l'uso del suolo e le caratteristiche litologico-strutturali. Dai modelli digitali del terreno è possibile estrarre importanti informazioni geomorfologiche derivabili dalle caratteristiche dell'area considerata. Il DTM raccoglie i valori di quota per ogni cella e da questi è possibile risalire alla forma della superficie mediante l'elaborazione di attributi topografici, classificati in letteratura in vario modo sia sulla base delle peculiarità dell'attributo computato sia sulla base della significatività della sua estensione spaziale. È comunque usuale distinguere in attributi primari quelli derivabili direttamente dal DEM e in attributi secondari quelli ottenibili dalla combinazione dei primari (Wilson J.P. & Gallant J.C., "Terrain Analysis: Principles and Applications", J. Wiley & Sons, 2000). Considerato lo scopo del lavoro, sono stati utilizzati unicamente gli attributi primari pendenza, esposizione, rilievo locale, irregolarità topografica e rugosità che forniscono indicazioni sulla forma del rilievo e sui processi geomorfologici in atto. Mediante operatori di *map algebra* sono state compiute alcune analisi statistiche in ambiente GIS sulle relazioni esistenti tra la distribuzione dei valori degli indicatori e l'uso del suolo e la litologia del bacino per individuare le aree dove è maggiore il contributo al trasporto solido durante gli eventi di piena. I risultati evidenziano che i depositi di versante insistono sulle aree a maggior pendenza del bacino e che la forma del rilievo è maggiormente contrastata in corrispondenza delle formazioni metamorfiche, che affiorano diffusamente nella parte centrale del bacino. Questi caratteri morfologici, in concomitanza nelle medesime aree con situazioni di assente o scarsa copertura vegetale (macchia bassa e/o degradata), determinano condizioni di dissesto superficiale cui è ascrivibile una buona parte del trasporto solido osservato durante gli eventi di piena.

La rappresentazione dei risultati è stata effettuata con una ricostruzione tridimensionale utilizzando il DTM 1x1m generato dal rilievo topografico. Per poter meglio visualizzare le aree di intervento e verificare la reale efficacia, nel tempo, delle opere di ingegneria naturalistica, sono state effettuate delle riprese fotografiche a bassa quota (80 m) mediante pallone aerostatico (BAP *Balloon Aerial Photography*). Nelle aree d'intervento sono state effettuate riprese ortogonali con una risoluzione al suolo di 5 cm che, una volta georeferenziate e ortorettificate, sono state inserite nel GIS e rappresentate tridimensionalmente (Fig. 4).

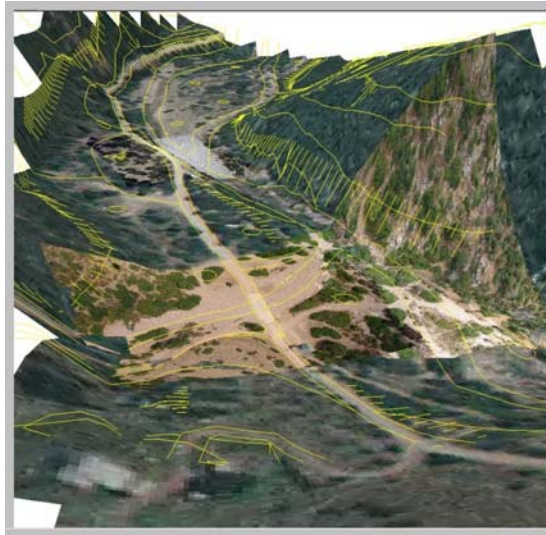


Figura 4 – Veduta tridimensionale dell'area degli interventi (la scala delle altezze è doppia). Sono confrontate la CTR e le Ortofoto 1:10.000 con le riprese fotografiche da pallone aerostatico.

La realizzazione del sito dimostrativo della Regione Sardegna per il progetto PROGECO è un interessante esempio di integrazione tra attività di studio, procedure gestionali e sistemi informativi. La metodologia comune adottata – raccolta dati per ogni sito di studio; uso del GIS come base di archiviazione, gestione ed elaborazione dei dati territoriali; analisi dello stato dell'arte nel campo delle applicazioni di ingegneria naturalistica nei paesi mediterranei; caratterizzazione del territorio, inclusa l'identificazione delle criticità (con particolare attenzione alle risorse idriche, ai fenomeni di degrado del suolo e ai cambiamenti di uso del suolo); creazione di strutture gestionali e di supporto amministrativo per il coordinamento delle attività; individuazione e implementazione delle misure più appropriate, strutturali e non, di protezione del territorio – è risultata essere assai efficace per le applicazioni di ingegneria naturalistica in ambito mediterraneo e sarà pubblicizzata nelle linee guida del progetto, di prossima emissione.