

Commissione Geotecnica

INTRODUZIONE AL FENOMENO DELL' EROSIONE SUPERFICIALE

Dr. Ing. Roberto Castaldini

Verona, 16 luglio 2009

DEFINIZIONE DI EROSIONE:

EROSIONE: è un fenomeno naturale che influenza la genesi dei suoli e la dinamica del paesaggio e consiste in un processo di distacco e trasporto di particelle solide di suolo e roccia ad opera di diversi agenti. Fenomeno difficilmente evitabile ma parzialmente controllabile.



CLASSIFICAZIONE DELL'EROSIONE:



PRINCIPALI AGENTI DELL'EROSIONE:

AGENTI EROSIVI:	TIPO DI EROSIONE:
ACQUA	IDRICA
VENTO	EOLICA
GHIACCIO	GLACIALE
NEVE	NIVALE
GRAVITA'	DI MASSA
MICRO-ORGANISMI	BIO-EROSIONE

→ dilavamento

→ deflazione

→ esarazione

L'attività antropica può accelerare gli effetti dell'erosione (scarsa gestione del territorio, deforestazione, cementificazione, scavi e movimenti terra, ecc.) o rallentare tali effetti (interventi di corretta gestione del territorio).

I SEGNALI DELL'EROSIONE:

EROSIONE EOLICA:

- nuvole di polvere
- accumuli di terreno nelle aree sottovento
- aspetto irregolare della superficie del suolo
- tafoni (rocce)

EROSIONE IDRICA:

- piccoli ruscelli e canali fino a solchi sulla superficie del suolo (calanchi)
- depositi di terreno alla base dei pendii
- sedimenti nei fiumi, nei laghi e nei punti di raccolta delle acque.
- crescita più stentata delle piante.

ALCUNI DATI SULL'EROSIONE:

L'erosione del suolo è un fenomeno che interessa il 35% della superficie delle terre emerse.

L'erosione è un fenomeno naturale che appartiene al normale ciclo di vita della terra e non è del tutto annullabile.

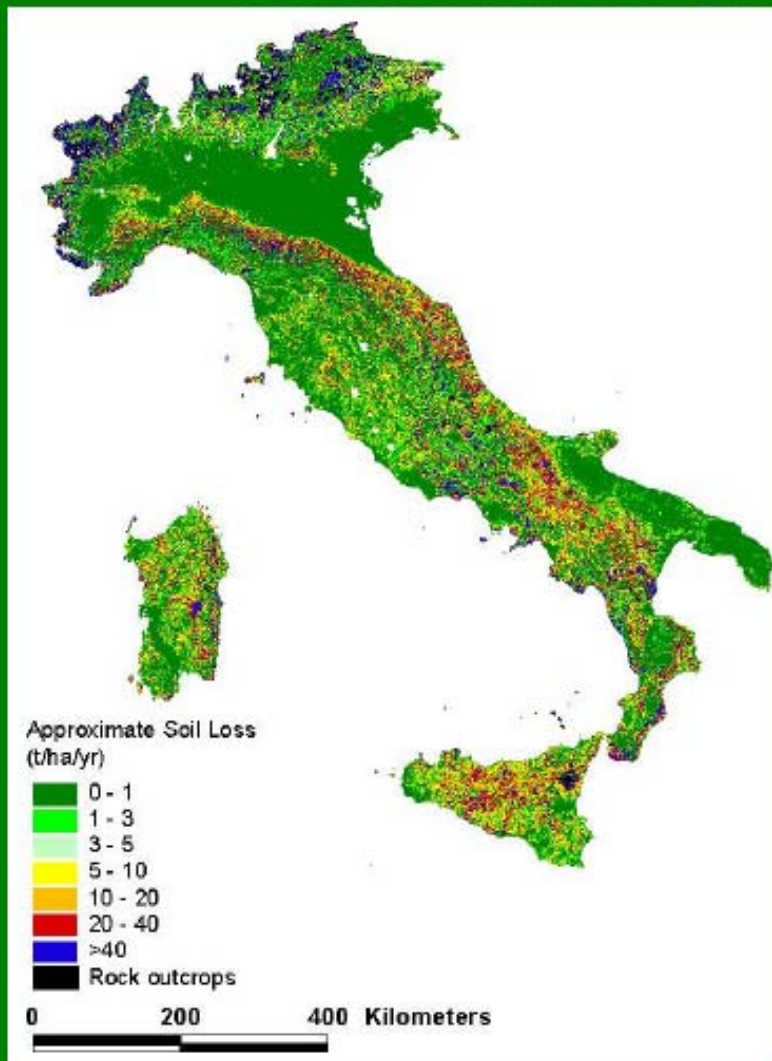
Il vero pericolo consiste nell' erosione accelerata che, quando innescata, è difficilmente contrastabile.

In Italia, circa il 77% del territorio è soggetto a rischio di erosione accelerata, anche a causa della mancanza di misure conservative del suolo e dell'aumento della capacità erosiva delle piogge, che presentano eventi estremi più intensi e più ravvicinati.

ALCUNI DATI SULL'EROSIONE:

Mappa a scala nazionale del **rischio di erosione effettiva** (Approximate Soil Loss) espressa in classi di perdita del suolo (t/ha/anno) – elaborazione 2003

(fonte: European Soil Bureau del Joint Research Centre - EC-JRC, Ispra)



ALCUNI DATI SULL'EROSIONE:

nelle regioni aride e semi-aride $\Rightarrow$ prevale erosione eolica.

nelle regioni temperate $\Rightarrow$ prevale erosione idrica superficiale e fluviale.

E' stato stimato (*Teklehaimanot, 2003*) che:

☞ l' erosione idrica interessa ca. 1,1 miliardi di ettari di suolo nel mondo.

☞ l' erosione eolica interessa ca. 0,55 miliardi di ettari di suolo nel mondo.

Il 12% della superficie europea totale è interessato dal fenomeno dell'erosione idrica, per un'estensione territoriale pari a ca. 115 milioni di ettari. In Europa il tasso medio annuo di erosione del suolo supera quello medio di formazione del suolo: 17 tonn/ha/anno di suolo eroso a fronte di 1 ton/ha/anno di suolo formato $\Rightarrow$ rischio desertificazione. (*ECAF, 1999*)

ALCUNI DATI SULL'EROSIONE:

In condizioni normali, nell'arco di un anno, la perdita di suolo fertile per erosione è pari a ca. **10 tonnellate per ettaro**, mentre la velocità di formazione di suolo fertile (= pedogenesi) è pari a ca. **2 – 3 tonnellate per ettaro** e ancora minore nelle regioni aride (*Francese et al., 2005*)

Ogni anno vengono erosi 23 miliardi di tonnellate di suolo in eccesso rispetto a quello che riesce a formarsi con processi di pedogenesi (*Brown, 1984*)

I valori della perdita di suolo annua, espressa in $t / (ha \cdot anno)$ variano fortemente in dipendenza sia dalla regione geografica sia dall'utilizzazione del suolo. Da valori minimi di $0,4 - 0,5 t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ nel Congo a valori di $1400 - 1800 t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ in Thailandia. (*Ferro, 2002*)

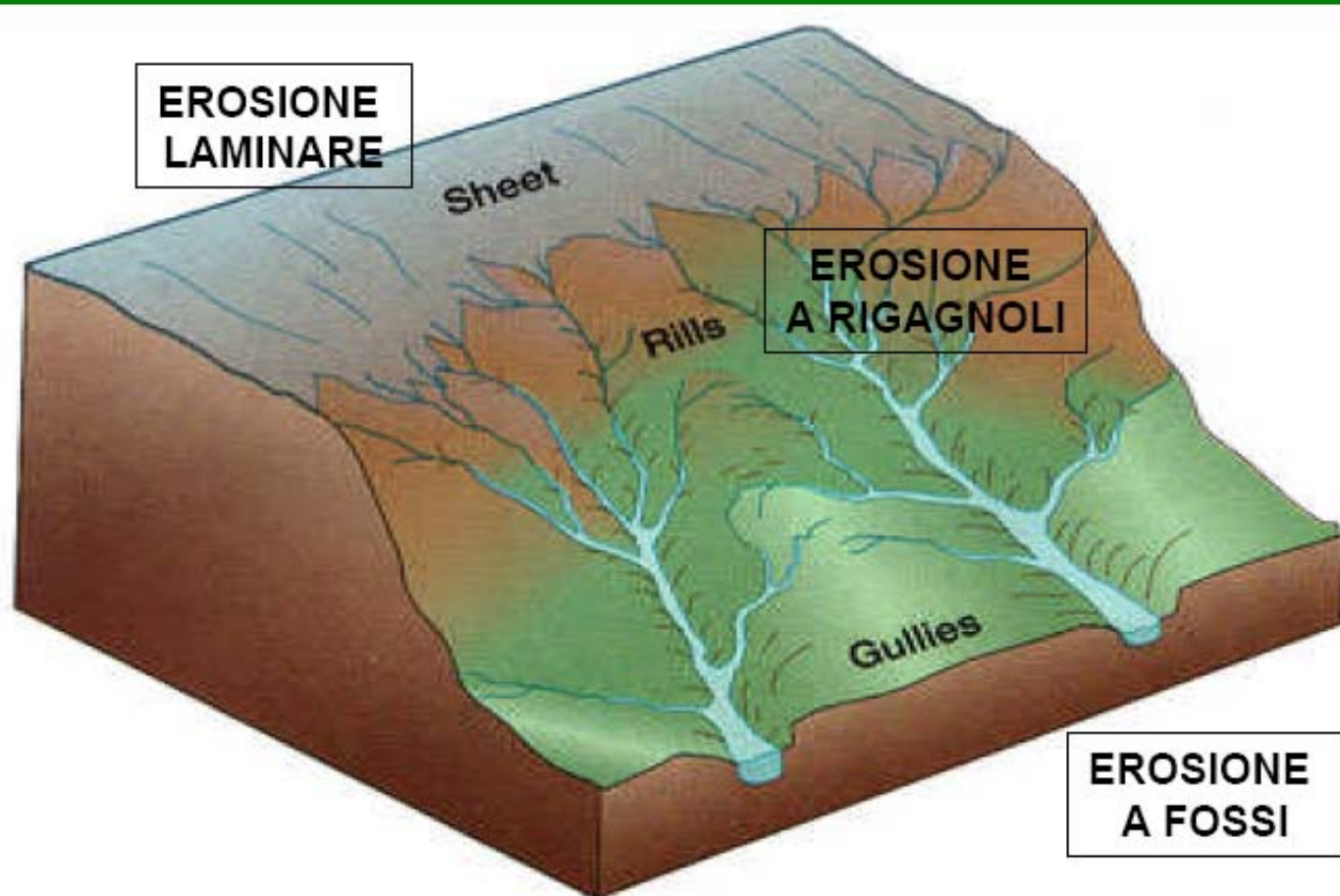
ALCUNI DATI SULL'EROSIONE:

Gli studi su 10 Paesi europei hanno portato a concludere che:

- 1) le regioni mediterranee sono soggette ad erosione per via dell'alternanza di lunghi periodi di siccità con periodi di intense piogge su versanti ripidi e suoli fragili;
- 2) l'Europa nordoccidentale è soggetta all'erosione dovuta alla topografia post-glaciale, a suoli immaturi e intensi fenomeni di piogge e disgelo;
- 3) In Europa le perdite di suolo >1 ton/ha/anno sono da considerarsi irreversibili, per via del lento tasso di formazione di suolo; sono frequenti perdite fino a 20-40 ton/ha/anno per forti eventi piovosi che si verificano ogni 2-3- anni; eventi piovosi estremi possono causare perdite di oltre 100 ton/ha/anno di suolo.

TIPI DI EROSIONE IDRICA:

Evoluzione su un versante: interrill $\Rightarrow$ rill $\Rightarrow$ gully $\Rightarrow$ channel



EVOLUZIONE DELL'EROSIONE IDRICA:

1 – DA IMPATTO: dovuto all'impatto (SPLASH) delle gocce di pioggia, ristagni (RAINDROPS) ⇒ distacco particelle

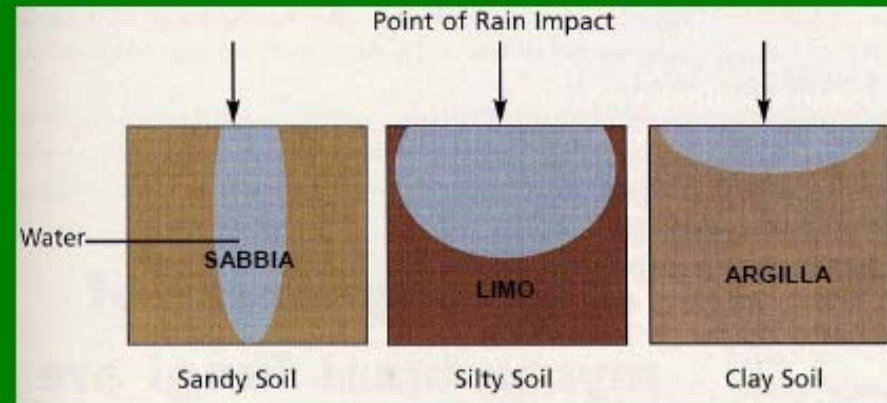
$$0,1 < D < 6 \text{ mm}$$

$$V = 9,5 \cdot [1 - e^{-6 \cdot D}] \text{ (m/s)}$$

2 – INTERRILL: suolo saturo, particelle slegate ⇒ formazione di pellicole d'acqua, contributo diffuso prevalentemente areale (overland flow)

3 – RILL: maggiore energia, solchi di ruscellamento ⇒ incisioni più profonde, rivoli, di tipo ancora areale

$$D_r = K_r \cdot (\tau - \tau_c)^a \cdot (1 - G / T_C)$$



Relazione tra impatto delle gocce e natura dei terreni



EVOLUZIONE DELL' EROSIONE IDRICA:

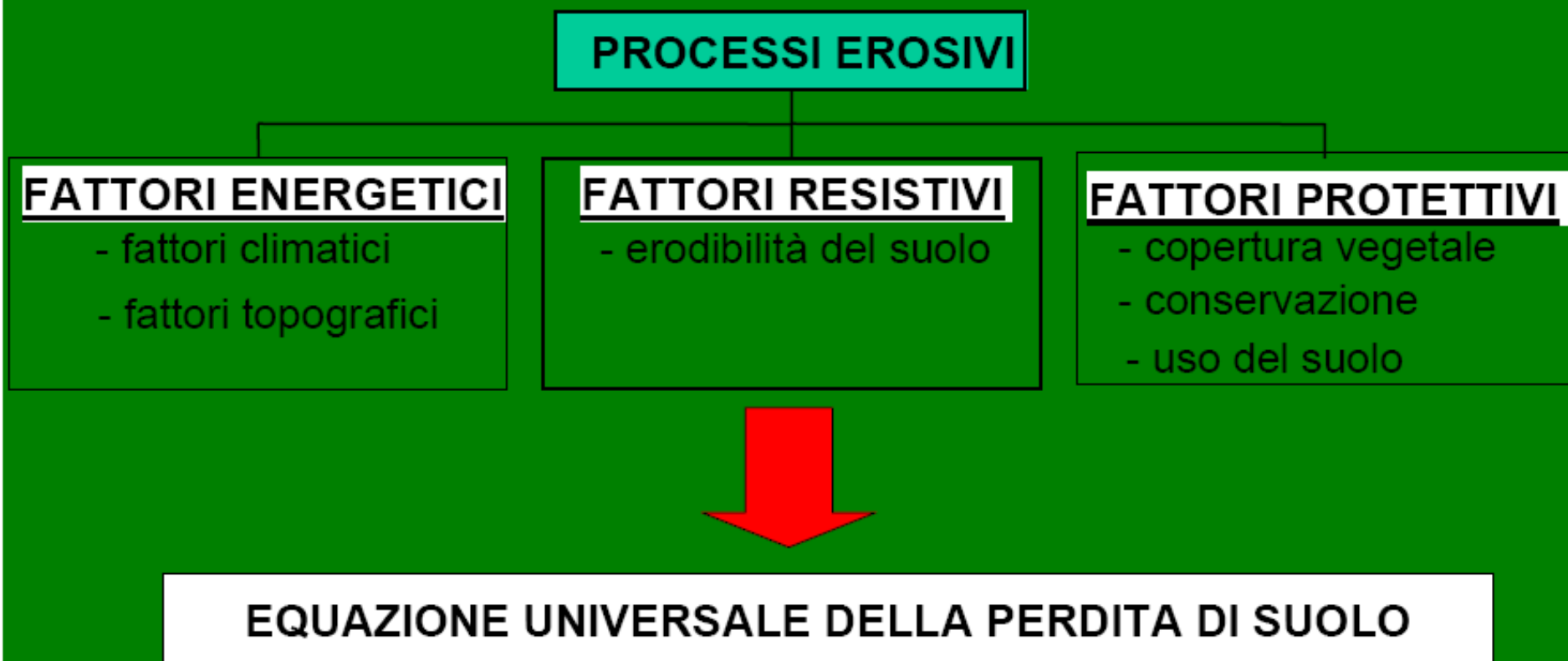
4 – GULLY: flusso concentrato, solchi di erosione ➡ formazione fossi, sviluppo lineare



5 – CHANNEL taglio al piede ➡ franamento di massa, sviluppo lineare, interessa elementi del reticolo idrografico



PRINCIPALI FATTORI CHE CONDIZIONANO L' EROSIONE IDRICA:



Fattori energetici:

Responsabili delle azioni di distacco e di trasporto delle particelle di suolo:

FATTORI CLIMATICI

PRECIPITAZIONI

- Intensità;
- Durata evento;
- Diametro gocce;
- Energia cinetica.

TEMPERATURA

- Cicli di gelo e disgelo;
- Esposizione del versante

FREQUENZA

- Tempi di ritorno eventi erosivi

FATTORI TOPOGRAFICI

ENERGIA DEL PENDIO

- Lunghezza
- Pendenza

MORFOLOGIA

- Convessità
- Concavità
- Esposizione del versante

Fattori resistivi:

Erodibilità del suolo: esprime il grado di vulnerabilità del suolo agli agenti erosivi e dipende dalla natura dei terreni

<i>ERODIBILITA' DEL SUOLO</i>	
NATURA DEL TERRENO	• Granulometria • Tessitura • Permeabilità • Saturazione del terreno • Resistenza al taglio • % humus nel terreno • Storia del deposito • Presenza sostanza organica nel suolo • Pietrosità del suolo

INTRODUZIONE AL FENOMENO DELL'EROSIONE SUPERFICIALE

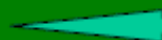
Ordine degli Ingegneri di Verona e Provincia – 16 luglio 2009 – *dr. Ing. R. Castaldini*

Fattori resistivi:

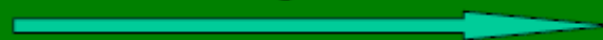
Granulometria terreni (MIT, 1931)

argilla	limo	sabbia	ghiaia
< 0,002 mm	0,002 – 0,064 mm	0,064 – 2 mm	> 2 mm

Diminuzione di permeabilità

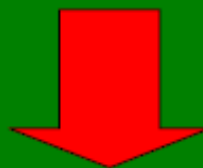


Aumento angolo attrito interno



Prevalenza frazione sabbiosa: comportamento granulare

Prevalenza frazione fine: comportamento coesivo (basta un 15-20%)



Il comportamento meccanico e l'interazione tra le particelle costituenti il terreno sono significativamente differenti:

Materiali Granulari = forze di massa

Materiali coesivi = forze di coesione

Fattori resistivi:

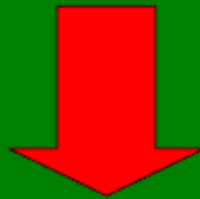
Erodibilità del suolo

- 1) In linea generale l'erodibilità del suolo aumenta con l'incremento del contenuto di limo e sabbia fine del suolo, mentre decresce con l'aumento del contenuto di argilla e materiale organico.
- 2) Terreni sciolti e granulari come le sabbie hanno la capacità di assorbire maggiori quantità d'acqua essendo molto permeabili e quindi avere in generale comportamento più stabile rispetto ai limi.
- 3) Le argille per effetto della coesione sono meno erodibili dei suoli contenenti limo, ma essendo impermeabili non hanno la capacità di assorbire grandi quantità d'acqua deformandosi velocemente dando così origine a fenomeni erosivi diffusi e incontrollati.
- 4) In particolare, secondo Wischmeier e Smith l'erodibilità di un determinato tipo di suolo dipende dalla distribuzione dimensionale delle particelle di suolo, dal contenuto di sostanza organica in % di humus, dalla struttura e dalla velocità di infiltrazione dell'acqua.

Fattori protettivi:

Influenza della vegetazione sul regime idrologico:

- ☞ La vegetazione svolge un'azione protettiva e di separazione tra suolo e atmosfera
- ☞ La vegetazione intercetta la pioggia battente con le parti aeree e sottrae umidità (acqua) attraverso le radici



- ✓ Diminuisce l'energia di impatto delle gocce di pioggia battente
- ✓ Riduce il ruscellamento per evapotraspirazione
- ✓ Diminuisce la velocità dell'acqua di ruscellamento
- ✓ Intrappola il sedimento con le proprie radici e steli

Fattori protettivi:

Influenza della vegetazione sulla resistenza meccanica:

- ☞ le radici delle piante permeano fittamente il terreno e lo legano in una massa compatta interagendo meccanicamente con esso.



- ✓ Creazione di un sistema fibro-rinforzato che lega e consolida le particelle del terreno.



Questo fenomeno ha delle conseguenze importanti:

- 1) aumento della resistenza al taglio del terreno in virtù della resistenza mobilizzata dalle radici
- 2) aumento delle forze stabilizzanti del pendio

MODELLI MATEMATICI PER LA STIMA DELLA PERDITA DI SUOLO EROSO:

MODELLI EMPIRICI ➡ USLE, **RUSLE**, MUSLE, AGNPS...(modelli parametrici USLE-based, per le applicazioni ingegneristiche sono il miglior compromesso tra applicabilità in termini di dati di ingresso necessari ed attendibilità che aumenta al crescere della scala temporale di riferimento)

MODELLI CONCETTUALI ➡ MEYER-WISHMEIER, ONSTAD-FOSTER, ANSWER, ... (analizzano i singoli sub-processi che compongono il processo di erosione)

MODELLI A BASE FISICA ➡ WEPP, PSIAC, GRAVRILOVICH SWAT, EUROSEM (basati sulle equazioni differenziali dell'idraulica, dell'idrologia dei deflussi e del suolo e della teoria del trasporto solido²¹)

Equazione Universale per il calcolo della Perdita di Suolo: (USLE)

- **Wischmeier e Smith** nel 1965 e nel 1978
- Equazione ricavata empiricamente sulla base di migliaia di dati sperimentali raccolti dal Servizio di Conservazione del Suolo (**SCS**, Soil Conservation Service) e dal Servizio di Ricerca in Agricoltura (**ARS**, Agricultural Research Service) degli Stati Uniti d'America.
- Modello più volte rivisitato ed approfondito. Un'evoluzione di tale equazione è la **RUSLE** (*Revised Universal Soil Loss Equation* - proposto da Renard et al., 1991) ed attualmente adottata dall'USDA (United States Department of Agriculture) e dal SCS (Soil Conservation Service) come strumento ufficiale per la stima e la previsione dell'erosione idrica di tipo RILL e INTERRILL.

Equazione Universale per il calcolo della Perdita di Suolo: (USLE)

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{Wischmeier e Smith, 1965, 1978})$$

A = perdita specifica di suolo media annua, espressa in t / (ha · anno)

R = fattore climatico relativo alle precipitazioni in MJ · mm/ha · h · anno (varia tra 50-600)

K = fattore pedologico esprime erodibilità del suolo in t · h/MJ · mm (varia tra 0,05 - 0,7)

LS = fattori topografici: lunghezza e pendenza scarpata, adimensionale (varia tra 1 – 40)

C = fattore relativo alla copertura vegetale (varia tra 0,003 – 1)

⇒ da 1 a 300 x

P = fattore relativo alla pratica di conservazione (varia tra 0,5-1)



Ne consegue che per ridurre gli effetti dell'erosione superficiale, occorre:

- ✓ ridurre l'energia delle scarpate $L \times S$
- ✓ sviluppare azioni finalizzate alla conservazione P (ingegneria naturalistica)
- ✓ agire sulla **COPERTURA VEGETALE** C ➡

Equazione Universale per il calcolo della Perdita di Suolo: (USLE)

Groups of land use	Crops
Permanent vegetation	Lands protected by woods Prairie Permanent pasture Grass-covered orchard Permanent grassland
Grasslands constituted by leguminous plants and graminaceous plants	Alfalfa and brome-grass Clover and Phleum pratense Meadow fescue and clover
Monophytous grasslands with legume for forage	White clover Alfalfa Red clover Yellow sweet-clover Crimson clover
Cereals	Rye Wheat Barley Oats
Legume seedling crops	Soybean Peanut Pea
Row crops	Cotton Potato Tobacco Soybean Corn
Soil with no crops at the moment	Summer fallow Period in which the soil, which is bare after the ploughing, is not yet covered with the crops already planted or which are going to be planted

Decreasing effectiveness

Fattore di copertura vegetale C:

Efficacia relativa della copertura vegetale nella protezione del suolo dall' erosione, in ordine di efficacia decrescente. (Fonte: Kohnke e Bertrand, 1959)

varia tra 0,003 – 1

C = 0,003 rocce

C = 0,006 prati pascoli

C = 1,00 terreni limosi²⁴

INGEGNERIA NATURALISTICA:

L'Ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico – naturalistica che utilizza le piante vive come materiale da costruzione, in abbinamento con materiali inerti tradizionali naturali (pietrame, legno, terra, biostuoie, ...) o di origine industriale (geostuoie, geotessili, barre d'acciaio, ...) al fine di assicurare la stabilità di aree instabili.

Tali tecniche:

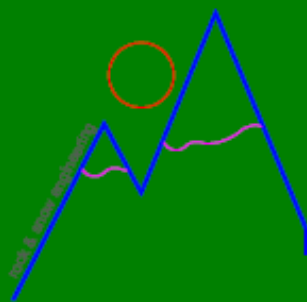
- ✓ hanno una lunga tradizione in Europa.
- ✓ possono essere efficacemente usate ad integrazione di metodi tradizionali o in sostituzione di opere di ingegneria idraulica per il controllo dell'erosione e per la protezione delle sponde di fiumi, torrenti e versanti.
- ✓ sono sistemi economici, eco-compatibili ed eco-sostenibili.

INGEGNERIA NATURALISTICA:



N.B. L'IDROSEMINA SI INSERISCE A PIENO TITOLO IN OGNUNO DEGLI INTERVENTI SOPRA MENZIONATI DA SOLA O IN MANIERA COMPLEMENTARE ALLE TECNICHE CHE NE FANNO PARTE

Grazie per l'attenzione!



**STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA
DR. ING. ROBERTO CASTALDINI**

via Mocenigo, 4 - 37138 Verona (Italia)
tel. +39(0)45 8341657 fax. +39(0)45 2071199
e-mail: info@studiocastaldini.it
web-site: www.studiocastaldini.it