

**La protezione superficiale dei suoli come  
prevenzione dalla erosione e contributo  
alla manutenzione di frane stabilizzate**

**Prof. Ing. Vincenzo PANE  
Ordinario di Geotecnica - Facoltà di Ingegneria**

**Università degli Studi di Perugia**

# Parole chiave e Riferimenti Normativi

Tema **multidisciplinare**: scienze agrarie, geologia, ingegneria geotecnica, giurisprudenza

Tre **parole chiave**: 1) erosione    2) frane    3) manutenzione

Riferimenti Normativi :

- Normativa Europea : **EN 1997 Eurocodice 7, Geotechnical design**
- Nuove **Norme Tecniche per le Costruzioni** (febbraio 2008)
- Legge Quadro 109/94 (**Legge Merloni - ter**) e relativo Regolamento Attuativo (D.PR. 554/1999)

## Osservazioni preliminari: erosione vs. frane

*Erosione e movimenti di massa dei pendii (frane) sono fenomeni distinti.*

**Erosione** è la progressiva rimozione dalla superficie del suolo di strati di terreno, attraverso il distacco ed il trasporto di **singole particelle**, ad opera di vari agenti fisici: acqua, vento, ghiaccio.

Le **frane** consistono nel movimento verso valle di **porzioni di terreno** di varia forma e con diversi cinematismi, ad opera della gravità.

I due fenomeni hanno origine da fattori che in gran parte coincidono, ma sono governati da leggi diverse.

In generale: i caratteri ambientali, geomorfologici, topografici e climatici dei siti e le caratteristiche dei terreni determinano natura e progressione dei fenomeni evolutivi della superficie del suolo.

In entrambi i casi, nel nostro clima: **ruolo fondamentale dell'acqua.**

# Ruolo dell'acqua

L'acqua meteorica che perviene al suolo si suddivide in:

- evaporazione
- infiltrazione → frane (+ erosione interna)
- ruscellamento → erosione superficiale

Il valore di ciascuna frazione varia nel tempo e nello spazio e dipende da numerosi fattori:

- temperatura e umidità dell'aria → evaporazione
- intensità e durata della precipitazione
- permeabilità del terreno → infiltrazione
- eventi meteorici precedenti → saturazione del terreno
- pendenza e lunghezza del pendio → energia
- **vegetazione**

# Erosione: ruolo dell'acqua

Nel nostro clima la **pioggia** è il principale agente dell'erosione di un pendio.

La pioggia erode il terreno con azioni diverse:

- energia cinetica delle gocce (*drop erosion*)
- trasporto superficiale di particelle del terreno
- formazione di rivoli
- formazione di solchi e fossi profondi (*gully erosion*)

# Erosione: ruolo dell'acqua

L'intensità dell'azione erosiva dipende dai fattori precedenti:

- intensità e durata delle precipitazioni
- lunghezza e inclinazione del pendio
- permeabilità del terreno
- vegetazione presente

ai quali si aggiunge:

- **erodibilità** (intrinseca) del terreno

**L'erodibilità** del terreno dipende da granulometria, materia organica, macrostruttura, cementazione. Nella granulometria incidono soprattutto le frazioni di limo (0.002 - 0.06 mm) e di sabbia (0.06 - 2.0 mm).

# Erosione: ruolo della vegetazione

Il ruolo della vegetazione nella protezione dei pendii dall'erosione è stato a lungo studiato ed è documentato da ricerche sperimentali.

La protezione dall'erosione dipende dal tipo di vegetazione (arborea o erbacea) ma in genere consiste in:

- assorbimento di una parte dell'energia cinetica delle gocce
- aumento della perdita per evaporazione
- rallentamento del ruscellamento
- ritardo nella saturazione del terreno
- contenimento, filtro e contrasto del trascinamento dei granuli
- limitazione dell'insorgere di fessure e crepe
- rinforzo del terreno con apparato radicale
- impermeabilizzazione della superficie (es: Prati Armati)

## Erosione: ruolo della vegetazione

In passato, gli effetti della vegetazione arborea sono stati più studiati di quelli dell'inerbimento.

Motivi:

- il contenimento dell'erosione prodotto dalle radici delle **erbe comuni** è limitato ad una profondità di pochi decimetri.
- questi effetti si perdono per **l'essiccamento estivo** dovuto alla scarsa profondità delle radici delle erbe comuni.

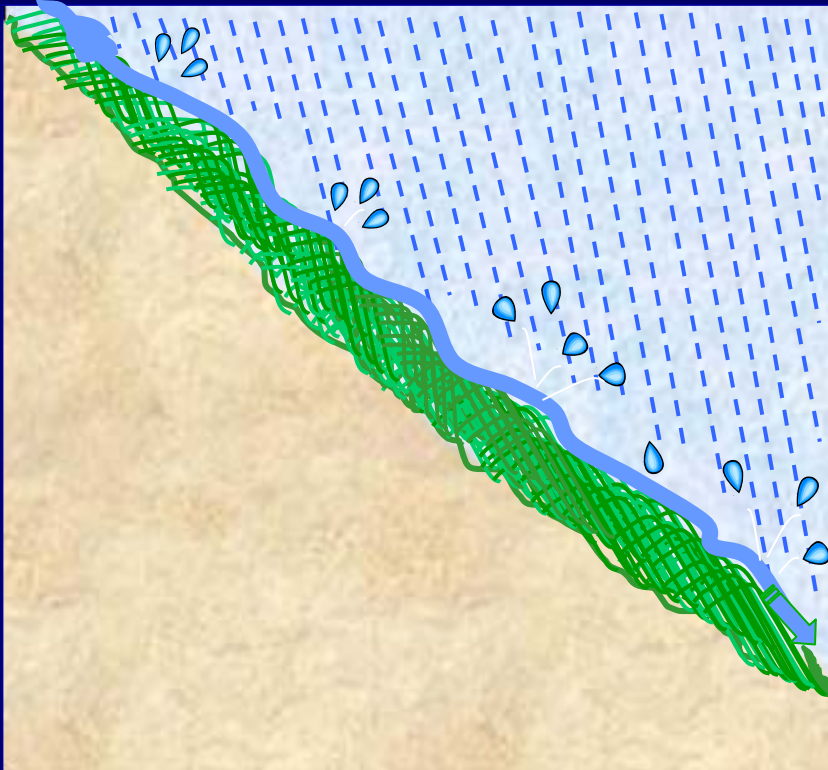
Le ricerche degli anni recenti sulle tecniche di protezione dei pendii dall'erosione mediante l'impianto di una vegetazione selezionata hanno prodotto risultati molto positivi.



# Protezione tramite: impermeabilizzazione e scorrimento superficiale

Precipitazioni intense: l'acqua ruscella al di sopra della vegetazione .....

(courtesy of PRATI ARMATI®)



*Assorbimento di parte dell'energia cinetica dell'acqua battente e ruscellamento al di sopra della coltre vegetale*

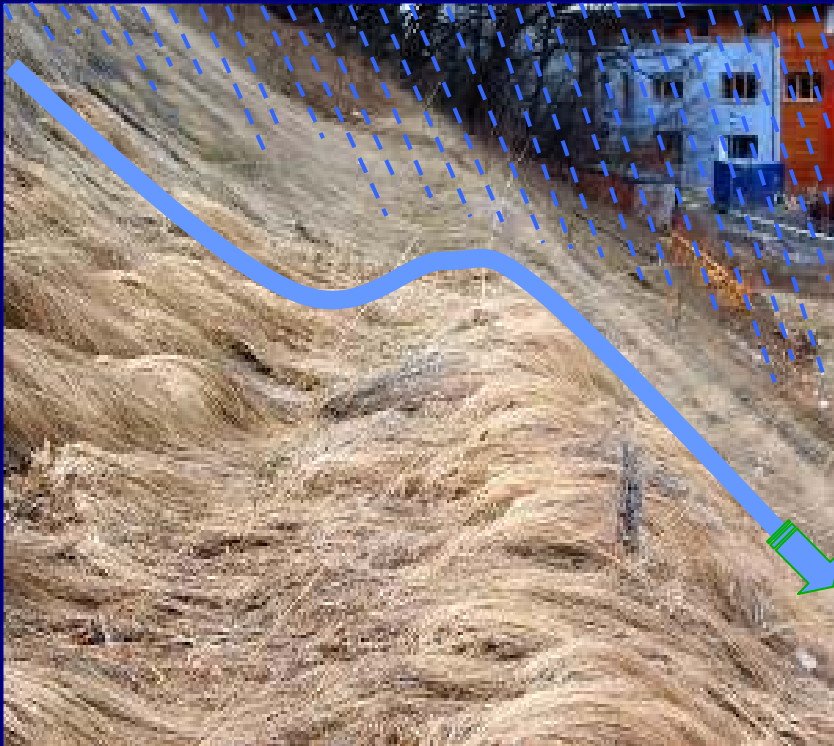


*Orvieto (TR) – Versante sigillato dalla coltre vegetale*

# Protezione tramite: impermeabilizzazione e scorrimento superficiale

..... anche quando la vegetazione è disseccata.

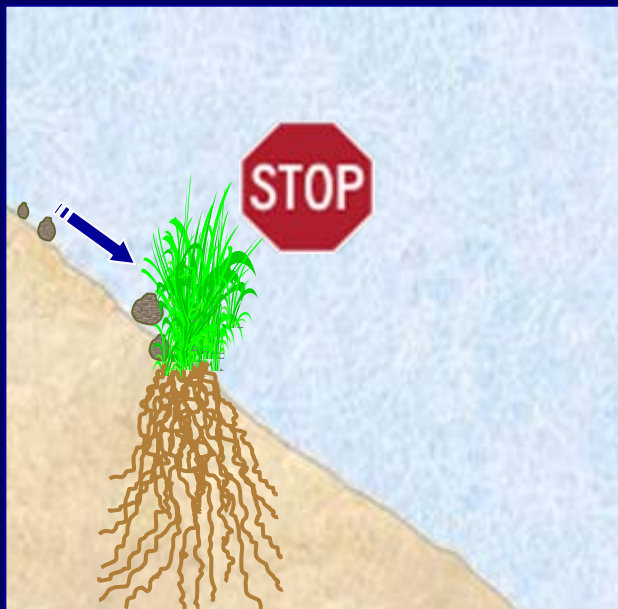
(courtesy of PRATI ARMATI®)



# Protezione tramite: limitazione di fessurazione e crepe



# Protezione tramite :                    altre azioni

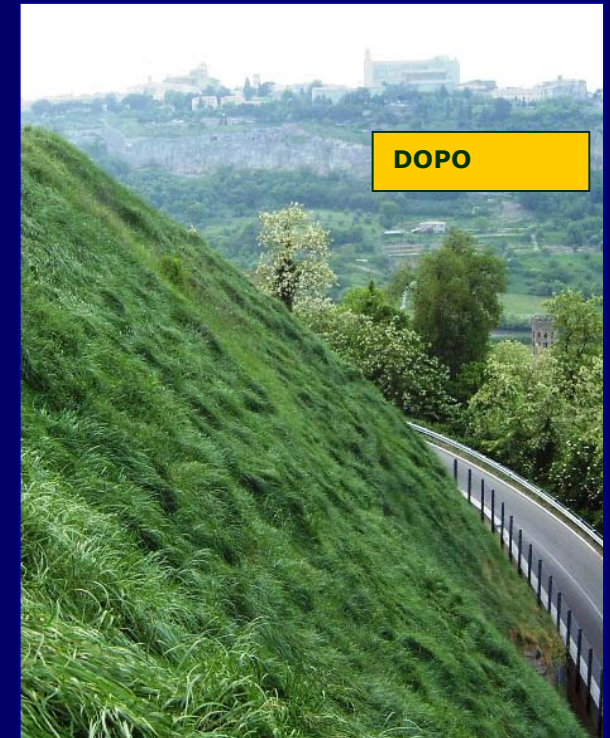


Esempio di :                    contrasto del trascinamento dei granuli,  
dissipazione energia acqua, rallentamento ruscellamento,  
aumento evaporazione.



*Impianto realizzato a Cittadella (PD)*

# Protezione tramite : rinforzo del terreno con apparato radicale



# EUROCODICE 7 : Vegetazione (cap.2: Basi della progettazione)

- AZIONI (2.4.2.(4))
  - peso proprio
  - .....
  - aumento e riduzioni di volume causati da **vegetazione**, variazioni climatiche, variazioni del contenuto d'acqua.
- VALORI DI PROGETTO DELLE AZIONI (2.4.6.1.(9))

Le seguenti caratteristiche, che possono influenzare le pressioni dell'acqua, devono essere considerate:

  - effetto favorevole o sfavorevole del drenaggio ....
  - .....
  - variazioni nelle **pressioni dell'acqua** dovute alla **crescita o alla rimozione di vegetazione**.

# EUROCODICE 7 : Vegetazione ed erosione (cap.11: Stabilità globale)

- AZIONI E SITUAZIONI DI PROGETTO (11.3.(2)P)

Occorre considerare l'effetto delle seguenti circostanze, ove appropriato :

- variazioni climatiche, incluse variazioni di temperatura .....
- .....
- **vegetazione** o la sua rimozione

- CONSIDERAZIONI PROGETTUALI E COSTRUTTIVE (11.4)

- L'instabilità può verificarsi su pendii ... la cui inclinazione, che può essere determinata dalla **erosione**, è prossima all'angolo di resistenza a taglio.
- Le superfici di pendii esposte a potenziale **erosione** devono essere **protette**, se necessario, per assicurare che è mantenuto il livello di sicurezza.
- I pendii dovrebbero essere "sigillati", **piantumati** o protetti artificialmente. Per scarpate con berme, deve essere considerato un sistema di drenaggio entro la berma.
- **Pendii potenzialmente instabili possono essere stabilizzati per mezzo di** gabbioni, ancoraggi, drenaggi, ....., **vegetazione**, o una combinazione di questi.

## Frane: meccanismo

Le frane di detrito (*debris*) e di terra (*soil*) avvengono per scorrimento lungo superfici di varia forma e con cinematismi diversi. La **superficie di scorrimento** può essere curva o approssimativamente piana, vicina al profilo del pendio o molto profonda.

Lo scorrimento avviene se e quando lungo una potenziale superficie di scorrimento lo sforzo necessario a mantenere l'equilibrio della massa sovrastante **raggiunge la resistenza del terreno**.



# Frane: ruolo della vegetazione

La vegetazione influenza l'equilibrio di un pendio e la sua suscettibilità al franamento, tramite **effetti “diretti” ed “indiretti”**.

Effetti **diretti** (su frane di **modesta profondità**):

- conferimento di resistenza attraverso gli apparati radicali

Effetti **indiretti**:

- aumento dell'evaporazione delle precipitazioni
- diminuzione dell'infiltrazione
- diminuzione del grado di saturazione del terreno
- diminuzione della **pressione “interstiziale” (dell'acqua)**

In aggiunta: ausilio a **funzionalità, efficacia, manutenzione, durabilità** degli interventi di drenaggio

# Frane: ruolo dell'acqua

La resistenza delle terre dipende solo dalla tensione efficace

*tensione totale*

$$\sigma = N/A$$

*pressione interstiziale (acqua)*

**u**

*tensione efficace*

$$\sigma' = \sigma - u$$

*resistenza al taglio*

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi' = c' + (\sigma - u) \tan \varphi'$$

*Fattore di sicurezza*

$$F = \frac{\int \tau_f dl}{\int \tau dl} = \frac{\int [c' + (\sigma - u) \tan \varphi'] dl}{\int \tau dl}$$

Questa relazione spiega la **grande influenza della pressione interstiziale** sulla stabilità dei pendii  $\longrightarrow$  **regimentazione acque superficiali, drenaggi superficiali e profondi**

# EUROCODICE 7 (EC7) : Ruolo dell'acqua

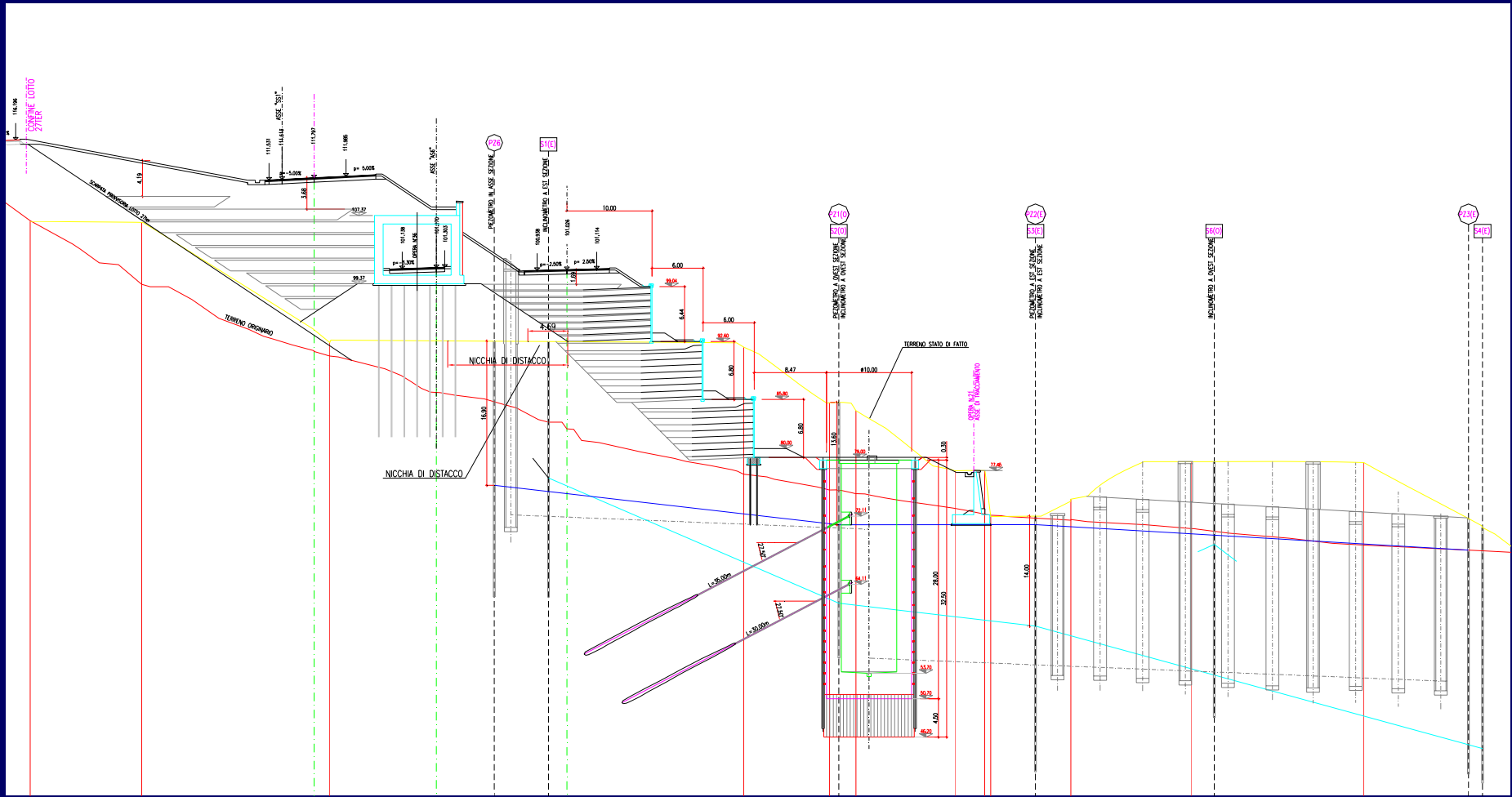
da Cap.11 : Stabilità globale

- 11.3.(3)P. .... i livelli di progetto della **superficie libera dell'acqua** ..... devono essere selezionati dai dati idrologici e dalle osservazioni in sito disponibili per fornire le **condizioni più sfavorevoli** che potrebbero verificarsi nella situazione di progetto considerata. Deve essere considerata la possibilità della **rottura** di dreni, filtri o giunti di impermeabilizzazione ....

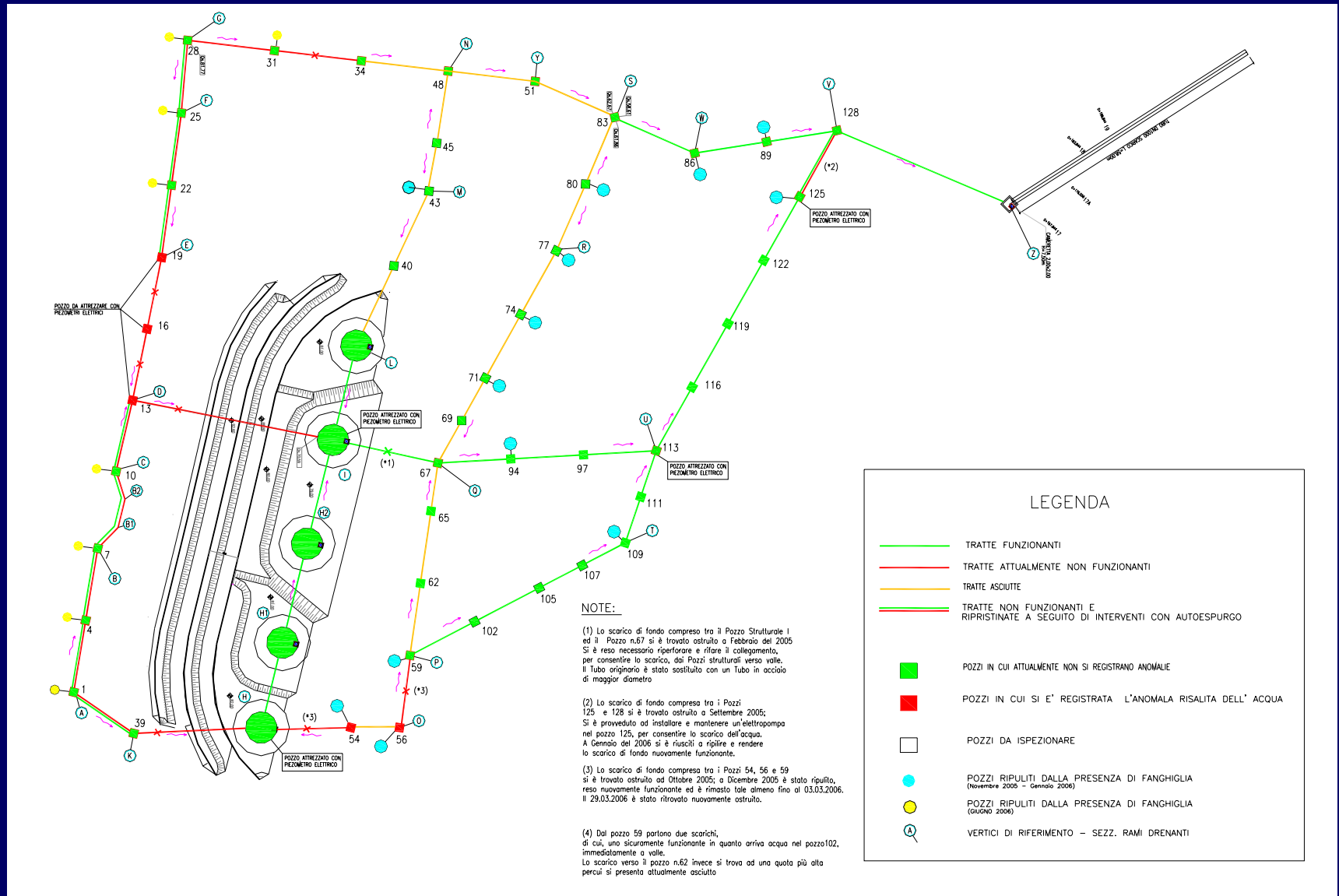
da Cap.2 : Basi della progettazione geotecnica

- 2.4.6.1.(6)P. Per stati limiti con conseguenze gravi (SLU), i valori di progetto delle **pressioni dell'acqua** devono rappresentare i **valori più sfavorevoli che potrebbero verificarsi durante la "vita"** della struttura.
- 2.4.6.1.(10). A meno che non si possa dimostrare l'adeguatezza del sistema di **drenaggio** e assicurare la sua **manutenzione**, il valore di progetto del livello dell'acqua deve essere fissato come il **massimo** livello possibile .....

# Esempio di fragilità del sistema drenante: sezione



# Esempio di fragilità del sistema drenante: planimetria



da Cap.6.3 : Stabilità dei pendii naturali

- 6.3.5. Il progetto degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la descrizione completa dell'intervento, .. le modalità costruttive ..., il piano di monitoraggio e un **significativo piano di gestione e controllo nel tempo della funzionalità e della efficacia dei provvedimenti adottati.**
- 6.3.6. Il monitoraggio di un pendio o di una frana interessa le diverse fasi che vanno dallo studio al progetto, alla realizzazione e **gestione delle opere di stabilizzazione e al controllo della loro funzionabilità e durabilità.**

# Leggi e regolamenti nazionali : Piano di manutenzione

- Attuale Legge Quadro 109/94 (**Legge Merloni-ter**): dispone la redazione, a partire dalle prime fasi progettuali, di **piani operativi per la manutenzione degli interventi**.
- **Regolamento attuativo** della Merloni-ter, D.PR. 554/1999: per i lavori pubblici, impone non solo la predisposizione progettuale ma anche la successiva **attuazione dei piani di monitoraggio e manutenzione**.
- Regione Umbria e Amministrazioni Comunali: hanno dimostrato particolare sensibilità al monitoraggio e manutenzione di opere pubbliche.  
(Es: **Osservatorio per il controllo e la manutenzione permanente del Colle di Todi e della Rupe di Orvieto**).
- Purtroppo, ad oggi, **l'attuazione dei piani di manutenzione** è spesso incompiuta, e a volte **neppure avviata**.
- Necessità di **studi sistematici** sullo stato di attuazione dei **piani di manutenzione** (a livello nazionale e regionale) **→ banca dati** per far emergere problematiche riscontrate nell'attuazione dei piani, soluzioni adottate, risorse e competenze utilizzate.

# Manutenzione : ruolo della vegetazione



*Florinas (SS) - Drenaggio in sasso, completamente intasato nella zona non protetta*



# Manutenzione : ruolo della vegetazione

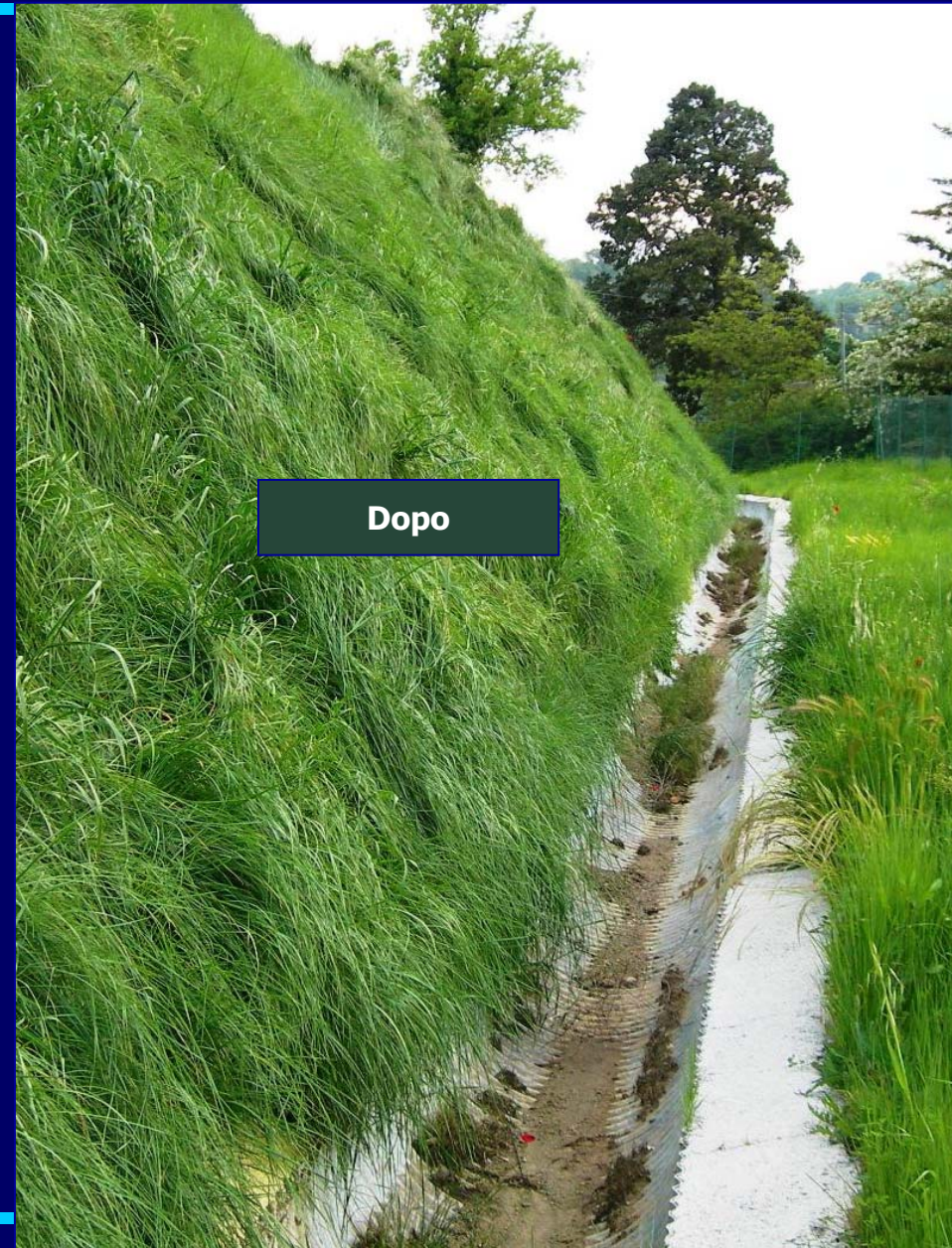


*Ancona bypass - Area non trattata*



*Ancona bypass - Area trattata*

# Manutenzione : ruolo della vegetazione



# Manutenzione : ruolo della vegetazione



# Manutenzione : ruolo della vegetazione



**Georeti + sementi tradizionali**



**Georeti + PRATI ARMATI®**



# Diagnosi e Terapia

da Eurocodice 7 (cap.11, Stabilità globale) :

“ Dato che i **metodi analitici** e numerici disponibili **non forniscono** previsioni attendibili delle deformazioni di un **pendio naturale**, per evitare il verificarsi di stati limiti di servizio (eccessivi movimenti) occorre:

- limitare la resistenza al taglio mobilitata
- **osservare i movimenti e specificare le azioni** necessarie per ridurli o fermarli, se necessario ”.

Karl Terzaghi, 1950 : “ ... se un pendio ha cominciato a muoversi, i mezzi per fermare i movimenti **devono essere adattati ai processi che hanno iniziato lo scorrimento**”

Per fenomeni erosivi, movimenti superficiali, soliflussi : **osservazione e diagnosi** sono relativamente agevoli, e

Prati Armati possono essere una valida **“terapia”**

---

GRAZIE

---