

LA DIFESA DALL'EROSIONE MEDIANTE GEOCELLE SUI CANALI DEL SERBATOIO DI BILANCINO (FIRENZE)

1. Introduzione

Il Consorzio Risorse Idriche di Firenze ha commissionato il progetto e la realizzazione del serbatoio del Bilancino, a scopo di alimentazione idropotabile della città e di regimazione delle piene, per evitare una eventuale inondazione della città di Firenze.

Il bacino si estende su una superficie molto vasta; nel punto più largo le sponde distano circa 3.5 km; la sua capacità a pieno invaso è di 64.000.000 m³ di acqua, su una superficie di 5.40 km².

Esso è quotidianamente alimentato dal fiume Sieve e da altri torrenti, quali lo Stura, il Calecchia, il Taviano e il Sorcella.

Il problema principale era di inserire questa immensa opera artificiale nell'ambiente circostante, causando il minimo impatto ambientale.

Occorreva, inoltre, realizzare una protezione antierosiva nella parte superiore delle sponde degli affluenti salvaguardando l'aspetto naturalistico delle stesse. Tali arginature di sponda realizzano un alveo a sezione trapezia, con sponde inclinate in media di 2/1.

Gli argini sono realizzati con materiali aridi reperiti nel futuro invaso, e sono protetti dall'erosione, nella parte basse dell'alveo, mediante materassi tipo Reno.

La parte alta degli argini, al di sopra del livello di invaso, doveva essere rinverdita e protetta dall'erosione meteorica e da deflusso superficiale. Si trattava, in pratica, di trovare un sistema che, garantendo la stabilità del terreno superficiale delle sponde, continuamente interessate dall'azione erosiva delle acque piovane e di ruscellamento, consentisse il rinverdimento delle sponde stesse.

Tale intervento protettivo, difficilmente attuabile con semplice inerbimento a causa della natura arida del rilevato arginale, è stato effettuato mediante geocelle riempite di terreno vegetale. Oltre 6 km di sponda sono stati protetti con questa tecnica.

La memoria descrive in dettaglio l'intervento soffermandosi in particolare sulle modalità di posa in opera delle geocelle.

Un'analisi critica dei risultati, a più di cinque anni dall'installazione, consente di evidenziare alcuni problemi tipici e suggerisce semplici accorgimenti per ottenere risultati ottimali con la tecnica delle geocelle, che ha dimostrato di essere un sistema eccellente per la protezione dall'erosione e per il rinverdimento di arginature in materiale arido.

2. Meccanica dell'erosione

Quando nei lavori di sistemazione di scarpate naturali viene eliminata o viene a mancare temporaneamente la vegetazione naturale e spontanea, il terreno risulta al massimo della sua vulnerabilità nei confronti dell'azione erosiva degli agenti atmosferici. In tali condizioni, l'obiettivo è sviluppare nel minor tempo possibile un ecosistema che permetta la ricostruzione della vegetazione naturale oppure, in alternativa, un idoneo tipo di protezione superficiale contro l'erosione.

Su terreni "indisturbati" avvengono spontaneamente fenomeni di erosione naturale morfogenetica; durante questo

processo si compie un ciclo naturale in grado di mantenere un certo equilibrio tra la formazione di terreno naturale e la sua erosione.

Quando però la vegetazione naturale è "disturbata" o manca del tutto, si verifica il secondo tipo di erosione, detta accelerata; questa forma di erosione consiste in una perdita non compensata di terreno vegetale che si verifica quando la superficie del terreno viene disturbata da attività umane.

I quattro principali meccanismi dell'erosione operata dall'acqua sono :

- distacco delle particelle del terreno provocato dall'impatto delle gocce della pioggia;
- distacco delle particelle del terreno provocato dallo scorrimento dell'acqua in superficie;
- trasporto di particelle per azione dell'impatto delle gocce di pioggia;
- trasporto di particelle da parte dell'acqua che scorre in superficie.

Durante l'erosione provocata dal vento il distacco ed il trasporto sono parte dello stesso processo. Nell'erosione dovuta all'acqua i processi più distruttivi sono il distacco per impatto delle gocce di pioggia sul terreno e per scorrimento superficiale: ovviamente dove il terreno è in pendenza gli effetti sono notevolmente maggiori.

Il distacco per impatto delle gocce di pioggia sul terreno è funzione dell'erodibilità del terreno e dell'energia cinetica delle gocce di pioggia.

Il trasporto per scorrimento superficiale si verifica quando la capacità del suolo di assorbire acqua è minore della quantità di pioggia che cade. L'acqua che non può filtrare nel terreno scorre così sulla superficie trasportando particelle di terreno e, se viene superato il valore della velocità critica propria del particolare terreno, si verifica un'erosione estesa e profonda. L'erosione è funzione dell'erosività, che dipende dalla naturale energia dell'acqua piovana o del vento, e dei fattori di erodibilità, che sono le caratteristiche geologiche e geomeccaniche del terreno, la topografia e la vegetazione.

3. Le geocelle

Le geocelle del tipo TENAX TENWEB utilizzate in questo progetto sono strutture a "nido d'ape" di spessore 75 mm, realizzate mediante estrusione in continuo di polietilene, senza successive saldature; la struttura è apribile a fisarmonica e quindi può essere trasportata e stoccata nelle condizioni di minimo ingombro e successivamente aperta all'atto della posa in opera, formando così una serie regolare di celle (diametro variabile da 100 a 300 mm) tutte collegate tra loro. Una volta estese alla massima apertura e riempite le celle di terriccio vegetale (Fig. 1), la struttura diventa praticamente inestensibile, monolitica, consentendo quindi un efficace confinamento dei materiali sciolti stesi all'interno delle singole celle, impedendone il movimento anche su pendii scoscesi oppure durante forze di trascinamento anche considerevoli come quelle esercitate da una corrente idrica.

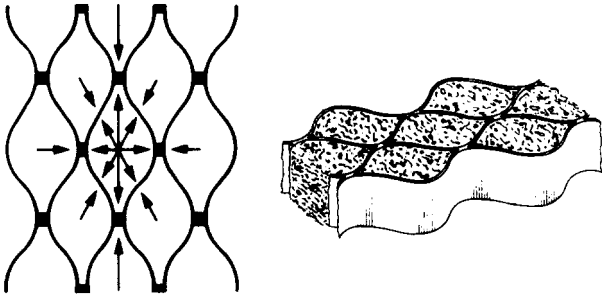


Fig. 1- Forze generate dalla resistenza delle pareti della cella

La struttura alveolare è quindi particolarmente indicata per vegetare terreni aridi, o rocciosi, dove manca totalmente o quasi il substrato vegetale.

Utilizzando le geocelle, è possibile confinare sulle scarpate uno strato di terreno vegetale di circa 70-100 mm, tale da permettere l'inerbimento della scarpata con una certa sicurezza.

4. L'intervento di Bilancino

Il controllo dell'erosione e il contemporaneo rinverdimento delle sponde degli affluenti al Serbatoio di Bilancino è stato possibile utilizzando Geocelle TENAX TENWEB 230, eventi spessore di 75 mm e diametro di 230 mm.

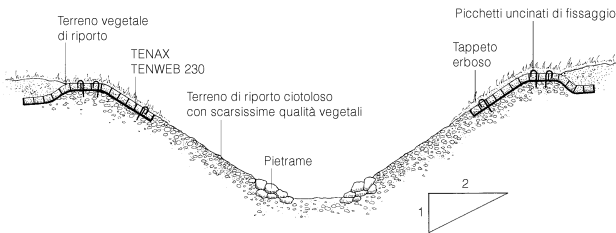


Fig. 2- Sezione tipica dell'alveo

L'azione di confinamento del terreno esercitata dalle celle garantisce un efficace controllo dell'erosione dovuto sia alle acque piovane che a quella del fiume anche durante fenomeni di piena.

Il riempimento delle celle è stato effettuato con terreno vegetale di coltura che facilita l'inerbimento della parte superiore delle sponde.

5. La posa in opera

Come evidenziato in fig. 2, la mantellata di geocelle aveva uno sviluppo di circa 4 metri lungo la parete dell'argine. Pertanto la posa delle geocelle secondo il metodo "canonico", cioè con le giunzioni allineate lungo le linee di massima pendenza, avrebbe richiesto un lungo lavoro di taglio dei pannelli in piccoli elementi.

Per consentire una posa in opera rapida e contenere così i costi, è stato perciò deciso di posare le geocelle lungo le linee di livello, cioè ruotate di 90° rispetto alla direzione di posa usuale.

La procedura di installazione è stata pertanto la seguente:

- stendimento dei pannelli, ancora compattati, sulla cresta e loro fissaggio con picchetti in legno;

- apertura dei pannelli verso il basso e nuovo fissaggio al piede e lungo il pendio;
- riempimento delle geocelle in cresta e ricoprimento con lo spessore di terreno necessario per l'ancoraggio;
- riempimento delle geocelle lungo il pendio, con adatto terreno vegetale;
- semina a spaglio;
- irrigazione.

Tale metodo di posa si è rivelato particolarmente rapido e semplice. L'installazione è stata eseguita dall'Impresa con normali mezzi di cantiere e con le maestranze usuali.

Le Figg. 3, 4 e 5 illustrano alcune fasi della posa in opera.



Fig. 3 - Preparazione degli argini



Fig. 4 - Riempimento della trincea di ancoraggio



Fig. 5 - Riempimento delle celle

6. Analisi dei risultati

Il Serbatoio di Bilancino è stato il primo progetto di utilizzo a grande scala delle geocelle in Italia. È stata quindi necessariamente scontata una certa inesperienza, che non ha comunque pregiudicato il buon esito dell'intervento. A 6 anni di distanza dall'installazione, si può dire che il risultato sia più che buono: i 6 km di sponda risultano perlopiù completamente inerbiti e l'erosione è stata assolutamente minima.

Si sono riscontrate piccole erosioni localizzate, di cui si è comunque trovata la causa in alcuni difetti del sistema di posa, dovuti all'inesperienza ed alla mancanza, allora, di un adeguato metodo di progetto. Tali difetti sono stati comunque eliminati con semplici interventi.

Sono perciò sufficienti piccoli accorgimenti per evitare tali difetti e conseguire così una posa a regola d'arte e risultati ottimali.

L'analisi delle sponde degli affluenti del Serbatoio di Bilancino ad alcuni anni di distanza dalla posa in opera ha consentito di evidenziare i seguenti punti.

a) Se non si provvede l'ancoraggio in cresta, o se la lunghezza di ancoraggio è insufficiente (v. Fig. 6), il pannello di geocelle tende a scivolare verso il basso, contrastato solo dai picchetti di fissaggio. Lo sforzo localizzato provocato dai picchetti sulle giunzioni delle geocelle, soprattutto per le file superiori di celle, può allora provocare la plasticizzazione e la rottura delle giunzioni stesse. In tal caso le celle circostanti la giunzione si aprono leggermente, il terreno in esse contenuto risulta meno confinato e si verifica così facilmente una piccola erosione localizzata. Ciò può essere evitato incrementando il numero di picchetti di fissaggio dove la lunghezza di ancoraggio sia insufficiente, per ragioni geometriche e/o di installazione. L'attuale metodo di calcolo per le geocelle (Rimoldi e Ricciuti, 1994) consente di definire la lunghezza di ancoraggio necessaria ed il numero di picchetti richiesti in ogni sezione della mantellata.

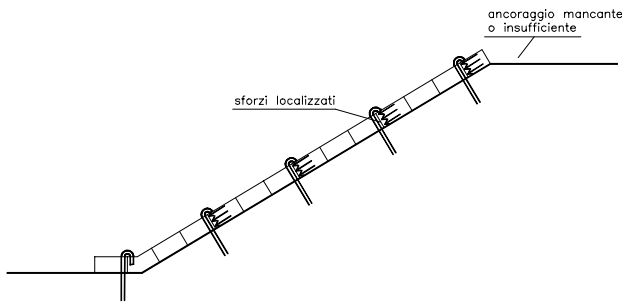


Fig. 6: Effetto della lunghezza di ancoraggio mancante o insufficiente

b) È molto importante vincolare bene con i picchetti le file inferiori di celle. Se ciò non viene fatto, la fila inferiore di celle tende a rialzarsi a "bocca di coccodrillo", come illustrato in fig. 7. L'acqua di infiltrazione, allora, erode il terreno della prima fila di celle dal basso. Le prime celle si svuotano, la seconda fila si rialza allo stesso modo, e l'erosione procede fino a incontrare il primo picchetto che blocca l'innalzamento delle celle. Per evitare questo effetto è perciò sufficiente vincolare bene la fila inferiore di

geocelle, o con picchetti o mediante interrimento in una piccola trincea al piede.

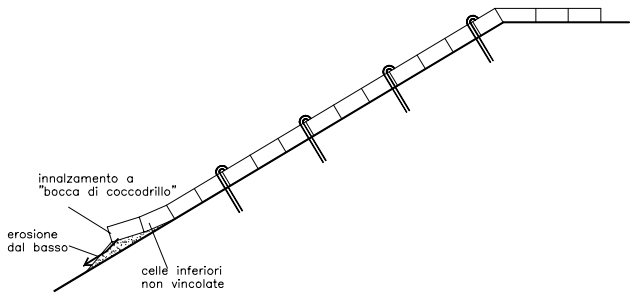


Fig. 7 - Effetto della mancanza di picchetti per le celle inferiori

Nel caso vi sia un lungo piano inclinato a monte, o una qualunque altra causa che possa produrre un notevole deflusso superficiale, l'acqua di ruscellamento tende ad erodere dall'alto le file superiori di celle (Fig. 8). In tale punto, infatti, a causa del cambio di pendenza, l'acqua accelera e si trova ad avere una intensa azione erosiva. Si possono così avere zone di erosione localizzate in sommità della mantellata di geocelle. Per evitare questo problema è sufficiente ricoprire le geocelle, in tali zone di elevato ruscellamento, con una biostuoia o, meglio ancora, con una geostuoia.

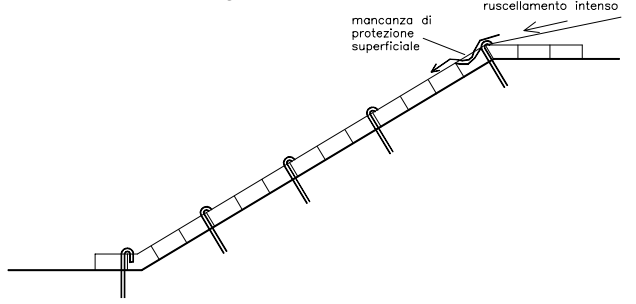


Fig. 8- Effetto del ruscellamento intenso

È anche consigliabile realizzare un fosso di guardia subito a monte della mantellata, in modo da ridurre drasticamente il ruscellamento sulle geocelle.

c) Se il numero di picchetti è insufficiente, o se i picchetti sono diversi da quelli prescritti, lo stato di sforzo sulle giunzioni vincolate può diventare eccessivo e le giunzioni stesse possono rompersi (Fig. 9). Quando una giunzione si rompe, lo sforzo viene immediatamente trasferito alle giunzioni circostanti: questo può dar luogo ad una rottura progressiva. Una zona intera di terreno viene allora a trovarsi senza confinamento e può subire erosione accelerata o addirittura scivolamenti o scoscendimenti. È perciò importante che la resistenza delle giunzioni, per il particolare sistema di fissaggio prescelto, sia accuratamente valutata con prove di laboratorio (Montanelli e Rimoldi, 1994, forniscono i dettagli del metodo di prova), ed il numero di picchetti sia calcolato per provvedere un adeguato Fattore di Sicurezza (Rimoldi e Ricciuti, 1994). È poi necessario, durante la posa, attenersi strettamente al numero e tipo di picchetti specificati.

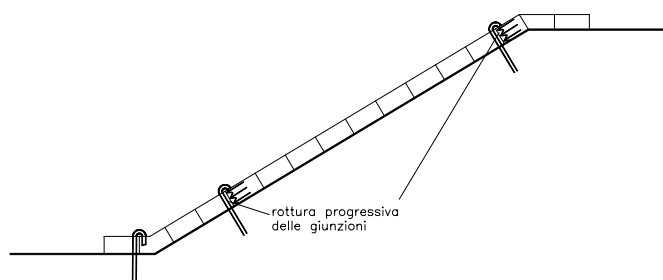


Fig. 9 - Effetto del numero di picchetti insufficiente o di picchetti inadatti

6. Conclusioni

L'impiego delle geocelle si è confermata la scelta più giusta per la soluzione del problema in oggetto, con considerevoli vantaggi:

- estrema semplicità delle operazioni di posa, effettuate da personale non specializzato;
- velocità di posa misurata mediamente in 100 ml/giorno, equivalenti a 400 m² di sponda, effettuata da una squadra di 4 uomini, di cui 2 addetti alla guida di camion e benna;
- estrema adattabilità dei pannelli delle geocelle alla geometria e alla pendenza delle sponde;
- risultati molto buoni in termini di inerbimento delle sponde e di resistenza all'erosione (Fig. 10);

Questa prima applicazione in Italia delle geocelle in un progetto a grande scala ha consentito di individuare alcune imperfezioni del metodo di posa in opera che hanno causato piccole erosioni localizzate. Tale esperienza ha consentito di definire poi il sistema di posa ottimale e ha suggerito i piccoli accorgimenti che consentono di ottenere il migliore risultato.



Fig. 10 - L'aspetto delle sponde a 6 anni dall'intervento.

7. Bibliografia

Montanelli F., Rimoldi P. (1994), "The Development of Junction Strength Test for Geosynthetics", 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Singapore.

Rimoldi P., Ricciuti A., (1994), "Design Method for Three-Dimensional Geocells on Slopes", 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Singapore.

Riassunto

Il serbatoio di Bilancino è una grande opera sul fiume Sieve (affluente dell'Arno), a monte della città di Firenze. Nel serbatoio si immettono, oltre al fiume Sieve, alcuni torrenti il cui corso è stato regimato ed incanalato nel tratto di immissione nel lago. La parte alta di tali torrenti, al di sopra del livello di invaso, doveva essere rinverdata e protetta dall'erosione meteorica e da deflusso superficiale. Tale intervento protettivo è stato effettuato mediante geocelle riempite di terreno vegetale. Un'analisi critica dei risultati, a più di cinque anni dall'installazione, consente di evidenziare alcuni problemi tipici e suggerisce semplici accorgimenti per ottenere risultati ottimali con la tecnica delle geocelle.

Summary

The Bilancino reservoir is a big project on the river Sieve, upstream to the city of Florence. Many other small rivers, beside the Sieve, have their outlet in the reservoir. Their bed has been channelized at the lake inlet. The top part of the side slopes of the rivers bed, above the normal reservoir level, needed to be vegetated and protected against rain erosion and runoff. The erosion protection has been accomplished by the use of geocells filled with topsail. A critical analysis of the results, after 5 years from installation, allows to highlight some typical installation problems and suggest simple methods for obtaining the best results with the use of geocells.