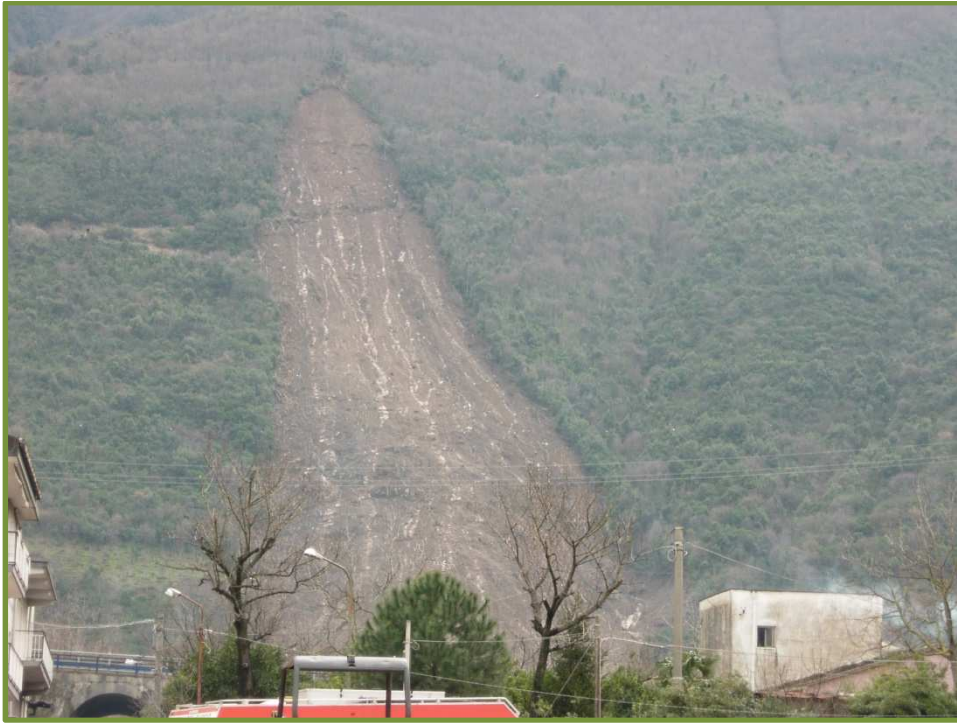


**MASTER ON-LINE
GESTIONE E SICUREZZA AMBIENTALE
INDETTO DALL'ASSOCIAZIONE CULTURALE "CONFGIOVAN"
TESINA FINALE**

- L'EROSIONE ACCELERATA DEL SUOLO -

di Angelo Bonomo



ANNO 2017

1. INTRODUZIONE

Il suolo è il risultato dell'azione combinata del clima, degli organismi, della morfologia e del tempo sulle rocce. Questi, definiti fattori della pedogenesi, spesso vengono modificati in seguito all'interferenza dell'uomo sui processi naturali.

Il suolo adempie funzioni fondamentali per la società non solo praticamente, perché soddisfa i bisogni e le necessità materiali dell'uomo ma anche astrattamente, in quanto appaga esigenze di benessere. Inoltre, il suolo produce e contiene tutti gli elementi utili per la vita: sostiene gran parte della biodiversità terrestre, è un contenitore di risorse genetiche, regola i corsi d'acqua e rifornisce le falde, filtra e purifica l'acqua che lo attraversa.

L'uso intensivo del suolo e il cattivo uso, dovuto sia all'evoluzione che l'agricoltura ha subito negli ultimi decenni per fare fronte all'incremento demografico, sia ai mutati stili di vita, hanno determinato il sorgere di diverse problematiche ambientali legati alla sua gestione.

Per secoli tutte le funzioni del suolo sono state mantenute inalterate per via di un equilibrato rapporto uomo e suolo. I problemi sono sorti con l'affermarsi dell'era industriale e si sono ampliati proporzionalmente con lo sviluppo tecnologico e con l'aumento delle necessità dell'uomo.

L'uso scorretto dei suoli nei decenni ha superato sovente la soglia della sostenibilità ambientale a tal punto da essere soggetti ad uno dei fenomeni del dissesto idrogeologico: l'erosione accelerata.

2. L'EROSIONE

Il suolo è il risultato di un equilibrio tra due processi dinamici che si contrappongono: da una parte la pedogenesi, che aumenta lo spessore del suolo, dall'altra l'erosione, che porta all'asportazione del materiale pedogenizzato.

In generale l'erosione del suolo è quel fenomeno che determina l'asportazione del materiale che lo costituisce in seguito ad azioni meccaniche e chimiche da parte dell'acqua (erosione idrica) e del vento (erosione eolica).

L'erosione, può essere distinta in:

- erosione normale: quando il processo avviene in modo naturale e a velocità differente;
- erosione accelerata: quando il processo erosivo è attivato o accelerato da eventi climatici avversi o dall'impatto dell'uomo.

Mentre nelle regioni aride e semi aride della terra l'erosione eolica può costituire un grave problema, nelle regioni temperate, come il nostro Paese, l'erosione idrica rappresenta uno dei maggiori rischi.

Nelle regioni con buona copertura vegetativa, costituita da foreste o da prati, la lenta rimozione del suolo (erosione naturale) in seguito ai processi geologici naturali, è un fenomeno inevitabile. In condizioni di stabilità naturale, la velocità dell'erosione è talmente lenta da permettere il mantenimento del suolo e quindi del substrato utile per l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione.

D'altra parte, l'erosione del suolo può essere accelerata per via di eventi naturali eccezionali (piogge intense) o dall'attività dell'uomo, fenomeni che causano una maggiore asportazione del suolo rispetto alla sua formazione. Questa situazione si verifica generalmente quando avvengono variazioni dello stato fisico del terreno e nelle variazioni delle condizioni della copertura vegetale.

L'aumento demografico e quindi il continuo crescere del fabbisogno alimentare, che ha portato nel tempo un maggiore disboscamento per la messa a coltura del terreno, così come gli incendi forestali, hanno causato la distruzione della vegetazione, fattore responsabile delle grandi variazioni nei rapporti fra le quantità d'acqua infiltrata e quella che scorre in superficie.

In assenza della vegetazione, la pioggia cade direttamente sul suolo in quanto viene a mancare, la copertura protettiva che era fornita dalle foglie e dai rami caduti, e l'intercettazione delle gocce di pioggia da parte degli steli e delle chiome degli alberi.

Un'altra caratteristica dei suoli in condizioni di stabilità è quella di avere una buona capacità di infiltrazione e quindi di riduzione del deflusso delle acque superficiali. Spesse volte tale stabilità viene compromessa sia dalle continue attività agricole che causano il compattamento del terreno per via del passaggio delle macchine agricole, sia dalla maggiore esposizione del suolo alla pioggia battente in seguito alla riduzione della vegetazione per mano dell'uomo.

2.1 IL PROCESSO DELL'EROSIONE

Il fenomeno fisico dell'erosione è suddivisa in due fasi: nella prima si ha il distacco del materiale che costituisce il suolo, nella seconda si ha il trasporto dello stesso. Questi due processi possono essere attivati sia dalla pioggia (erosione idrica) che dal vento (erosione eolica). A queste due fasi se ne aggiunge una terza, che è quella del deposito del materiale eroso.

Nelle regioni a clima umido, tipico del nostro paese, l'erosione idrica è quella più comune.

Nella prima fase, la pioggia che colpisce il terreno possiede una quantità di energia tale da poter provocare il distacco delle particelle del terreno o l'indebolimento della sua struttura, rendendolo così più esposto al distacco dalle successive piogge.

La fase di trasporto, può svilupparsi in diverse forme a seconda se gli agenti di trasporto agiscono in modo distribuito (*erosione distribuita*), provocandone di conseguenza la rimozione di uno spessore di materiale quasi uniforme su un'area estesa, o se concentrano la loro azione in "canali", cioè aree limitate in larghezza e di notevole profondità (*erosione incanalata*).

Quando gli agenti di trasporto agiscono in modo distribuito, si verificano due tipi di erosione che spesso volte coesistono:

1) *Erosione da impatto (rainsplash erosion)*, si verifica quando le gocce che cadono sul terreno, dotate di energia cinetica determinano la rottura degli aggregati superficiali con conseguente riduzione della permeabilità, inoltre, gli schizzi di materiale fangoso (effetto splash) nei terreni in pendio, determinano uno spostamento asimmetrico delle particelle terrose verso valle;

2) *Erosione laminare (owerland flow)*, si manifesta in seguito alla saturazione del terreno dall'acqua o nel corso di una pioggia intensa che supera la capacità di infiltrazione della stessa nel terreno: l'acqua fluisce in superficie in modo uniforme trascinando con se particelle di terreno, spinta ulteriormente dal materiale eroso, che esercita a sua volta un'azione abrasiva che ne esalta l'effetto.

Il passaggio dall'erosione distribuita all'erosione incanalata si verifica quando la velocità media di scorrimento superficiale supera la velocità



di attrito necessaria: sia le particelle più fine che quelle di dimensioni più grandi possono essere inglobate e trascinate dalla corrente, scavando delle incisioni nel terreno.

Quando gli agenti concentrano la loro azione su “canali” si verifica:

1) *Erosione per rigagnoli o incanalata (rill erosion)*: quando piccoli canali di acqua (rills), formati durante lo scorrimento superficiale, esportano il terreno; questo tipo di erosione è visibile soprattutto nei terreni lavorati, la quale si presenta sotto forma di incisioni poco profonde.

2) *Erosione per fossi (gully erosion)*: è dovuta ad incisioni permanenti del fenomeno erosivo insistente sui *rills* oppure può originarsi direttamente nei casi dei terreni con elevata pendenza o con ridotta copertura vegetale e soggetti a elevato afflusso meteorico. Le gole, a differenza dei corsi d’acqua “normali”, sono caratterizzate da un forte trasporto di materiale solido e sono sempre associate ad un processo di erosione accelerata.

Fig.1 Erosione per rigagnoli.



Fig.2 Erosione per fossi.

L’erosione accelerata è dovuta a diversi fattori: ad un’elevata intensità della pioggia, ad un maggior impatto delle gocce di pioggia sul suolo dovuto alla ridotta copertura vegetale, alla presenza di ripidi pendii, alla riduzione dell’infiltrazione dell’acqua dovuta alla diminuzione della permeabilità del terreno, alla mancanza di misure conservative dei suoli quali i drenaggi o inerbimenti.

Il fenomeno erosivo può essere rappresentato all’interno di un’equazione che racchiude i fattori che la determinano. L’equazione universale dell’erosione idrica sulle pendici USLE (Universal Soil Loss Equation), nella versione di Wischmeier si presenta nel modo seguente:

$$A = 2,24 R K L S C P \text{ dove:}$$

$A(t/ha)$ = è la stima dell’erosione annuale media;

$R (J/ha)$ = *fattore di aggressività della pioggia*; esprime l’incisività della pioggia sull’erosione che dipende dall’intensità della precipitazione, dalla quantità di acqua caduta e dall’energia cinetica delle gocce;

$K (t/J)$ = *fattore di erodibilità del suolo*; dipende dalle caratteristiche che influenzano la velocità di infiltrazione superficiale e la permeabilità (la quantità di acqua che scorre in superficie è inversamente proporzionale all’infiltrazione e alla permeabilità), dalla granulometria e dalla struttura (le particelle più piccole vengono trasportate più facilmente se non riunite in aggregati stabili), dalla capacità di trattenuta idrica;

LS (adimensionale) = *fattore topografico*; è uno dei fattori importanti in quanto la lunghezza del pendio (correlata ad L) e la pendenza del suolo (correlata ad S), e la sua uniformità influenzano notevolmente la massa d’acqua che fluisce in superficie, la sua velocità, l’effetto dello splash (solo la pendenza) e quindi la quantità del materiale eroso;

C (adimensionale) = *fattore di copertura vegetale*; esprime l'influenza della vegetazione (in quanto protettiva) sul fenomeno erosivo. Il suo effetto, tuttavia, cambia in relazione alle specie presenti e alla fittezza del manto vegetale.

P (adimensionale) = *fattore delle tecniche di regimazione*, è influenzato dalle scelte agronomiche messe in atto per contenere il processo dell'erosione.

Da come si evince dalla formula sopra citata, il fattore subordinato che dipende il più delle volte dalla mano dell'uomo (incendi, coltura intensiva, disboscamenti) è la copertura vegetale del terreno (C).

L'importanza della vegetazione è da ricondurre alle sue molteplici funzioni.

Prima che l'acqua piovana arrivi sul terreno l'apparato aereo dei vegetali interviene con tre meccanismi che, a seconda dei casi, assumono funzioni più o meno importanti:

- assorbono parte dell'energia cinetica delle gocce attenuandone l'azione battente;
- rallentano il flusso dell'acqua sul terreno allungando il periodo di deflusso superficiale o profondo della stessa aumentandone di conseguenza l'infiltrazione;
- trattengono parte dell'acqua che evapora o viene assorbita senza arrivare al terreno.

Una volta che l'acqua arriva sul suolo il fenomeno erosivo è contrastato ulteriormente dalle piante con tre meccanismi diversi:

- miglioramento della struttura e della permeabilità del suolo per via delle radici e della sostanza organica;
- imbrigliamento delle particelle terrose per via dell'apparato radicale;
- impedimento del ruscellamento superficiale dell'acqua.

Nel nostro Paese circa il 77% del territorio è soggetto al rischio di erosione accelerata. L'erosione è un fenomeno che va contenuto in quanto rimuove la superficie del suolo, substrato che presenta la più alta attività biologica e il maggior contenuto di sostanza organica ed elementi nutritivi, costituenti essenziali per la crescita delle piante.

Gli elementi rimossi a causa dell'erosione possono accumularsi nell'acqua ed essere trasportati nei fiumi e nei laghi favorendo l'insorgenza dei problemi di eutrofizzazione, in oltre la deposizioni del materiale eroso può ostruire i canali di drenaggio, le strade o degradare la qualità delle acque superficiali. A tal proposito è stato istituito dall'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici) *l'Atlante delle opere di sistemazione dei versanti* il quale costituisce una linea guida per arginare le varie cause del dissesto idro-geologico sul territorio nazionale, tra cui il fenomeno dell'erosione accelerata.

3. OPERE DI CONTENIMENTO DELL'EROSIONE ACCELERATA

Le opere per il controllo dell'erosione superficiale creano condizioni ambientali e di stabilità necessarie all'attecchimento e alla crescita della vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea impiantata sulle scarpate e sui pendii in terra o in situazioni particolari di rocce molto alterate. La copertura vegetale, così realizzata, consente un efficace controllo e mitigazione dei fenomeni d'erosione, proteggendo il terreno dall'azione aggressiva delle acque meteoriche e superficiali, del vento e delle escursioni termiche.

Le tecniche di costruzione ed i materiali impiegati per contenimento dell'erosione variano a seconda delle caratteristiche litologiche, pedologiche, morfologiche e climatiche della zona d'intervento.

Tra le opere per il controllo dell'erosione superficiale, trovano applicazione nell'ambito degli interventi di sistemazione, di difesa dall'erosione e dalle frane dei versanti, i seguenti interventi quali:

- 1) Rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili;
- 2) Rivestimenti antierosivi con materiali sintetici;
- 3) Inerbimenti.

1) Rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili

Tali rivestimenti, realizzati con materiali biodegradabili quali cocco, juta, fibre di paglia, trucioli di legno, presentano una biodegradabilità totale che si realizza nell'arco di tempo di 1/5 anni, inoltre sono caratterizzati da un'elevata permeabilità e capacità di ritenzione idrica che si traduce in una buona capacità protettiva della superficie del terreno.

Dal punto di vista ambientale, presentano un impatto ambientale nullo in quanto garantiscono il loro inserimento naturale grazie alla loro biodegradabilità e alla non tossicità dei materiali con cui vengono realizzati, inoltre favoriscono una rapida copertura vegetale.

Grazie alle loro caratteristiche di contenimento dell'erosione, trovano impiego in interventi di sistemazione idraulica-forestale, di consolidamento dei pendii instabili e in diverse opere di ingegneria quali: il recupero di cave o discariche; rivestimenti di pendii, scarpate naturali e artificiali e sponde fluviali.

Tra i prodotti in materiali organici biodegradabili troviamo:

- *Bioreti;*
- *Biofeltri;*
- *Biostuoie.*

Le *bioreti* sono dei rivestimenti a forma di maglie aperta realizzati con fibre di cocco naturali, juta o sisal, e presentano la caratteristica di deformarsi, di adattarsi alla superficie d'applicazione e di essere resistenti alle forze di trazione, caratteristiche che li rendono efficaci nel controllo dei processi erosivi.



Fig.3 Biorete.

Le bioreti in juta, con la caratteristica di ottenere un rapido sviluppo della copertura vegetale grazie soprattutto alla loro elevata capacità di ritenzione idrica, sono una delle tipologie più usate negli interventi di rivestimenti antierosivi delle scarpate o pendii, a differenza di quelle realizzate in fibra di cocco che presentano una minore capacità di ritenzione idrica ma una maggiore resistenza alla trazione.

I *biofeltri* sono teli formati con fili sottilissimi composti da un insieme di fibre vegetali biodegradabili (es. trucioli di legno; fibre di cocco o

di paglia) sciolte o pressate. Vengono impiegati per contenere in modo

provvisorio i fenomeni di erosione su pendii o scarpate sia naturali che artificiali trattate con la semina, a fine di facilitare il radicamento e la rapida crescita della vegetazione.



Fig.4 Biofeltri.

Le *biostuoie*, realizzate con fibre naturali biodegradabili (es. fibre di paglia, cocco, paglia e cocco, juta), presentano una struttura intrecciata a maglia che le consentono di adattarsi con semplicità sul terreno in cui vengono disposte. Sono dotate di un'ottima capacità di ritenzione idrica e di attecchimento della vegetazione grazie all'incremento della fertilità del suolo favorita dalla loro decomposizione.

A seconda del materiale utilizzato, le biostuoie trovano differenti collocazioni: le biostuoie in paglia o juta trovano impiego su pendii o scarpate di ambienti aridi, quelle in fibra di cocco vengono utilizzate negli ambienti umidi mentre quelli in fibra mista di paglia e cocco in ambienti poco umidi.



Fig.5 Biostuoie.

Nel caso di pendii o scarpate formati da materiali fini, come

per esempio le sponde del fiume, dove il fenomeno erosivo deve essere contenuto in breve tempo, le biostuoie possono essere preseminate a fine di poter ottenere un immediata copertura vegetativa.

2) Rivestimenti antierosivi con materiali sintetici

I rivestimenti antierosivi sintetici sono realizzati con prodotti sia geosintetici (costituiti dall'unione di materie derivante dalla petrolchimica e dall'industria tessile) che non. L'impiego di tali prodotti permette di realizzare opere d'ingegneria limitandone l'impatto negativo sull'ambiente.

I rivestimenti prodotti in materiale sintetico comprendono:

- *Geostuoie tridimensionali*
- *Geocompositi antierosivi*
- *Rivestimenti vegetativi*
- *Geocelle*



Fig.5 Geostuoia tridimensionale

Le *geostuoie tridimensionali* vengono principalmente

impiegate per il controllo dell'erosione superficiale su pendii e scarpate naturali o artificiali. Vengono realizzati con filamenti aggrovigliati di polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene che ne danno una struttura tridimensionale tale da creare un'elevata percentuale di spazi vuoti che permettono l'idrosemina o il contenimento di terreno per lo sviluppo della vegetazione.

I *geocompositi*, sono dati dalla composizione di prodotti geosintetici e non, come ad esempio le geostuoie rinforzate, ottenute dal legame tra una geostuoia tridimensionale ed un elemento di rinforzo. Quest'ultimo, costituito da reti metalliche, funge da contenimento delle forze di trazione che si manifestano nel geocomposito.



Fig.6 Geocomposito.

I geocompositi vengono impiegati per il controllo dell'erosione su scarpate ripide costituite da terra o roccia mediante fissaggio con chiodatura sulla superficie di contenimento.

I *rivestimenti vegetativi* sono costituiti da una biostuoia o geostuoia e una rete metallica a maglia esagonale che ha la funzione di aumentare l'aderenza tra la stuoia e la superficie da contatto. L'aumento dell'aderenza consente di contenere maggiormente il fenomeno erosivo su superfici molto ripide, quali scarpate sia in terra che in roccia.



Fig.7 Rivestimento vegetativo.

Le *geocelle* sono geosintetici con struttura a nido d'ape che vengono fissate sulla superficie mediante picchetti; i vari alveoli vengono riempiti con terreno e successivamente sottoposti ad idrosemina. Si possono trovare abbinate alla biostuoia o ad un biotessile nei casi in cui vi sia il pericolo di dilavamento da parte delle piogge.

Oltre al controllo dell'erosione, possono essere utilizzate per il contenimento delle frane su pendii o per il recupero delle cave.

3) Inerbimenti

La copertura vegetativa, che sul suolo ha la funzione di proteggerlo dall'azione erosiva delle acque meteoriche, non è sempre sviluppata soprattutto su terreni che presentano uno



Fig.8 Geocelle

strato superficiale instabile o su terreni con ridotto contenuto

di humus, per tanto si ricorre a rivestimenti vegetativi o a varie tecniche di semina . Quest'ultime si differenziano in base alle caratteristiche della zona d'intervento (morfologia, clima, litologia ecc.)

Le tecniche più comuni comprendono:

- *semina a spaglio*;
- *coperture di zolle erbose*;
- *sistema nero-verde*;
- *idrosemina*.

La *semina a spaglio*, utilizzata per rivestire scarpate e pendii, prevede la copertura del terreno con specie arboree o con un tappeto erboso. Tale tecnica consiste nella distribuzione, manuale o tramite mezzi meccanici, di sementi selezionati o di fiorume sul terreno umido. Il periodo più propizio alla semina è quello compreso tra primavera e autunno ma dipende comunque dalle condizioni climatiche del luogo.

La semina manuale è utilizzata nelle zone montane e collinari per ottenere un'efficace copertura vegetale in tempi brevi.

La *copertura di zolle erbose* viene realizzata là dove l'attecchimento della vegetazione risulta essere difficile. Tale tecnica prevede l'utilizzo di zolle erbose precedentemente prelevate per ricoprire scarpate nude.

Le zolle erbose ricavate in cantiere dovrebbero essere prelevate assieme al terreno compenetrato dalle radici e conservate opportunamente. È opportuno effettuare il trasporto delle zolle sul luogo di impiego il più rapidamente possibile per consentire una maggiore integrità delle stesse.



Fig.9 Zolle a striscia.

Si possono ridurre i costi dell'inerbimento posizionando le zolle a strisce o a scacchiera consentendo una copertura totale del pendio.

L'inerbimento con la posa di zolle è impiegato non solo per contenere l'erosione ma anche per consolidare di scarpate, pendii, fossi e canalette.

Il *sistema nero-verde* rappresenta una delle prime tecniche di semina potenziata utilizzata negli interventi di inerimento di versanti erosivi in alta quota. Tale metodo prevede la formazione di una pellicola protettiva bituminosa sopra uno strato di cellulosa o di paglia sul quale sono stati sparsi concimi e miscugli di sementi.

Il sistema nero-verde richiede uno svolgimento in più fasi:

- preparazione del terreno;
- formazione di un letto di semina con paglia o fieno;
- distribuzione a spaglio di un miscuglio di sementi;
- stabilizzazione degli strati sopra citati mediante distribuzione di un'emulsione bituminosa a fine di poter contenere l'effetto erosivo dell'acqua.

In caso di terreni con elevata pendenza, il sistema può essere ulteriormente rinforzato mediante integrazione di reti a maglia.

Questa tipologia d'intervento è molto costosa, per tale motivo viene impiegata in situazioni di elevata criticità dove si vuole ottenere un rapido inerbimento delle superfici esposte ad erosione, tipico caso delle zone di alta montagna, caratterizzate da scarsa vegetazione e da violente piogge.

L'*idroemina* è una tecnica che consiste nel distribuire sul terreno, mediante aspersione, una soluzione di base contenente acqua, semi e collate (idroemina di base).

A tale soluzione può essere aggiunto un ulteriore componente che ne migliora la resistenza meccanica e la capacità di ritenzione idrica (idroemina con mulch); detto componente può essere fibra di legno o paglia.

Questa tecnica viene adottata per inerbire vaste superfici che risultano completamente prive di copertura vegetativa, e può essere impiegata anche su terreni con pendenze elevate.

Mentre l'idroemina di base può essere impiegata su terreni aventi una pendenza non superiore a 20°, l'idroemina con mulch viene impiegata su pendenze più elevate; per quest'ultima, la quantità del mulch impiegata e la lunghezza delle fibre utilizzate è direttamente proporzionale all'aumento del grado di pendenza del terreno. L'Italia sotto l'aspetto del dissesto idrogeologico risulta essere un Paese molto fragile, di fatto ogni anno, si assiste a diversi fenomeni concentrati nel periodo delle intense precipitazioni quali erosione, frane, inondazioni.



Fig.10 Idroemina.

Spesse volte questi eventi, evitabili, sono frutto dell'azione non corretta dell'uomo, basti pensare alla deforestazione o gli incendi boschivi che hanno interessato l'Italia nell'estate del 2017 di cui la maggior parte dolosi.

Tali fenomeni indeboliscono sempre più il nostro territorio, di fatto il nostro Paese per il 77% della superficie estesa è a rischio d'erosione accelerata, è per questo che la via migliore da seguire è quella della prevenzione e della cura del territorio, mantenendo inalterati gli ecosistemi e attuando azioni ed opere di contenimento.

Angelo Bonomo (Dic.2017)