

TERRITORIO.

Le tecniche di ingegneria naturalistica per la protezione idrogeologica

I RISULTATI DI UN INTERVENTO REALIZZATO IN SARDEGNA CON UN PROGETTO EUROPEO

L'ingegneria naturalistica, un tempo conosciuta come bioingegneria forestale, è una disciplina tecnico-scientifica che utilizza materiali tradizionali (es. massi, pietrame, georeti, ecc.) in associazione con materiali vegetali vivi (piante) e non (es. biostuoie in fibra di juta, legname, ecc.), al fine di ottenere un miglior inserimento paesaggistico dell'opera e di potenziarne l'azione di consolidamento e di riequilibrio ecologico grazie all'uso della componente vegetale. L'ingegneria naturalistica, proprio per tali ragioni, sta trovando largo impiego nella restaurazione ecologica dei corsi d'acqua e delle zone umide in generale, nel recupero ambientale di siti fortemente antropizzati, come cave, miniere e discariche, nel consolidamento di frane, versanti, tagli stradali, ecc., ed infine, nel consolidamento delle dune sabbiose.

Le tecniche di ingegneria naturalistica sono, per definizione, di basso impatto ambientale e non producono alterazione dell'habitat naturale, né azione di disturbo nei confronti delle specie sia animali sia vegetali che lo abitano e lo caratterizzano, ma anzi sono mirate a rinaturizzare tali siti *integrando* nell'ambiente circostante per creare un tessuto continuo che sarà ricolonizzato da nuove biocenosi.

In Sardegna, con un progetto pilota realizzato dall'EAF in collaborazione con l'Ufficio del Genio Civile di Cagliari nell'ambito dell'Iniziativa comunitaria Interreg III B – Medocc, sono state messe in pratica differenti soluzioni progettuali corrispondentemente a caratteristiche differenti dell'area d'intervento.

Problematiche ambientali

Il sito prescelto per la realizzazione del progetto PROGECON è il rio Guttureddu, nei pressi dell'oasi naturalistica di Monte Arcosu di proprietà del WWF. L'area di studio fa parte della Rete Natura 2000 ai sensi dell'art. 3 della Direttiva Habitat dell'Unione Europea, e comprende sia un Sito d'Interesse Comunitario (SIC) che una Zona di Protezione Speciale (ZPS). L'area è stata scelta, oltre che per l'alto valore naturalistico, per la predisposizione a fenomeni di modificazione geomorfologica dovuti ad eventi alluvionali particolarmente intensi, generati da precipitazioni meteoriche eccezionali che causano periodicamente l'esondazione dei corsi d'acqua investendo una vasta zona della piana valliva del rio Santa Lucia e dei suoi affluenti principali (rio Gutturumannu e rio Guttureddu).

In particolare, si sono privilegiate alcune zone d'intervento caratterizzate da assenza o marcata degradazione della vegetazione autoctona, testimonianza visiva dei processi erosivi che si manifestano in tali periodi di intenso scorrimento. Queste zone corrispondono ai punti in cui il corso d'acqua

GLI AUTORI.

Maria Antonietta Dessena,
geologa, ha coordinato
il Progetto PROGECON per conto
dell'Ente Autonomo del Flumendosa.
e-mail: mdessena@tiscali.it

L'ingegnere **Paolo Vargiu**
è un libero professionista
e consulente per l'EAF.
e-mail: paolo.vargiu@tiscali.it

La naturalista **Micòl Vascellari**
è una libera professionista
e consulente per l'EAF.
e-mail: micolvasc@tiscali.it

Questo articolo descrive il caso studio
realizzato in provincia di Cagliari
dall'Ente Autonomo del Flumendosa,
Servizio Salvaguardia del Territorio e Tutela
delle Acque, con la collaborazione dell'Ufficio
del Genio Civile di Cagliari (RAS)
nell'ambito del progetto PROGECON
(vedi la scheda a pagina 18).

assume particolare energia. I siti d'intervento sono: un tratto di sponda destra del rio Guttureddu con evidente erosione al piede (sito A); una parte di alveo e di argine in corrispondenza di un guado (sito B) su un affluente del rio Guttureddu con visibili segni di incisione; la sponda sinistra del rio Guttureddu soggetta ad erosione spondale con interessamento del corpo stradale (sito C). Le suddette aree test sono state individuate altresì per consentire l'applicazione e la sperimentazione di diverse pratiche di ingegneria naturalistica, usufruendo di materiali naturali presenti in loco di tipo vegetale (piante, erbe, semi, etc.) e non (pietrame, massi, ecc.).

Descrizione degli interventi

Le attività di studio preliminari e le attività sul campo sono iniziate nel mese di maggio del 2004. Tale periodo è stato dedicato all'acquisizione di dati importanti per il completamento delle analisi (analisi idrologica ed idraulica, analisi vegetazionale, stima dell'indice di funzionalità fluviale, ecc.) al fine di ponderare le scelte progettuali più adatte. L'esecuzione degli interventi strutturali ha avuto inizio nel mese di

aprile del 2005. Sono poi seguite le fasi di monitoraggio e manutenzione delle opere a verde, fino a giugno 2006, quando si è conclusa la fase tecnico-esecutiva del progetto.

Vediamo nel dettaglio gli interventi eseguiti.

Sito A - sponda destra del rio Cuttureddu: protezione del versante in frana per erosione al piede



A.1 - Realizzazione di una protezione al piede della scarpata eseguita con gabbionate interrate, costituenti la fondazione dell'intervento, sovrastanti blocchi in pietra naturale e messa a dimora di essenze autoctone.

A.2 - Regularizzazione della scarpata in erosione e creazione di uno sgrondo sommitale per la regimazione delle acque di scorrimento superficiale.

A.3 - Ricostituzione della scarpata con una mantellata viva, con piantine radicate di specie autoctone e sementi di essenze graminacee e leguminose, in cui il terreno di riempimento è opportunamente rinforzato dalla stesura di rete metallica in strati orizzontali e da ricoprimento finale di biostuoia in juta. La mantellata viva è vincolata al piede sul gabbione di cui sopra.

Sito B1- rio Ninni Arxius: risagomatura alveo

B.1.1 - Piccola risagomatura dell'alveo nel tratto immediatamente a valle del guado della strada comunale e fino all'immissione nel rio Cuttureddu, con movimentazione del sedimento in alveo verso la destra idraulica, al fine di ridurre l'angolo di immissione del rio Ninni Arxius e proteggere la sponda destra in erosione dello stesso rio Cuttureddu, oggetto del summenzionato intervento A.

B.1.2 - Realizzazione di una difesa spondale in destra idraulica costituita da blocchi in pietra naturale e messa a dimora di essenze vegetali autoctone.

Sito B2 - rio Cuttureddu: risagomatura alveo

B.2.1 - Risagomatura dell'alveo nel tratto immediatamente a monte della biforcazione dell'alveo di magra del rio Cuttureddu, con movimentazione del sedimento in alveo dalla destra verso la sinistra idraulica e rinforzo della sponda sinistra con blocchi in pietra naturale, e messa a dimora di essenze autoctone, al fine di ricondurre il deflusso in condi-

Sito A

tipo di intervento:	<i>mantellata viva e protezione al piede con gabbioni e blocchi in pietra, piantine radicate e talee autoctone</i>
lunghezza scarpata:	40 m
larghezza scarpata:	4 m
pendenza media scarpata:	60° portata a 40°
totale celle:	62 × 4
area cella:	0,7 m ²
piante messe a dimora:	213

A sinistra, il sito A dopo il completamento dell'intervento. A destra: la costruzione della grata in legname con stesura di biostuoia in juta e rete metallica.

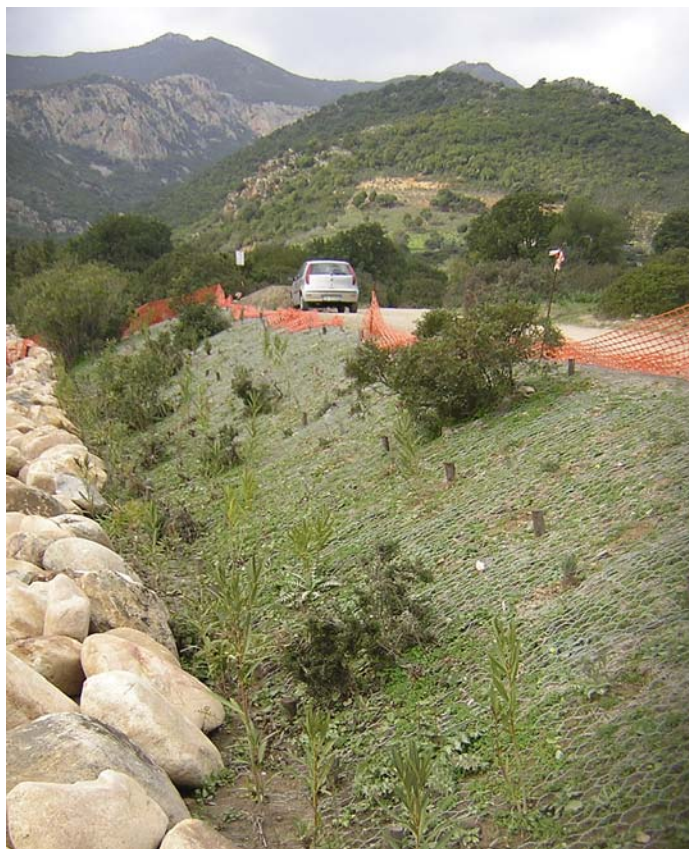


Sito B1

tipo di intervento:	<i>risagomatura dell'alveo e protezione spondale dell'argine; rinaturalizzazione con specie locali</i>
lunghezza argine:	50 m
larghezza argine:	3 m
piante messe a dimora:	115

zioni di magra o di piena moderata verso l'alveo principale originario e di proteggere la difesa spondale di cui al successivo intervento C.

**Sito C - sponda sinistra del rio Guttureddu:
protezione del versante soggetto a erosione spondale
con interessamento del corpo stradale**



Sito C

tipo di intervento:	<i>protezione al piede con gabbioni e blocchi in pietra, rimodellamento argine, piantumazione con piantine radicate e talee</i>
lunghezza argine:	60 m
larghezza argine:	3 m
piante previste:	435



A sinistra, il sito C dopo l'intervento.
Qui sopra: stesura di juta e rete metallica a chiusura e piantumazione.
In basso: un particolare dei blocchi incatenati con cavo d'acciaio.

C.1 - Realizzazione di una protezione al piede della scarpata eseguita con blocchi in pietra naturale, armati e non, sovrastanti una gabbionata discontinua con funzione di fondazione e di vincolo dell'armatura dei blocchi.

C.2 - Messa a dimora di essenze autoctone a ridosso dei blocchi.

C.3 - Regularizzazione della scarpata in erosione e ricostituzione della stessa mediante materiale terroso sostenuto da una struttura in talee e georete, vincolata al suolo con cavi in acciaio legati a paletti in legno infissi nel terreno, e messa a dimora di talee e fitocelle di essenze vegetali autoctone ed semina di essenze graminacee e leguminose.

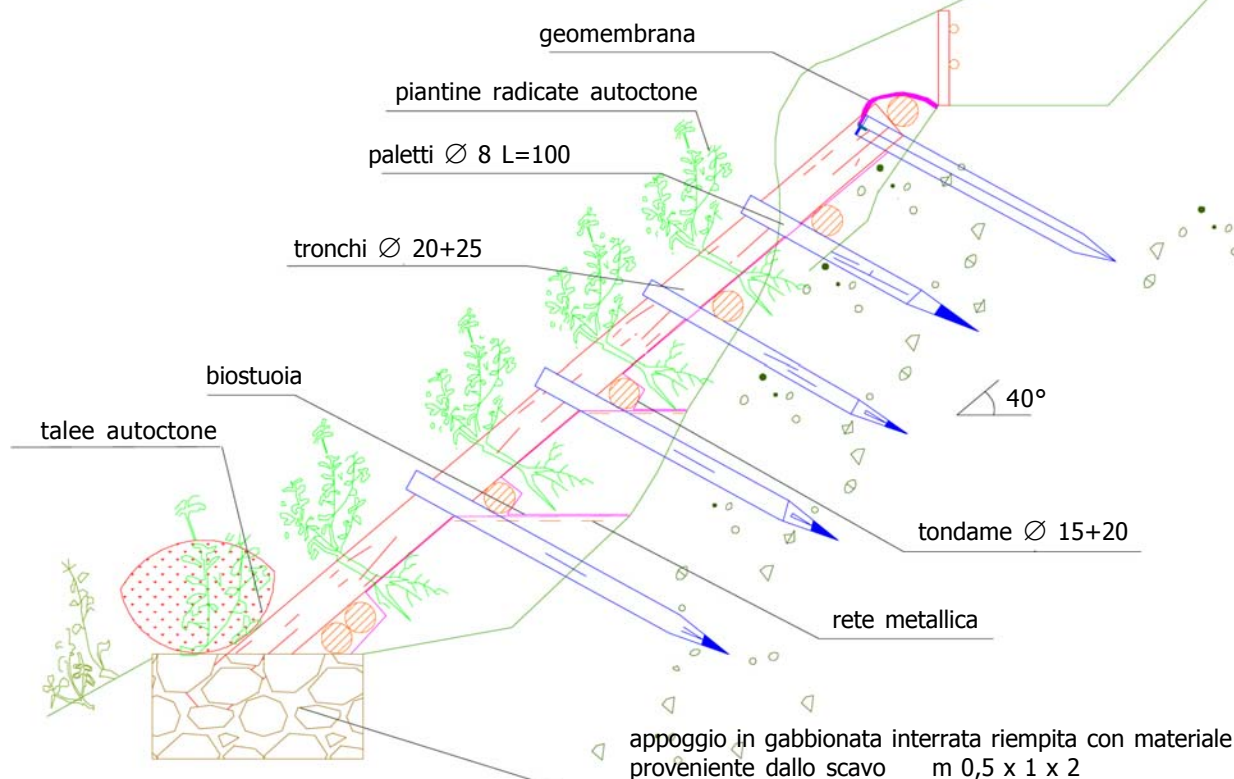
Strategia d'intervento e lavorazioni

Nel progetto pilota Guttureddu-Medocc si è voluto dare risalto, oltre che alla funzionalità delle scelte di intervento, anche all'aspetto estetico-paesaggistico. Pertanto, i gabbioni sono stati opportunamente interrati e nascosti da blocchi in pietra di protezione ricavati dall'assemblamento di massi granitici di grandi dimensioni, residuo del trasporto fluviale conseguente agli eventi alluvionali passati che hanno interessato più volte tutto il bacino del rio Guttureddu.

In particolare, nel sito C i blocchi poggianti sui gabbioni



Rio Gutturreddu, sito A: grata in legname con talee e piantine radicate autoctone (sezione)



interrati sono stati forati e muniti di golfare ancorate con tassello chimico, ed agganciati l'uno all'altro tramite un cavo in acciaio collegato a piastre metalliche posizionate al di sotto della copertura di gabbioni. Tale tecnica è stata adoperata per assicurare l'immobilità dei blocchi in seguito a spinte sinergiche derivanti dall'energia con cui si manifestano alcuni importanti fenomeni di piena e potenziarne la loro funzione di difesa.

Strategia botanica

Durante il lavoro di pulitura, rimodellamento e protezione con georete e biostuoia della sponda destra del sito A e della sponda sinistra del sito C, è stato evitato l'estirpamento della vegetazione più sana e folta. I macchioni di vegetazione ad oleandro e salice ed altre specie (come carrubi, ginepri ecc.), lasciati intatti, hanno svolto sulla neovegetazione piantata un'azione di protezione dall'eccessiva esposizione a sole e vento, fattori che di norma influenzano negativamente la crescita delle giovani piantagioni.

Per quanto concerne la scelta delle specie vegetali, le specie individuate, già presenti nell'alveo del rio Gutturreddu, provengono tutte da germoplasma autoctono fornitoci da un vivaio locale. Tali essenze si prestano bene a sopravvivere a condizioni ambientali estreme sopravvivendo, anche parzialmente sommerse, in periodi di abbondanza d'acqua e resistendo alla siccità nei periodi di secca prolungati tipici dei nostri ambienti mediterranei (es. *Nerium oleander*, *Salix purpurea*, *Tamarix gallica*, ecc.).

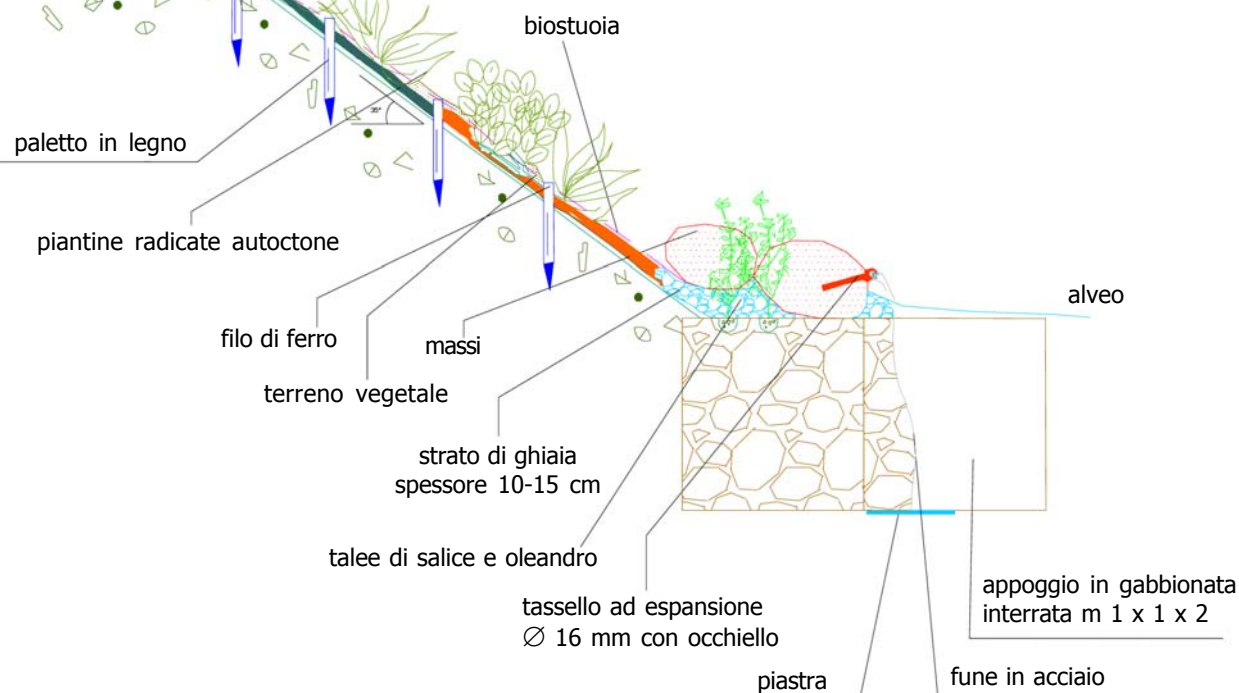
Nel sito A, la mantellata viva è stata creata con specie locali erbacee-arbustive in forma di piantine radicate messe a dimora all'interno delle celle della grata in legname. Alla base della mantellata è stato creato un filare di piantine radicate e di talee locali, come ulteriore protezione meccanica del versante con funzione di contrasto dell'azione erosiva dell'acqua al piede.

Nei siti B e C la realizzazione della difesa spondale, rispettivamente in destra e sinistra idraulica, costituita da gabbioni seminterrati coperti da blocchi in pietra naturale, è stata completata da un intervento di rinaturazione con essenze vegetali autoctone, finalizzato a ricostituire la vegetazione che era stata compromessa dagli eventi di piena.

Naturalmente, la disposizione delle piantine sugli argini è stata valutata considerando tutti i crismi necessari, ossia il loro comportamento più igrofilo o xerofilo (nelle celle più in basso della grata sono state inserite le specie più igrofile, in quelle più in alto quelle più xerofile).

Per quanto riguarda le talee, solamente nel periodo di fine inverno-inizio primavera (febbraio 2006), periodo ritenuto più favorevole alla produzione dei germogli in Sardegna, si è proceduto alla raccolta, alla preparazione ed alla messa a dimora di talee locali (*Salix purpurea* e *Nerium oleander*), le quali sono state infilate verticalmente e parallelamente tra loro nel substrato, a formare un triplo filare ad ulteriore protezione della mantellata. Nello stesso periodo è stata realizzata in tutti i siti la semina a spaglio con specie erbacee consolidanti.

Rio Gutturreddu, sito C: copertura diffusa con piantine radicate autoctone e talee (sezione)



Nei mesi successivi alla messa a dimora delle specie vegetali, che per necessità legate all'esecuzione dei lavori in un determinato lasso di tempo è coincisa con il periodo più caldo dell'anno, meno adatto alla piantumazione di giovani piantine (giugno–agosto 2005), si è reso necessario irrigare almeno 1-2 volte alla settimana. L'irrigazione è stata sospesa con l'inizio della stagione autunnale, ovvero con il manifestarsi dei primi rovesci. In generale, nel caso di ripristino di ecosistemi naturali, l'irrigazione è sempre sconsigliata, o deve costituire una pratica limitata a condizioni fisio-climatiche particolari, poiché le specie sviluppano con maggiore difficoltà una propria resistenza alle condizioni ambientali avverse. Questo è anche il motivo per cui generalmente alle piante in serra si preferisce acquistare piante adattate all'aperto.

Le specie di Progeco sono state tutte monitorate nel corso dei due anni di durata del progetto al fine di valutarne la fitness biologica, l'adattabilità a condizioni estreme, la loro capacità antierosiva e di consolidamento del terreno. Sono state condotte anche prove in laboratorio sui semi e talee per stimare, sui primi, valori di qualità della semente (come l'umidità, la purezza e l'energia germinativa), sulle seconde prove di radicabilità.

Risultati conseguiti

Effetti positivi si sono già potuti apprezzare in risposta all'evento alluvionale del 30 gennaio 2006, che ha interessato numerosi bacini imbriferi della Sardegna, nonché il bacino del Santa Lucia, di cui fa parte il rio Gutturreddu.

Nel sito A, osservando frontalmente la mantellata viva, la parte più a monte del sito di intervento ha beneficiato dell'onda di piena, poiché la sinergia tra due rivoli d'acqua ha fatto sì che quello con minore energia cinetica esplicasse azione di sedimentazione di materiale fino (sabbia fine e ghiaia) che è andato depositandosi tra il piede della grata e la protezione in blocchi; la parte più a valle ha invece risentito direttamente dell'impatto del rivolo a maggiore portata che, scavalcata la protezione in blocchi, ha eroso la base della grata lisciviando il terreno di ricoprimento e portando via alcune delle giovani piantine. Le piante posizionate all'interno della grata in legname non hanno risentito di alcun effetto della piena e sono tutte in buona salute.

Nei giorni successivi all'evento del 30 gennaio 2006, una volta ripristinate condizioni di normalità, sono stati realizzati alcuni accorgimenti mirati al rinforzo del **sito A**, quali il potenziamento della protezione in massi al piede della mantellata viva e il ricoprimento con materiale misto; infine sono state rimpiazzate alcune piantine alla base della grata che erano state portate via dall'onda di piena.

In corrispondenza del **sito B1**, la difesa in blocchi ha retto bene alla piena, che ha eroso il letto del fiume immediatamente oltre la difesa in blocchi in prossimità del nuovo argine. Nei **siti B2 e C**, l'estremità finale del pennello creato a protezione dell'argine è stata rimodellata dalla corrente, ma ciò ha creato come previsto una condizione ancora più favorevole, poiché il fiume durante la piena ha depositato materiale grossolano (blocchi e pietrame di grosse dimensioni)



Il sito A, dopo la piena del 30 gennaio 2006: accumulo di materiale fino nella parte a monte (a sinistra) ed erosione al piede della grata nella parte a valle.

che si è raccolto a ridosso del pennello stesso, creando un dosso naturale che consente al fiume di preservare il laghetto naturale già esistente. Tale rideposizione naturale di sedimento ha portato il fiume a occupare stabilmente la destra idraulica e a non lambire direttamente ed in maniera invasiva, se non in condizioni eccezionali di piena, la sponda sinistra del sito C.

Durante l'evento alluvionale, l'alveo ha superato la barriera di massi ed è andato ad allagare la scarpata per un'altezza media lungo tale lunghezza di 70 cm rispetto alla quota del piede della scarpata e per una estensione di 3,50 m a partire dalla difesa di blocchi. In ogni caso, l'intervento tecnico di ingegneria naturalistica ha retto bene, esplicando tutte le funzioni attese, poiché non si è verificato alcun danno né alla difesa in blocchi, né alle specie vegetali.

Documentazione fotografica e supporto GIS

La documentazione fotografica raccolta durante l'attività comprende immagini realizzate nelle varie fasi di intervento ed immagini aeree opportunamente prodotte attraverso l'utilizzo di un pallone aerostatico. Queste ultime hanno rappresentato un materiale molto utile nell'utilizzo del GIS nell'ambito delle simulazioni dei livelli di piena e delle ricostruzioni del rilievo in 3D.

Nel caso del bacino del rio Guttureddu è stata applicata una metodologia di analisi integrata che relaziona informazioni derivanti da rilievi di campagna, cartografia tematica e dato digitale di nuova acquisizione. Questa metodologia 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,



Il sito C durante l'evento di piena del 30 gennaio 2006 e - in basso - il successivo accumulo di materiale grossolano (vista da monte).



Specie botaniche utilizzate in Progeco

specie	tipologia
<i>Nerium oleander</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Salix purpurea</i> <i>Ceratonia siliqua</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Inula viscosa</i> <i>Myrtus communis</i> <i>Calicotome villosa</i> <i>Juniperus oxycedrus ssp. oxycedrus</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Lavandula stoechas</i> <i>Phyllirea angustifolia</i> <i>Olea oleaster</i> <i>Helichrysum italicum ssp. microphyllum</i> <i>Quercus ilex</i> <i>Timo vulgaris</i> <i>Spartium junceum</i>	piantine radicate
<i>Nerium oleander</i> <i>Salix purpurea</i>	talee locali
<i>Cynodon dactylon</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Calicotome villosa</i> <i>Cistus monspeliensis</i> <i>Cistus salvifolius</i> <i>Oryzopsis miliacea</i>	semi



Due immagini riprese con l'aiuto di un pallone aerostatico: qui sopra una panoramica della valle del Gutturreddu, in basso il sito C dopo i lavori iniziali di pulitura e rimodellamento dell'argine.



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.

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 interessata alla realizzazione dei tre interventi di ingegneria naturalistica.

L'analisi idraulica ha avuto il compito di definire e 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 costituito 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. Nella redazione del rilievo sono state utilizzate complessivamente undici stazioni, 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



Il sito A (sponda destra del rio Cutturreddu) fotografato con l'ausilio di un pallone aerostatico e - in basso - un'immagine del sito B in prossimità del guado.



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. Le portate calcolate con l'analisi idrologica fungono da input per le simulazioni idrauliche, che hanno per obiettivo il calcolo dei profili e delle velocità di corrente nel tratto del rio Cutturreddu interessato dal progetto. 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 - il *freeware* americano HEC-RAS - 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.

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. 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 risultato si presta ad interessanti considerazioni, specie se confrontato con gli intensi eventi meteorici ricordati. In particolare è emersa quella che pare un'incongruenza, in relazione alla piena del dicembre 2004, tra le misure di portata sul Santa Lucia e la stima relativa al Cutturreddu ottenuta incrociando i risultati delle simulazioni idrauliche con l'esame della documentazione fotografica e filmata ripresa in occasione dell'evento. La portata massima misurata sul Santa Lucia risulterebbe di circa 4,5 m³/s, contro i 10,20 m³/s stimabili per il suo affluente Cutturreddu (il cui bacino non rappresenta che un terzo dell'altro).

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

Quattro paesi europei coinvolti in Progeco

Nell'ambito dell'Iniziativa Comunitaria Interreg III B – Medocc, è stato approvato e realizzato il progetto **“Protezione del territorio attraverso il ricorso all'ingegneria naturalistica a scala di bacino idrografico – PROGECO”**, al quale ha partecipato in qualità di capofila l'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF) di Cagliari.

I partner per l'Italia erano l'Istituto Nazionale della Montagna (IMONT) e la Regione Umbria. Coinvolti come partner internazionali anche l'Institut Superior Técnico e la Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve per il Portogallo, l'Università della Tessaglia per la Grecia e (in qualità di partner osservatore) l'Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et forêts della Tunisia.

Lo scopo principale del progetto era quello di testare in diversi ambienti del bacino mediterraneo l'efficacia e le potenzialità dell'ingegneria naturalistica per la protezione idrogeologica e la restaurazione degli habitat naturali. I temi affrontati nei casi studio, uno per ogni paese partecipante, hanno fornito significativi apporti in termini di conoscenza scientifica e tecnologica, oltre che opportunità di sviluppo socio-economico. Le tecniche di raccolta ed analisi dati, e di realizzazione e manutenzione dell'intervento, potranno essere trasferite in ambiti mediterranei con caratteristiche pedoclimatiche simili. Nel 2006, PROGECO è stato giudicato dall'Autorità di gestione di Interreg miglior progetto “Best practices” all'interno dell'asse Ambiente e tra i quattro scelti in tutta la programmazione 2004-2006.

La storia, gli obiettivi, le metodiche e le schede illustrative di 31 tecniche, gli interventi adottati nei diversi casi studio ed il risultato del monitoraggio sono pubblicati nelle “Linee guida sull'Ingegneria Naturalistica in ambito mediterraneo” prodotte nell'ambito del progetto e pubblicate a settembre 2006 in francese (lingua ufficiale del progetto). La versione in italiano dovrebbe essere disponibile da ottobre 2006. Nel sito web <http://www.medocc-progeco.org> è possibile consultare il database bibliografico ed il database delle specie botaniche prodotti durante il corso dell'attività.

Il gruppo di lavoro impegnato durante le fasi del progetto in Sardegna era composto da professionisti di varia formazione e con competenze diversificate.

Ente Autonomo del Flumendosa (capofila del progetto)

- dott. geol. *Maria Antonietta Dessena* (coordinamento del progetto, impostazione metodologica e geologica dell'area d'intervento, database bibliografico);

- dott. biol. *Marcella Ferralis* (caratterizzazione microbiologica delle acque del rio Guttureddu e del rio Ninni Arxius);
- dott. ing. *Giorgio Ortu* (elaborazione dei dati idrologici del bacino del rio Guttureddu);
- dott. biol. *Tomasa Virdis* (caratterizzazione floristica e faunistica dell'area d'intervento, calcolo dell'Indice di Funzionalità Fluviale, modalità di esecuzione delle opere di rinverdimento);

Servizio del Genio Civile di Cagliari (partner locale del capofila)

- dott. geol. *Giambattista Novella* (progettazione degli interventi);
- dott. ing. *Massimiliano Ponti* (progettazione degli interventi);

Istituto per la Montagna (partner del Progetto per l'Italia)

- dott. *Loredana Alfarè* (coordinamento del progetto);
- dott. geol. *Stefano Pignotti* (studio geomorfologico dell'area d'intervento e realizzazione del GIS);
- dott. ing. *Marco Zumaglini* (caratterizzazione idrologica del bacino del rio Guttureddu);

Regione Umbria (partner del Progetto per l'Italia)

- dott. arch. *Alfredo Manzi* (supporto metodologico alla progettazione degli interventi);

Consulenti EAF

prof. dott. *Angelo Aru* (supporto alla progettazione degli interventi, studio delle caratteristiche pedologiche e vegetazionali dell'area d'intervento, uso del suolo);

prof. dott. *Paolo Baldacchini* (supporto alla progettazione degli interventi, studio delle caratteristiche pedologiche e vegetazionali dell'area d'intervento, uso del suolo);

dott. ing. *Paolo Vargiu* (rilievo topografico del sito, produzione archivio fotografico, progettazione degli interventi, direzione lavori e sicurezza);

dott. nat. *Micòl Vascellari* (caratterizzazione floristica e faunistica dell'area d'intervento, calcolo dell'Indice di Funzionalità Fluviale, creazione database delle specie vegetali, schedatura e realizzazione dell'erbario, scelta delle specie vegetali da impiantare nell'area e delle modalità di esecuzione delle opere di rinverdimento).

Collaboratore

perito agrario *Alessandra Lampis* (caratterizzazione floristica, scelta delle specie vegetali da impiantare nell'area e delle modalità di esecuzione delle opere di rinverdimento, sperimentazione di laboratorio, analisi multivariata).

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.

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.

Maria Antonietta Dessena

Paolo Vargiu

Micòl Vascellari