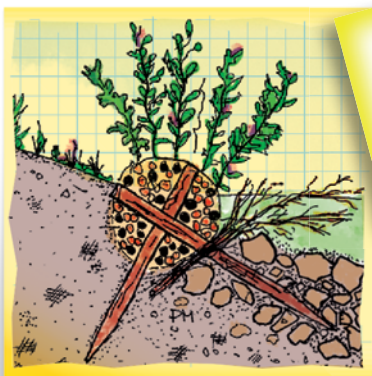


Pietro Martino

# MANUALE TECNICO DI **INGEGNERIA NATURALISTICA**

PROGETTAZIONE E VERIFICA STRUTTURALE,  
ANALISI VEGETAZIONALE E FITOSOCIOLOGICA,  
ANALISI MULTIVARIATA E CLUSTER ANALYSIS



Clicca e richiedi di essere contattato  
per **informazioni** e **promozioni**

## **SOFTWARE INCLUSO**

WEBAPP CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

FOGLI EXCEL PER LA PROGETTAZIONE E IL CALCOLO DI: PALIFICATA DOPPIA VIVA,  
RILEVATI IN TERRE RINFORZATE, PALIZZATE, MURI DI CEMENTO CELLULARE



  
**GRAFILL**

Pietro Martino

## MANUALE TECNICO DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Ed. I (09-2019)

ISBN 13 978-88-277-0056-3

EAN 9 788827 700563

Collana **Manuali** (242)

Martino, Pietro <1965->

Manuale tecnico di ingegneria naturalistica / Pietro Martino.

– Palermo : Grafill, 2019.

(Manuali ; 242)

ISBN 978-88-277-0056-3

1. Ingegneria ambientale – Manuali.

628 CDD-23

SBN PaI0317776

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

**CONTATTI  
IMMEDIATI**



**ProntoGRAFILL**  
Tel. 091 226679



**Chiamami**  
[chiamami.grafill.it](http://chiamami.grafill.it)



**Whatsapp**  
[grafill.it/whatsapp](http://grafill.it/whatsapp)



**Messenger**  
[grafill.it/messenger](http://grafill.it/messenger)



**Telegram**  
[grafill.it/telegram](http://grafill.it/telegram)

Finito di stampare nel mese di settembre 2019

presso **Tipografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2 – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**PRONTO  
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni  
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

## SOMMARIO

<b>PRESENTAZIONE</b> .....	p.	11
<b>INTRODUZIONE</b> .....	"	13
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	"	15
<b>L'INGECOLOGIA</b> .....	"	17
<b>1. L'INGEGNERIA NATURALISTICA</b> .....	"	23
<b>1.1. Definizione</b> .....	"	23
<b>1.2. Principi e finalità</b> .....	"	25
<b>1.3. Ambiti di intervento</b> .....	"	27
<b>1.3.1. Sistema fiume</b> .....	"	27
<b>1.3.1.1. Principi di idraulica in presenza di vegetazione</b> .....	"	28
<b>1.3.1.2. Portata e velocità</b> .....	"	29
<b>1.3.1.3. Resistenza al trascinamento</b> .....	"	32
<b>1.3.1.4. Forza della corrente</b> .....	"	33
<b>1.3.1.5. Trasporto di materiale</b> .....	"	34
<b>1.3.1.6. Opere di sistemazione fluviale con l'IN</b> .....	"	36
<b>1.3.2. Versanti</b> .....	"	37
<b>1.3.3. Cave</b> .....	"	37
<b>1.4. Tecniche</b> .....	"	38
<b>1.5. Materiali utilizzati e manutenzione</b> .....	"	41
<b>1.5.1. Materiali</b> .....	"	41
<b>1.5.2. Legname</b> .....	"	42
<b>1.5.3. Pietrame</b> .....	"	44
<b>1.5.4. Materiali ferrosi</b> .....	"	45
<b>1.5.5. Geosintetici e fibre</b> .....	"	45
<b>1.5.6. Attrezzature</b> .....	"	47
<b>1.5.7. Problematiche relative ai materiali utilizzati in IN</b> .....	"	52
<b>1.6. Dinamismo delle opere di IN</b> .....	"	53
<b>1.7. Concetto di frana e tipologia di frane</b> .....	"	56
<b>1.8. Concetto di erosione del suolo</b> .....	"	62
<b>1.9. Il suolo</b> .....	"	63

<b>APPENDICE AL CAPITOLO 1</b> .....	p.	67
<b>SCHEDE</b>		
<b>OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA</b> .....	"	67
<b>1. OPERE SPONDALI</b> .....	"	69
1.1. MURO DI SPONDA IN MASSI A SECCO .....	"	69
1.2. SCOGLIERA IN MASSI E MASSI E CALCESTRUZZO.....	"	73
1.3. DIFESE DI SPONDA IN GABBIONI .....	"	75
1.4. CASSE IN LEGNAME E PIETRAMI.....	"	78
1.5. COPERTURA DIFFUSA.....	"	80
1.6. GRATA CON LEGNAME E TALEE .....	"	82
1.7. FASCINATA SPONDALE .....	"	84
1.8. RIBALTA VIVA.....	"	85
1.9. SCOGLIERA RINVERDITA .....	"	86
1.10. FASCINATA SOMMERSA.....	"	88
1.11. VIMINATA VIVA SPONDALE (GRATICCIATA VIVA) .....	"	89
1.12. BRIGLIE IN LEGNAME E PIETRAMI .....	"	90
<b>2. OPERE DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI</b> .....	"	91
2.1. INTERVENTI ANTIEROSIVI.....	"	91
2.1.1. SEMINA E IDROSEMINA .....	"	91
2.1.2. UTILIZZO DI BIOSTUOIE, STUOIE E GEOCELLE.....	"	93
2.1.3. RIVESTIMENTO VEGETATIVO CON RETE METALLICA ...	"	95
2.2. INTERVENTI STABILIZZANTI .....	"	98
2.2.1. MESSA A DIMORA DI TALEE, ARBUSTI, ALBERI .....	"	98
2.2.2. COPERTURA DIFFUSA.....	"	100
2.2.3. VIMINATA VIVA .....	"	100
2.2.4. GRADONATA VIVA .....	"	102
2.2.5. CORDONATA VIVA .....	"	103
2.2.6. FASCINATA VIVA .....	"	104
2.2.7. PALIZZATA VIVA.....	"	106
2.3. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO .....	"	107
2.3.1. GRATA VIVA.....	"	107
2.3.2. PALIFICATA VIVA E PALIFICATA VIVA DOPPIA.....	"	109
2.3.3. PALIFICATA VIVA ROMA.....	"	113
2.3.4. GABBIONATA VIVA.....	"	115
2.3.5. SCOGLIERA RINVERDITA.....	"	116
2.3.6. BRIGLIA VIVA IN LEGNAME E PIETRAMI .....	"	117
2.3.7. TERRA RINFORZATA RINVERDITA.....	"	118
2.3.8. MURO IN CEMENTO CELLULARE.....	"	121
<b>2. LA COMPONENTE VIVENTE</b> .....	"	123
2.1. Scelta e ruolo delle piante nella I.N.....	"	123

2.2.	Conservazione delle piante: l'erbario .....	p.	136
2.3.	Analisi botanica per la scelta della specie da utilizzare .....	"	149
2.3.1.	Analisi floristica .....	"	149
2.3.2.	Rilievo fitosociologico di Braun Blanquet .....	"	149
2.3.3.	Indici ecologici di Ellenberg .....	"	155
2.3.4.	Forme biologiche .....	"	157
2.3.5.	Tipi corologici .....	"	157
2.4.	Elaborazione dati floristici .....	"	158
2.5.	Ecologia quantitativa .....	"	159
2.5.1.	Unità di analisi, variabili, valori .....	"	159
2.5.2.	Rappresentazione dei dati .....	"	160
2.5.3.	Trasformazione dei dati .....	"	160
2.5.4.	Analisi multivariata .....	"	160
2.5.5.	Cluster analysis .....	"	161
	2.5.5.1. Classificazione gerarchica .....	"	162
	2.5.5.2. Dendrogramma: esempio di calcolo (da E. Feoli, P. Ganis, <i>Università di Trieste</i> ) .....	"	162
	2.5.5.3. Uso dei dati della C.A. nell'I.N. ....	"	163
2.6.	Dinamica .....	"	164
3.	<b>BIOTECNICA VEGETALE</b> .....	"	169
3.1.	Stabilità del pendio .....	"	169
3.2.	Verifiche di stabilità .....	"	174
3.2.1.	Concetto di pendio indefinito .....	"	174
3.2.2.	Verifica stabilità dei versanti forestali .....	"	175
3.2.3.	Metodo delle strisce (pendii naturali) .....	"	178
3.3.	Il ruolo della vegetazione nella stabilità dei pendii .....	"	182
3.4.	Importanza delle piante sulla stabilità di un pendio .....	"	182
3.5.	Morfologia dei sistemi radicali e importanza nella I.N. ....	"	184
3.6.	Contributo meccanico delle radici alla resistenza del terreno .....	"	193
	3.6.1. Teoria del rinforzo delle terre .....	"	195
	3.6.2. Modelli teorici di rinforzo radicale del suolo e resistenza a rottura delle radici .....	"	195
	3.6.3. Dimensioni delle radici .....	"	198
	3.6.4. Root Area Ratio .....	"	200
3.7.	Il sistema Vetiver .....	"	200
4.	<b>CONCETTO DI EVOTRASPIRAZIONE</b> .....	"	202
5.	<b>ELEMENTI DI GEOTECNICA APPLICATA ALL'I.N.</b> .....	"	207
5.1.	Premessa .....	"	207
5.2.	Elementi .....	"	207
5.3.	Spinta delle terre .....	"	208

5.3.1.	Teoria di Coulomb .....	p.	212
5.3.2.	Spinta per terreni incoerenti .....	"	214
5.3.3.	Muro con sovraccarico a monte .....	"	215
<b>6.</b>	<b>APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE</b> .....	"	216
6.1.	Generalità .....	"	216
6.2.	Progettazione e fasi .....	"	217
6.3.	Criteri di scelta della tipologia di opera .....	"	220
6.4.	Criteri preparatori .....	"	222
6.5.	Riprofilatura del versante .....	"	224
6.5.1.	Riduzione uniforme della pendenza .....	"	226
6.5.2.	Appesantimento al piede .....	"	226
6.5.3.	Scarico in testa .....	"	226
6.5.4.	Gradonatura .....	"	227
6.6.	Scenari di intervento .....	"	227
6.6.1.	Strada .....	"	228
6.6.2.	Pendio .....	"	231
6.7.	Progettazione palificata doppia .....	"	236
<b>7.</b>	<b>APPLICAZIONI E CALCOLI</b> .....	"	242
7.1.	Palificata .....	"	242
7.1.1.	Dati di ingresso e formule .....	"	242
7.1.2.	Predimensionamento di un'opera di I.N. ....	"	244
7.1.3.	Verifiche .....	"	248
7.1.3.1.	Verifica speditiva D.M. 11/03/1988 (senza NTC e sismica) .....	"	250
7.1.3.2.	Verifica opere alle NTC 2018 .....	"	252
7.1.3.3.	Verifica dell'azione sismica alle NTC 2018 .....	"	264
7.2.	Terre rinforzate .....	"	272
7.2.1.	Introduzione .....	"	272
7.2.2.	Verifiche T.R. ....	"	278
7.2.2.1.	Diagrammi di Jewell .....	"	278
7.2.2.2.	Verifiche stabilità interna T.R. ....	"	282
7.3.	Palizzate .....	"	286
7.4.	Muri cellulari .....	"	293
7.5.	Esercizi .....	"	298
7.5.1.	Esercizio 1 .....	"	298
7.5.2.	Esercizio 2 .....	"	298
7.5.3.	Esercizio 3 .....	"	299
7.5.4.	Esercizio 4 .....	"	299
7.5.5.	Esercizio 5 .....	"	304
7.5.6.	Esercizio 6 .....	"	310
7.5.7.	Esercizio 7 .....	"	314
7.5.8.	Esercizio 8 .....	"	318

<b>8. VALUTAZIONE GLOBALE DEL PROGETTO DI UN'OPERA DI CONSOLIDAMENTO CON L'INGEGNERIA NATURALISTICA: IMPLEMENTAZIONE DI UN INDICE DI CONGRUITÀ .....</b>	<b>p. 323</b>
8.1. Problema .....	" 323
8.2. Modelli di schematizzazione logica e procedure.....	" 323
8.3. Descrizione e ipotesi di un modello di calcolo .....	" 324
8.3.1. Classe di input "sito" .....	" 324
8.3.2. Classe di input "florae" .....	" 326
8.3.3. Classe di input "biotecnica" .....	" 327
8.3.4. Classe di input "interventi" .....	" 328
8.3.5. Classe di input " $C_N$ " .....	" 330
8.3.6. Indice di consolidamento naturalistico .....	" 331
8.4. Conclusioni .....	" 334
 <b>9. LA SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO E I DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE .....</b>	 <b>" 335</b>
9.1. Norme generali .....	" 335
9.2. Definizioni .....	" 337
9.3. Notifica preliminare .....	" 337
9.4. Idoneità tecnico professionale del CSE e CSP (Art. 98, D.Lgs. n. 81/2008) .....	" 338
9.5. PSC – Piano di sicurezza e coordinamento (Artt. 100-101, D.Lgs. n. 81/2008).....	" 339
9.6. POS – Piano operativo di sicurezza (All. XV, D.Lgs. n. 81/2008).....	" 340
9.7. PSS – Piano di sicurezza sostitutivo (All. XV, D.Lgs. n. 81/2008).....	" 342
9.8. DPI – Dispositivi di protezione individuali .....	" 343
 <b>10. PREZZIARIO E COMPUTO METRICO .....</b>	 <b>" 346</b>
 <b>11. SOFTWARE INCLUSO</b>	
<b>(WebApp con aggiornamento automatico) .....</b>	<b>" 353</b>
11.1. Contenuti del software incluso .....	" 353
11.2. Requisiti hardware e software.....	" 353
11.3. Richiesta della password di attivazione del software .....	" 353
11.4. Utilizzo della WebApp.....	" 354
11.5. Assistenza tecnica ( <i>TicketSystem</i> ).....	" 354
 <b>12. MANUALE D'USO DEL PROGRAMMA DI CALCOLO .....</b>	 <b>" 355</b>
 <b>GLOSSARIO ESSENZIALE.....</b>	 <b>" 363</b>
 <b>BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE.....</b>	 <b>" 367</b>

## PRESENTAZIONE

Quando mi sono laureato in Scienze Naturali, l'Ingegneria Naturalistica muoveva in Italia i suoi primi passi; anche il nome, adesso ben consolidato, non era ancora quello definitivo, ma una semplice traduzione del termine originale tedesco.

Col tempo alcune Amministrazioni Pubbliche iniziarono a recepire questo nuovo metodo per la prevenzione del dissesto idrogeologico e per il contrasto dell'erosione, caratterizzato dall'uso di materiale vegetale vivo come elemento di base (unitamente ad altri materiali quale inerti non cementizi, legno, acciaio, biostuoie, ecc.).

Adesso è metodo previsto e supportato da ISPRA e richiesto in molti casi dai capitolati regionali per le opere di settore.

Ma è elemento di base l'uso delle corrette specie vegetali, scelte tra le specie autoctone, più idonee alla tipologia di intervento che si prevede di realizzare. Ed in questo il Naturalista e solo poche altre figure professionali possono dire la loro a ragion veduta.

Molti soci dell'A.I.N. (Associazione Italiana Naturalisti), l'associazione professionale dei Naturalisti, operano in questo settore. Famosissimo il past President Dr. Giuliano Sauli, al quale moltissimo si deve per l'introduzione e la diffusione dell'Ingegneria Naturalistica in Italia, tant'è che ricopre la carica di Presidente dell'A.I.P.I.N. (Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica), l'associazione trasversale che raggruppa e qualifica coloro che operano nel settore.

Questa opera di Pietro Martino non è la prima uscita sull'argomento (ricordo, per motivi personali, il «*manualone*» dal titolo «*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*», edito dalla Regione Toscana nell'ormai lontano anno 2000), ma è un'opera aggiornata, realizzata da un Naturalista che è anche laureato in Ingegneria Civile e che quindi si pone come un referente unico e qualificato per affrontare a ragion veduta le sfide che questo argomento propone.

Personalmente mi occupo di sistemi informativi per la gestione dei dati ambientali e di sistemi di monitoraggio automatico, pertanto non mi addentro nella disamina di aspetti tecnici che conosco solo per sommi capi (anche se, devo dire, laddove si volesse veramente fare una corretta gestione del territorio, integrare alcune opere di ingegneria naturalistica, come pure quelle tradizionali, con sistemi di controllo e monitoraggio non sarebbe idea assolutamente pellegrina), ma devo riconoscere che ho trovato la lettura di questo manuale interessante anche per il quasi profano.

Auspico quindi che altri leggano, si interessino, pratichino e diffondano questa tecnica apprezzandone l'efficienza, le caratteristiche di salvaguardia del paesaggio e il minimo impatto ambientale.

Maurizio Conti

Presidente AIN (Associazione Italiana Naturalisti)



## INTRODUZIONE

«*Alla natura si comanda solo ubbidendole*»

(Francis Bacon)

«*L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che studia la modalità di utilizzo come materiali da costruzione di piante viventi, parti di loro ed intere biocenosi vegetali, spesso associate a materiali non viventi come pietrame, terra, legname ed acciaio*». Questa è la definizione di Hugo Meinard Schiechtl ritenuto il padre di questa disciplina.

Per definizione l'ingegneria naturalistica è una disciplina multisettoriale che abbraccia diverse materie di studio dove nessuna di essa assume ruoli di primaria importanza. L'ingegnere naturalista è un professionista multidisciplinare con competenze in diversi campi.

Nei versanti collinari o montagnosi, per problematiche relative all'ecosistema o per l'impossibilità a raggiungere i luoghi con mezzi meccanici, è preferibile utilizzare metodiche di consolidamento che attingono a procedure tecniche-scientifiche proprie dell'ingegneria naturalistica.

Queste procedure dovrebbero privilegiare l'utilizzo di piante specifiche, erbacee, arbustive o arboree, associate a strutture meccaniche contenitive (palizzate, reti, ecc.). La ricerca naturalistica nella scelta di queste specie vegetali, unita con alla ricerca tecnica e scientifica della loro effettiva partecipazione alla stabilità e al consolidamento del versante, ha raggiunto livelli interessanti che giustificano appieno il loro utilizzo (teoria del rinforzo delle terre, modelli teorici del rinforzo radicale del suolo, modelli di studio della resistenza a trazione delle radici, ecc.).

Tuttavia, resta il dilemma della scelta nell'utilizzo di questa o quella pianta. Manca, cioè, una precisa indicazione di quale sia la specie vegetale da utilizzare in quel particolare contesto. Molti sono infatti i fattori da tenere in considerazione: scegliere piante autoctone o meno, piante con apparato radicale omorrhizico o allorrhizico, tipologia di crescita della o delle specie vegetali, dinamica della vegetazione, ecc.. E per risolvere il problema il metodo corretto sarebbe quello di ricorrere ad uno strumento matematico ovvero semplicemente algoritmico, utilizzando modelli parametrici di studio, al fine di avere una indicazione quanto più delineata possibile della specie da utilizzare.

A tale scopo, si introduce un INDICE (qui chiamato di *Indice di Consolidamento Naturalistico*) che attraverso una originale procedura di analisi informatica, tiene conto a sua volta di due particolari indici di valutazione: uno chiamato *geotecnico* e l'altro *naturalistico*. Ognuno di questi indici è ottenuto per valutazione, attraverso un particolare algoritmo, di numerosi parametri di input. Per l'*indice naturalistico* si terrà conto delle caratteristiche intrinseche della o delle specie vegetali indagate per l'impiego (resistenza a trazione, indici di Ellenberg, coefficiente di sicurezza, indice di evotraspirazione, indice del rapporto dello sviluppo ipo-epigeo, ecc.), per quello *geotecnico* si procederà allo stesso modo tenendo in considerazione le scelte operate in fase di progettazione e affini per la tipologia di intervento definita. Una volta generati questi due indici, il programma provvederà alla loro elaborazione al fine di ottenere un ***indice generale che valuti la consistenza progettuale dell'intervento da realizzare***.

Questo testo è un manuale tecnico e operativo che aiuta il professionista a procedere step by step alla progettazione e quindi alla realizzazione di opere di consolidamento utilizzando proce-

## L'INGECOLOGIA

L'ecologia è la scienza che studia i rapporti tra i viventi e il loro habitat, tuttavia questa definizione è ormai vecchia. Oggi l'ecologia è una scienza che interagisce efficacemente con altre scienze (fisica, chimica, ingegneria) al fine di migliorare l'habitat dove vivono gli animali ma soprattutto (egoisticamente) l'uomo.

Si progettano e realizzano condizionatori sempre più efficienti, che consumano sempre meno energia; si progettano e realizzano automobili che inquinano sensibilmente meno delle precedenti; si costruiscono case a bassissima dissipazione energetica; si riutilizzano rifiuti; dai reflui zootecnici si ricava digestato e si produce energia; è possibile depurare acque con impianti di fitodepurazione; con adeguate tecniche di ingegneria idraulica, i campi sono irrigati consumando poca acqua... e si potrebbe continuare fino a riempire ogni pagina di questo libro!

Uno dei primi connubi tra l'ingegneria e l'ecologia, si ebbe quando i primi montanari incominciarono ad arginare l'erosione del suolo impiegando rami morti e intrecciandoli tra loro, piantando talee arbustive, rinverdendo quella parte di pendio franato. Quando in collina e in montagna, i corsi di fiumi e ruscelli erano continuamente atenzionati, intervenendo continuamente e sostanzialmente sugli argini. Nacque l'ingegneria naturalistica. Oggi questa branca è diventata una vera e propria disciplina che studia e ricerca soluzioni ecologicamente compatibili con l'ambiente. Si ricercano metodologie nuove e innovative, ma soprattutto si ricercano i principi fisici e tecnici da applicare alle opere di sostegno o stabilizzanti o di controllo dell'erosione.

Ma l'ingegneria naturalistica non è il solo esperimento riuscito di applicazione tecnica a principi ecologici. Oggi, per esempio, le aziende zootecniche riescono facilmente a produrre energia elettrica e acqua calda dalla combustione di gas metano prodotto in camere di digestione dei reflui zootecnici. E alla fine quel digestato non viene buttato: ma lo si impiega nella fertilizzazione delle terre coltivate, con grandi e proficui risultati. L'ingegneria applicata all'agricoltura ha prodotto ottimi risultati anche nella irrigazione, con sistemi che utilizzano pochissima acqua, anche utilizzando sistemi informatizzati di controllo. E tutto questo è stato possibile grazie agli studi sulla evotraspirazione e sulla fisiologia nutritiva delle specie vegetali. Una esplosione di interessi scientifici che spazia dalla chimica, alla fisica, alla botanica e che si completa nella parte applicativa nell'ingegneria teorica e pratica.

Sta prendendo piede, e potrebbe svilupparsi veramente con grande impeto, in ambito delle piccole e medie realtà urbane, la fitodepurazione. Interi condomini e micro-unità cittadine (unità suburbane), potrebbero abbattere le spese di trattamento acque scure e chiare, con impianti di fitodepurazione che utilizzando piante riescono a purificare efficacemente le acque delle loro abitazioni che altrimenti sono convogliate nelle fogne per essere depurate. Ovviamente il mero risparmio economico sulle tasse da pagare è un pretesto: la verità è che impianti di questo tipo aumentano la compatibilità ecologica delle città e soprattutto aumentano le aree verdi considerate da sempre il polmone di filtrazione dell'aria sempre più inquinata. Ci sono impianti famigliari

## CAPITOLO 1

**L'INGEGNERIA NATURALISTICA****1.1. Definizione**

Nella regione di Universo dove abitiamo la legge dell'impermanenza delle cose, di tutte le cose che ci circondano rappresenta un vincolo matematico di imperturbabile bellezza e assoluta certezza. Non vi è cosa che non si modifichi nel tempo. Niente è immutato e immutabile, ma cambia molte volte e ancora molte volte sarà destinato a cambiare. Le montagne, per esempio, sono sorte lì dove prima non c'erano e prima o poi scompariranno per magari ricomparire di nuovo. Conosciamo, infatti, con *certezza* l'evoluzione geologica che nell'arco temporale di 4,5 miliardi di anni ha cambiato la morfologia del nostro Pianeta fino all'aspetto attuale con mari e zolle tettoniche in continuo movimento.

Fin dalla nascita dell'essere umano, il compito dell'uomo è sempre stato quello di comprendere le leggi matematiche, chimiche e fisiche che lo circondano e interpretarle in modo da ricavarne modelli da utilizzare, per esempio, per analizzare e ostacolare il lento e inesorabile cambiamento dello stato delle cose, cercando di utilizzare al meglio le conoscenze per ottenere risultati che sappiano almeno ostacolare la tragicità della seconda Legge della termodinamica.

Molta della nostra attenzione, fin da tempi remoti, l'abbiamo rivolta (non sempre nel verso giusto, purtroppo!) a ricercare metodi alternativi ed efficaci per ostacolare le frane, gli smottamenti e generalmente i disastri idrogeologici. Molti di questi fenomeni sono causati dal lento o improvviso cedimento di strati di suolo che staccandosi o scivolando dai versanti montani o collinari causano danni di consistente valore economico e ambientali, e anche in termini di vite umane. Per ovviare a queste catastrofi, fin da tempi lontani, abbiamo imparato ad utilizzare metodi che principalmente utilizzavano piante vive e/o loro derivati (rami, cespugli, ecc.) per costruire o ricomporre al meglio naturali ostacoli utilizzando cognizioni via via sempre più tecniche dei principi ingegneristici che ad essi si possono applicare.

Nacque così la branca dell'ingegneria detta naturalistica, nata dalla fusione delle conoscenze agronomiche, naturalistiche e ingegneristiche dei fenomeni interessanti lo smottamento dei versanti.

Hugo Meinard Schiechl, considerato il Padre di questa disciplina, definì l'*ingegneria naturalistica* come «una disciplina tecnico-scientifica che studia la modalità d'utilizzo come materiali da costruzione di piante viventi, parti di loro ed intere biocenosi vegetali, spesso associate a materiali non viventi come pietrame, terra, legname ed acciaio» che ad oggi, rappresenta ancora la migliore definizione di questa moderna scienza.

I principi generali dell'ingegneria naturalistica si applicano ad una pluralità di applicazioni: dalle problematiche relative ad erosione dei versanti a quelle delle frane, come anche a interventi di sistemazione idrauliche in zone montagnose piuttosto che ai consolidamenti costieri. In tutti questi interventi la priorità assoluta delle opere messe in cantiere è la rinaturalizzazione e la ricostruzione quanto più sinergica possibile con il contesto ecosistemico del posto. A differenza

degli interventi prettamente tecnici (di sola ingegneria), tutte le opere di ingegneria naturalistica non sono soggette a interazione negative con gli agenti atmosferici, al contrario, infatti, essendo l'opera composta di materiale comunque vivo, essa nel tempo instaura con l'ambiente un legame forte e duraturo, riuscendo a adeguarsi continuamente a seconda delle sollecitazioni naturali alla quale è continuamente sottoposta.

Tuttavia, le opere di ingegneria naturalistica hanno dei limiti legati all'impiego del o dei materiali utilizzati. Nelle opere di sola ingegneria (*ingegneria tecnica o geotecnica*) i materiali inerti sono subito efficaci appena messi in opera, cosa che evidentemente non può succedere e non succede con le opere di ingegneria naturalistica che hanno, in virtù appunto dei materiali utilizzati, bisogno di un lasso di tempo, breve o medio-lungo che sia, affinché siano efficaci. Questo lasso di tempo costituisce fattore importante o addirittura limitante quando, ad esempio, gli interventi devono per forza di cose avere carattere di urgenza.

Altro limite dell'ingegneria naturalistica è il complicato sistema di definizione dell'opera, perché essa dipende da numerosi fattori non sempre espressamente tecnici ma legati allo studio ambientale che non può evidentemente essere affrontato con la rigidità schematica e di calcolo propria dell'ingegneria tecnica. Si pensi, infatti, alla determinazione delle specie vegetali ivi presenti, la loro copertura, la loro fisiologia. O, ancora, ai fattori pedoclimatici, di temperatura o di carattere squisitamente geologico. Ecco, l'ingegneria naturalistica è l'insieme di tutti questi fattori che devono trovare la giusta interpretazione matematica al fine di poterne trarre giusto uso e impiego secondo una parametrizzazione tecnica comunque richiesta dalle normative vigenti.

Di seguito si riportano le normative vigenti a livello nazionale e riguardanti opere realizzate con l'ingegneria naturalistica.

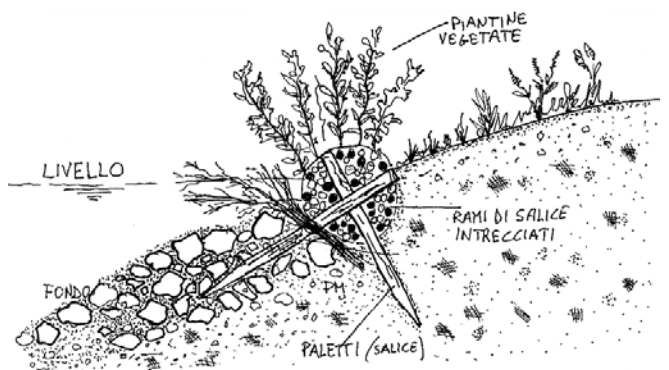
L. 25/07/1904, n. 523	Testo unico sulle opere idrauliche
D.M. 20/08/1912	Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti di lavori di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani
L. 18/05/1989, n. 183	Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
L. 2/05/1990, n. 102	Disposizioni per la ricostruzione e la rinascita della Valtellina
D.P.C.M. 23/03/1990	Atto di indirizzo e coordinamento ai fini della elaborazione e della adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
D.P.R. 14/04/1993	Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale
L. 8/10/1997, n. 344	Disposizioni per lo sviluppo e la qualificazione degli interventi e dell'occupazione in campo ambientale
L. 2/10/1997 n. 345	Finanziamenti per opere e interventi di viabilità, infrastrutture, di difesa del suolo, nonché per la salvaguardia di Venezia
L. 3/08/1998, n. 267 (conversione con modifiche del D.L. 11/06/1998, n. 180)	Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania

[segue]

APPENDICE AL CAPITOLO 1

**SCHEDE**

**OPERE DI INGEGNERIA  
NATURALISTICA**



## 1. OPERE SPONDALI

Su qualunque corso d'acqua, fiumi o torrenti, si possono realizzare difese di sponda che vengono classificate come opere spondali. Vengono a tal proposito impiegate diverse tipologie costruttive che assicurano gradi differenti di protezione contro l'erosione.

Le opere spondali si distinguono in:

- **MURI DI SPONDA:** sono costruzioni di difesa che si impiegano lungo tratti fluviali che attraversano centri abitati o per difesa di tratti in prossimità di un ponte.
- **CONSOLIDAMENTI E RIVESTIMENTI PER PROTEZIONE DA EROSIONI:** si realizzano per tale scopo scogliere di protezione e di rivestimento in pietrame e misto pietrame e verde. Per evitare lo scalzamento, frequente in questa tipologia di opere, si realizza una solida base con materiale roccioso molto grosso. Molto utilizzati sono anche i gabbioni o materassi costituiti da rete metalliche riempite di ciottolame grosso, ma si utilizzano anche impianti di essenze vegetali (inerbimenti o piantagione di piante arboree o arbustive).

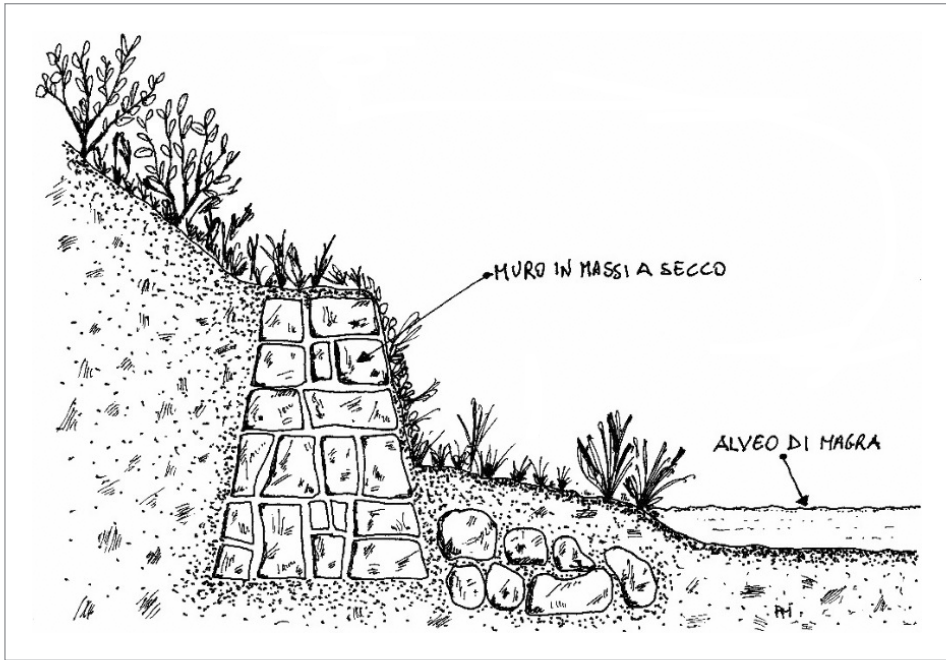
### 1.1. MURO DI SPONDA IN MASSI A SECCO

Purtroppo, il notevole impiego di manodopera limita oggi fortemente questa tipologia di opere e anche perché è fortemente limitata rispetto alla resistenza offerta dai muri in calcestruzzo. L'opera, realizzata in pietrame non supera generalmente l'altezza di 1.5 m e come tutti i muri è dimensionata come opera a gravità.

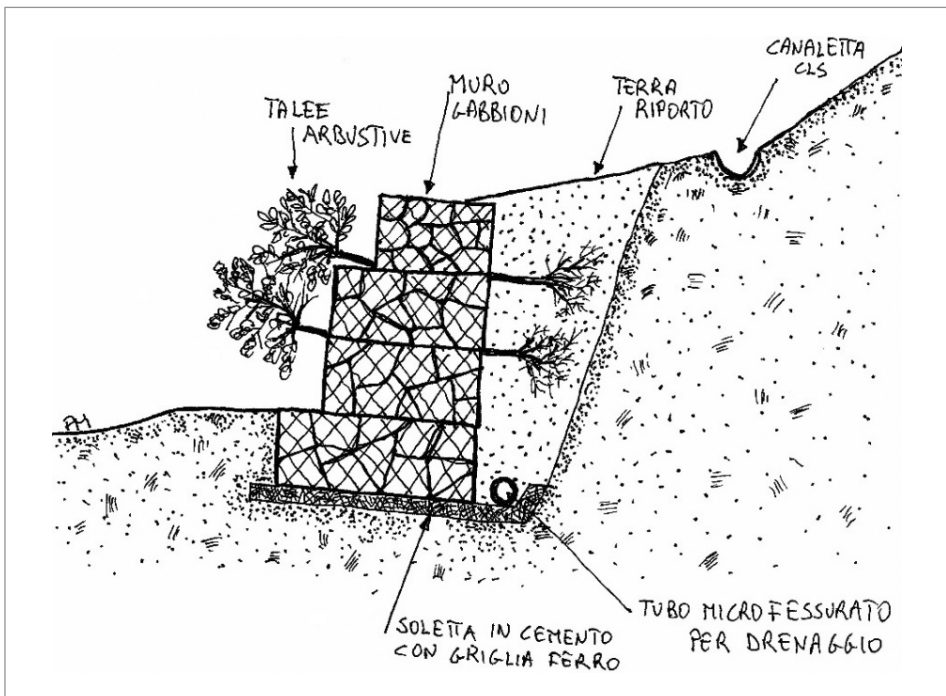
Il muro è rivestito da vegetazione che viene sistemata alla base dello stesso e per crescita verticale riveste l'intera facciata dello stesso. Generalmente si utilizzano specie rampicanti che emettono radici che possono infiltrarsi tra le pietre e riuscire col tempo a stabilizzarsi fortemente al muro.

A volte si inseriscono talee radicate che attraversano il muro in modo tale che le radici vengono poste dietro di esso a contatto con il terreno riportata e la parte foliare che sporge dal muro. Ovviamente la sistemazione di queste piante deve avvenire contestualmente alla realizzazione del muro. Tuttavia, la pratica non è molto vincente da un punto di vista naturalistico poiché molti sono i fattori che devono essere tenuti da conto, primo tra tutti il fatto che queste talee crescendo accrescono anche il diametro dei fusti e quindi potrebbero esercitare pressioni destabilizzando l'opera stessa. Questo particolare costruttivo si realizza molto bene, invece, con muri a secco ma realizzati con gabbioni di pietrame dove tra una scatola e l'altra si creano appositi spazi opportunamente dimensionati dove far passare il fusto della talea.

Nella realizzazione dell'opera mostrata in TAV. 1.1-A al fronte del muro è stata abbarbicata una rampicante, mentre a difesa dello zoccolo del muro sono state posti dei grossi massi (unghia) ricoperti di terreno sul quale possono crescere specie autoctone spontaneamente o appositamente collocate per semina o impianto. Questa prima parte, confinante con il livello di magra del corso d'acqua, verrà eventualmente coperta dalla piena.



TAV. 1.1-A



TAV. 1.1-B

## 2. OPERE DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

### 2.1. INTERVENTI ANTIEROSIVI

Le tecniche di ingegneria naturalistica per il controllo dell'erosione superficiale vengono utilizzate per creare condizioni ambientali e di stabilità che permettano la crescita della vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea. Si consegue in questo modo l'importante obiettivo di controllo e mitigazione dei fenomeni di erosione dovuti principalmente all'azione aggressiva delle acque meteoriche, del vento e anche dalle escursioni di temperatura del terreno che essendo denudato non possiede capacità termo regolatrice.

#### 2.1.1. SEMINA E IDROSEMINA

La semina a spaglio è una tecnica di inerbimento di superfici di scarpate o sponde soggette ad erosione con inclinazione non superiore a 30°. La tecnica consiste nella semina manuale di un miscuglio di sementi di specie selezionate alcune volte insieme a fertilizzanti (concimi organici e o concimi inorganici), in quantità variabile da 30 a 60 g/m<sup>2</sup> e con qualità e germinabilità certificati. I semi selezionati sono di specie vegetali capaci di produrre rapidamente il rivestimento vegetale protettivo. Alcune specie producono un reticolo superficiale di rizomi che col tempo formeranno un sistema intrecciato capace di aumentare la coesione del terreno. Altre specie, invece, produrranno una fitta radicazione con apparati radicali capaci di spingersi a qualche metro di profondità.

La semina è generalmente abbinata a strutture ausiliarie che fondamentalmente hanno il compito di fissare il seme al terreno. Essa è praticata a spaglio o tramite idrosemina.

La semina a spaglio è praticata manualmente e il periodo della semina dipende dalle condizioni del terreno e climatiche del luogo, anche se normalmente il periodo più idoneo è quello tra la primavera e l'inizio dell'autunno. L'idrosemina è invece una tecnica di semina condotta con particolari mezzi meccanici. L'idrosemnatrice è costituita da un serbatoio, una pompa e da un distributore girevole a forma di cannoncino. Tramite quest'apparecchiatura è possibile procedere all'aspersione del miscuglio costituito da una miscela di acqua, sementi, concimi e collanti.

Varianti dell'idrosemina di base sono: l'idrosemina con mulch, a fibre legate e a spessore. L'idrosemina con mulch è particolarmente adatta su terreni con inclinazione fino a 35°. Si aggiungono fibre di legno o paglia fino a 180 g/m<sup>2</sup> con fibre di lunghezza almeno 5-10 cm. L'idrosemina a fibre legate è un miscuglio con una quantità di fibre di legno di almeno 350 g su mq e fibre lunghe almeno 10 cm. Il collante presente in questa variante di idrosemina dovrà avere caratteristiche spiccatamente leganti capace di creare una forte coesione tra le fibre. È adatta all'inerbimento di terreni fortemente erodibili con inclinazione del pendio fino a 60° con terreni a struttura fine e molto poveri di materia organica. Nell'idrosemina a spessore il miscuglio di fibre di legno è anche superiore a 250 g/m<sup>2</sup>. Questa variante di idrosemina prevede due passate:



la prima spruzzando il miscuglio appena detto, si lascia asciugare il manto e successivamente si procede con la seconda passata la cui miscela è costituita solo da fibre di legno e collante.

La tecnica dell'inerbimento fa parte delle opere superficiali il cui scopo è quello antierosivo e quindi non adatta alla prevenzione di fenomeni franosi o su terreni che manifestano profonde instabilità o ancora su terreni soggetti a distacco della superficie.

La figura 2.1.1-1 mostra la semplice attrezzatura per operare la semina attraverso la tecnica dell'idrosemina.



**Figura 2.1-1.** *Idrosemina con trattrice (da ingiardinoweb.it, per gentile concessione)*

Mentre le figure successive mostrano casi molto più particolari di idrosemina operata con motrici di grossa portata e addirittura con eliosemina.



**Figura 2.1-2.** *Idrosemina su pendio (Pratiarmati®)*

Pratiarmati, azienda specializzata contro la desertificazione e l'erosione dei suoli, utilizza per la semina anche mezzi aerei, come elicotteri opportunamente equipaggiati, per irrorare la miscela di semi direttamente dall'alto su pendii difficilmente raggiungibili da irroratrici terrestri.

## CAPITOLO 2

## LA COMPONENTE VIVENTE

## 2.1. Scelta e ruolo delle piante nella I.N.

L'ingegneria naturalistica utilizza come materiale di costruzione piante che presentano in via elettiva una elevata affinità con l'ecosistema del luogo di intervento. Ma non tutte le piante sono giuste allo stesso modo, ovviamente. La scelta si basa considerando molteplici criteri. Ad esempio: caratteristiche edafiche del sito di intervento e le proprietà biotecniche delle piante come lo sviluppo radicale, la loro capacità di propagazione, la loro reperibilità sul mercato, la loro velocità di accrescimento. Già da queste poche indicazioni è facile capire che l'intervento di ingegneria naturalistica non è un mero intervento di natura tecnica, ma si avvale di argomenti che per loro definizione proprio tecnici non sono. Molto probabilmente ciò che rende interessante questa branca dell'ingegneria è questo aspetto tecnico (nel senso matematico e fisico) di base ma con una correlazione affatto tecnica ma sempre scientificamente definita in altre branche di studio.

La scelta della pianta è importante! Oltre a quello già detto. La scelta della specie vegetale o delle specie deve garantire la conservazione della biodiversità: non si deve introdurre una specie che alteri o addirittura minacci l'equilibrio o la stessa sopravvivenza delle specie animali e vegetali ivi presenti. Questa valutazione approfondita della scelta del materiale vegetale da utilizzare deve essere coerente con la tipologia specie-specifica esistente e ovviamente, come conseguenza, con il suo biodinamismo.

La tabella 2.1 indica la preferibilità/liceità dei materiali vivi o non vivi impiegati nelle tecniche di ingegneria naturalistica e redatta dall'AIPIN (Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica – [www.aipin.it](http://www.aipin.it)) nel 2002.

**Tabella 2.1.** Procedura di impiego di piante e materiali nei diversi ambiti di impiego

Ambiti d'impiego		PIANTE			MATERIALI UTILIZZABILI			
		Naturalità crescente			Naturalità crescente			
		Piante autoctone	Piante esotiche naturalizzate	Piante esotiche di recente introduzione	Materiali naturali	Materiali biodegr.	Materiali artificiali	
Naturalità crescente	1	Aree protette	xxx	–	–	xx	xx	– (1)
	2	Aree naturali	xxx	–	–	xx	xx	x
	3	Aree agricole	xx	x	–	xx	xx	x
	4	Parchi e giardini	xx	x	x	x	x	x
	5	Aree urbane	xx	x	x	x	x	x
	6	Aree industriali	xx	x	x	x	x	x
xxx = impiego esclusivo; xx = possibilità di impiego preferenziale; x = impiego indifferente in funzione delle scelte progettuali; – = incompatibilità assoluta. (1) Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti. N.B. Nelle categorie materiali biodegradabili, naturali o artificiali si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti								

Nei diversi ambiti di impiego, crescenti dal basso verso l'alto, è indicata la scelta del materiale e della pianta da utilizzare. Ad esempio: in un'area naturale si deve impiegare preferibilmente una pianta autoctona privilegiando materiali naturali e biodegradabili. È apprezzabile lo sforzo compiuto da AIPIN nello schematizzare la procedura di intervento in un'opera di I.N. che attraverso semplici incroci di dati di input, cerchi di restituire una valida indicazione sulla metodica costruttiva e della scelta delle piante da utilizzare allo scopo.

Il decreto della Giunta della regione Campania n. 3417 del 12 luglio 2002 suggerisce un elenco della specie da utilizzare a secondo della fascia o aggruppamento vegetale di pertinenza, distinte per specie arboree, suffruticose ed arbustive (cfr: tabella 2.2). Lo scrivente tiene a precisare che l'elenco della tabella 2.2 non è esaustiva per tutte le regioni d'Italia. Soprattutto perché l'elenco non tiene conto della indagine floristica necessaria e basilare richiesta dall'ingegneria naturalistica. La tabella, in effetti, dice al progettista che deve utilizzare quanto più possibile piante autoctone e scegliere con prevalenza materiali naturali e successivamente riporta questa scelta indirizzando il progettista ad una serie di piante da utilizzare ma senza individuarne la correlazione opera-specie con un criterio definito.

**Tabella 2.2.** Specie vegetali per interventi di ingegneria naturalistica (DdGR n. 3417/2002)

SPECIE ERBACEE		1	2	3	4	5	NOTE
Legenda delle colonne da 1 a 5: 1. Fascia mediterranea (0-500 m s.l.m.); 2. Fascia sannitica (500-1000 m s.l.m.); 3. Fascia atlantica (1000-1800 m s.l.m.); 4. Fascia mediterraneo-altomontana (> 1800 m s.l.m.); 5. Vegetazione dei fiumi, dei laghi e del litorale marino.							
<b>Graminacee</b>							
Aegilops eniculata	Cerere comune	x	x				Pascoli aridi, radure, ruderi
Agropyron repens	Gramigna comune	x	x	x	x		Incolti, campi, prati aridi
Agrostis stolonifera	Cappellini comuni	x	x	x	x	x	Generalmente popolamenti pionieri sui bordi di pozze ed acquitrini, sonde, alvei, incolti umidi
Alopecurus pratensis	Coda di topo comune	x	x	x	x	x	Prati umidi
Ammophila littoralis	Sarto unente	x				x	Dune marittime, spiagge
Ampelodesmos mauritanicus	Tagliamani	x	x	x			Pendii argillosi generalmente lambiti da correnti d'aria umida
Anthoxanthum odoratum	Paleo odoroso	x	x	x			Prati e boschi di latifoglie
Arrhenatherum elatius	vena altissima	x	x	x			Prati, siepi, cespugli
Avena barbata	vena barbata	x	x	x			Prati, incolti, siepi
Avena fatua	Avena selvatica	x	x	x			Prati, campi di cereali, siepi
Avena sativa	Avena ma fiore	x	x	x			Prati, campi di cereali, siepi
Avena sterilis	vena comune	x	x	x			Campi, incolti, stazioni ruderali
Brachypodium distachyon	Paleo annuale	x	x	x	x		Incolti aridi, pratelli trale macchie, pascoli
Brachypodium pinnatum	Paleo comune	x	x	x	x		Prati aridi, boscaglie, scarpate
Brachypodium ramosum	Paleo delle ari he	x					Garighe, macchie degradate
Brachypodium rupestre	Paleo rupestre	x	x	x	x		Pascoli (substepaici) mesobrometi, bordi boschivi
Brachypodium selvaticum	Paleo silvestre	x	x	x			Boschi di latifoglie
Bromus erectus	Forasacco	x	x	x	x		Prati aridi

[segue]

## BIOTECNICA VEGETALE

### 3.1. Stabilità del pendio

Alcuni versanti o per incremento dello stato tensionale o per diminuzione della resistenza diventano instabili e collassano provocando frane. Queste cause sono dovute sinteticamente a:

- Per quanto riguarda l'incremento dello stato tensionale:
  - carichi esterni quali manufatti, acqua o neve;
  - aumento del peso per unità di volume in seguito a incremento di contenuto in acqua;
  - rimozione di una parte della massa a seguito di uno scavo;
  - undermining provocato da gallerie, crollo di cavità sotterranee o da erosione;
  - shock provocato da terremoti o esplosioni.
- Per cause riconducibili alla diminuzione della resistenza:
  - rigonfiamento di argille in seguito a imbibizione;
  - pressioni interstiziali (diminuiscono le pressioni intergranulari e l'attrito);
  - deformazione e rottura progressiva;
  - disgelo di terreno congelato;
  - deterioramento del materiale cementante.

Tutti, sono fattori di instabilità che nel caso di frane *vincono* su quelli che invece tendono a stabilizzare un versante che sono: inclinazione del pendio; coesione del materiale; angolo di attrito del materiale ( $\phi$ ); presenza di acqua (falda) nel terreno.

Quando un versante perde stabilità e frana, si genera per lo stesso movimento di una porzione di terreno staccatesi, una nicchia di distacco, le cui dimensioni in larghezza e profondità sono servono per calcoli matematici riferibili alla evoluzione e alla stessa entità della frana. Il materiale staccato forma il pendio di frana e si accumula ai piedi del pendio stesso (*cf.* figura 3.1).

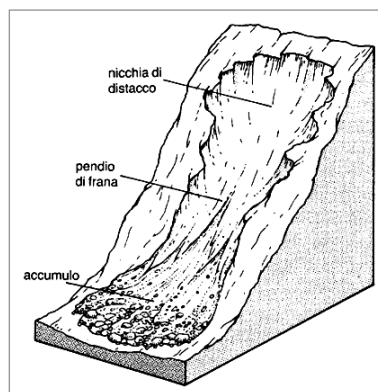


Figura 3.1. Schematizzazione di una frana

Quelle finora esaminate sono le cause che generano la frana per azioni destabilizzatrici, tuttavia, si individuano altre cause che sono riconducibili a fattori naturali e antropici.

I fattori naturali che predispongono il versante a franare sono:

- condizioni climatiche: piovosità, insolazione, escursioni termiche;
- configurazione morfologica e, soprattutto, inclinazione del pendio e sue variazioni;
- composizione geolitologica;
- struttura tettonica e in particolare disposizione degli strati rispetto al pendio;
- microsismi e terremoti dei gradi più bassi;
- movimenti orogenici;
- rilassamento delle tensioni interne delle rocce;
- alterazione meteorica delle rocce;
- circolazione delle acque superficiali e sotterranee;
- azione erosiva dei corsi d'acqua e del moto ondoso al piede dei pendii;
- variazione di livello dei laghi;
- ritiro dei ghiacciai.

Quelli antropici sono:

- disboscamento;
- scavi di ogni genere, come trincee, canali, strade a mezza costa, gallerie, ecc.;
- costruzione di edifici sui pendii;
- vibrazioni prodotte dal passaggio di veicoli pesanti (treni, autocarri, ecc.);
- irrigazioni;
- abbandono della manutenzione dei campi in aree montane e collinari.

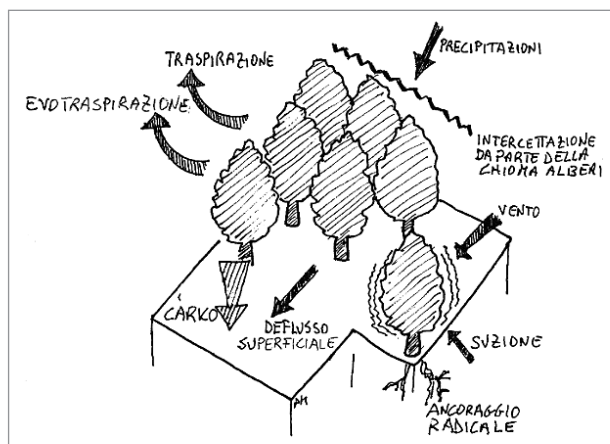
Il progettista interviene con opere di ingegneria naturalistica per evitare che un piccolo dissesto del versante possa diventare qualcosa di molto più importante, o per evitare di intervenire quando già il versante è collassato franando e quindi per rimediare in qualche modo alla ferita inferta al pendio e cercare di risanarne l'integrità.



Figura 3.2. Esempio di frana (foto free-copy)

## CONCETTO DI EVOTRASPIRAZIONE

La funzione della coltre vegetativa erbacea, arbustiva o arborea o un mix di questi elementi, abbiamo già visto essere di fondamentale importanza nella stabilità dei versanti sia da un punto di vista meccanico che idrogeologico. La figura 4.1 schematizza molte di queste azioni.



**Figura 4.1.** *Ruolo della vegetazione nella stabilità dei versanti*

I versanti sono caratterizzati da una elevata permeabilità del suolo e tendenzialmente infiltrano gran parte delle acque meteoriche che generano un deflusso più o meno consistente (a secondo della pendenza) verso la base del versante innescando facilmente frane e smottamenti.

Il manto forestale quindi riduce la quantità di acqua che tocca il terreno direttamente, evita ruscellamenti e tramite il fenomeno dell'evotraspirazione smaltisce facilmente, con efficacia e in tempi brevi l'eccesso di acqua presente nel sottosuolo.

Il processo di evotraspirazione in effetti altro non è che l'azione combinata del processo di suzione da parte delle radici e quindi di evaporazione attraverso il fogliame dell'acqua catturata dalle radici e la quantità di acqua evaporata direttamente dal suolo.

La morfologia delle piante a tal scopo è diversa se si tratta di piante a fusto legnoso, di dicotiledoni a fusto erbaceo o di monocotiledoni con fusto erbaceo (cfr. figura 4.2).

Come fa la pianta a trasportare dal suolo fino all'atmosfera? Attraverso quattro gradienti:

- 1) Gradiente di concentrazione del vapor d'acqua nella traspirazione;
- 2) Gradiente di pressione nel trasporto a lunga distanza nello xilema;
- 3) Gradiente di potenziale idrico nella radice;
- 4) Gradiente di pressione nel suolo.

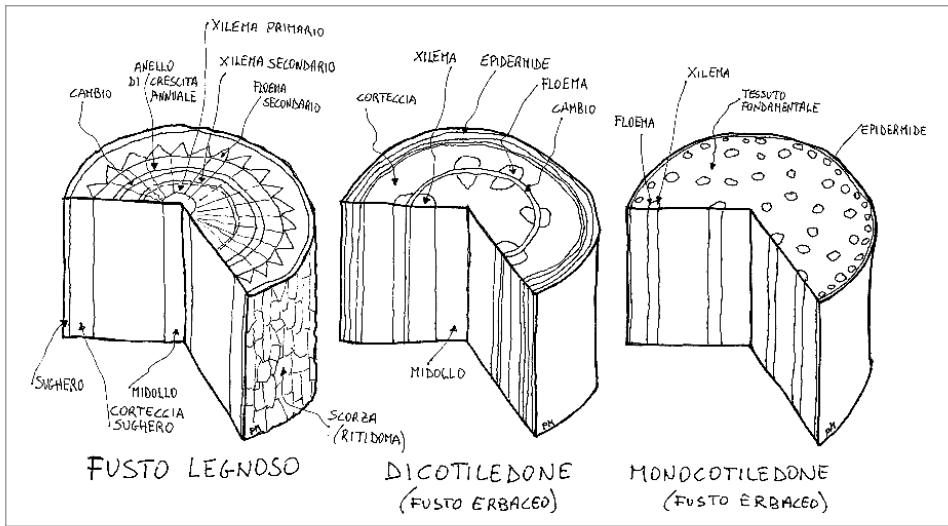


Figura 4.2. Trasporto dell'acqua nelle diverse piante

La capacità di trattenere e cedere acqua dipende dal tipo di suolo: la sabbia possiede un'elevata conduttività idraulica rispetto all'argilla che ha una bassa conduttività idraulica. L'acqua ivi presente sia in un tipo di suolo che nell'altro, viene assorbita attraverso le radici, o più esattamente attraverso i peli radicali che essendo molti e assai sottili aumentano la superficie di scambio per l'assorbimento di acqua. L'acqua presente nel terreno passa all'interno della pianta per differenza di potenziale (imbibizione) e attraverso lo xilema sale lungo il fusto fino ad arrivare alle foglie attraverso un flusso continuo e ininterrotto chiamato corrente di traspirazione (cfr. figura 4.3).

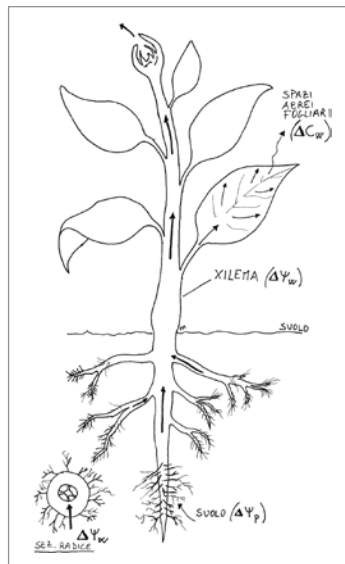


Figura 4.3. Fenomeno della traspirazione nelle piante

## ELEMENTI DI GEOTECNICA APPLICATA ALL'I.N.

### 5.1. Premessa

In questo capitolo si analizzeranno alcuni concetti fondamentali che fanno parte delle materie di scienza delle costruzioni e di geotecnica, i quali però sono trattati in via esclusiva per il solo studio e successivo calcolo delle opere di costruzione per il consolidamento di pendii sconnessi.

Tralascieremo volutamente tutta la trattazione teorica che porta alla determinazione dei principi e delle formule matematiche che il progettista utilizzerà nella progettazione delle opere di cui si diceva. Nei paragrafi che seguono, tuttavia, verranno forniti i concetti, le formule e il loro corretto utilizzo che saranno richiamate nel seguente capitolo 6, quando si analizzeranno alcune applicazioni pratiche svolgendo i relativi calcoli di alcune tipologie di opere a gravità.

### 5.2. Elementi

L'ingegneria naturalistica è una branca tecnica dell'ingegneria che, come più volte ripetuto, abbina concetti propri di tecnica di scienza delle costruzioni e di geotecnica, a concetti agronomici, agroforestali e di scienze naturali, per il consolidamento di scarpate di pendii instabili.

Fondamentalmente come visto nelle pagine e nei capitoli scorsi, le opere di consolidamento appartengono a tre grosse categorie:

- 1) le opere cosiddette a gravità, per esempio la palificata viva;
- 2) le opere con elementi infissi nel terreno, per esempio la palizzata;
- 3) le opere di rinforzo, per esempio le terre armate.

Un'opera di ingegneria naturalistica viene costruita in un certo modo ma poi nel corso del tempo la stessa si modifica fino a diventare una struttura che molte volte è completamente diversa dalle opere di partenza.

Aspettando che le piante crescano e prendano piede cominciando a svolgere il loro compito, la tecnica costruttiva del manufatto assolve il compito di protezione della crescita delle piante. È necessario quindi, che il progettista proceda con il calcolo strutturale dell'opera di ingegneria naturalistica che si intende realizzare.

In scienza delle costruzioni, l'equilibrio di un sistema di forze complanari su un piano  $X, Y$  è dato dall'equazione della statica, dove le forze  $F_x$  e  $F_y$  sono le forze esercitate lungo gli assi cartesiani  $x$  e  $y$  ed  $M$  i momenti delle forze rispetto all'asse  $z$ .

La geotecnica è la branca dell'ingegneria che si occupa del terreno e delle sue componenti strutturali. Il terreno è un materiale eterogeneo e multifase generalmente composto da una fase solida e con la presenza dei vuoti, i quali possono essere occupati o dall'aria o dall'acqua o da un miscuglio di questi due elementi. Più che l'aria è l'acqua presenti in questi vuoti che caratterizza profondamente la risposta meccanica del terreno alle sollecitazioni.

Descriviamo attraverso i seguenti parametri:



- volume totale;
- porosità,
- indice dei vuoti.

Il volume totale  $V$  è la somma dei volumi delle singole fasi; la porosità  $n$ , è data dal rapporto tra il volume dei vuoti volume totale; mentre l'indice dei vuoti  $e$  è definito come rapporto tra il volume dei vuoti e il volume della fase solida.

Detto questo, definiamo il *grado di saturazione*  $S$  come il rapporto tra il volume occupato dall'acqua  $V_w$  e il volume dei vuoti, e quindi può succedere che in un terreno *saturo* il grado di saturazione sia 100% mentre in un terreno *asciutto* il grado di saturazione sia 0%.

Altro parametro importante in geotecnica è il *contenuto d'acqua*  $w$  presente nel terreno espresso come rapporto tra il peso dell'acqua e quello delle particelle e la cosiddetta *portanza*  $K$ , definita come la compressione ammissibile per il terreno.

Altri parametri che interessano il progettista sono:

- $\gamma$  = il peso dell'unità di volume totale;
- $\gamma_s$  = il peso dell'unità di volume della parte solida;
- $\gamma_w$  il peso dell'unità di volume dell'acqua;
- $\gamma_d$  il peso dell'unità di volume del terreno secco;
- $\gamma' = \gamma - \gamma_s$  il peso dell'unità di volume del terreno alleggerito;
- il peso specifico totale è il peso specifico dei grani.

In condizioni di equilibrio idrostatico le tensioni verticali efficaci sono uguali alla differenza fra le tensioni verticali totali e le pressioni neutre:

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u \quad (5.1)$$

dove:

- $\sigma'_{vo}$  = tensioni verticali efficaci o tensione efficace,
- $\sigma_{vo}$  = tensioni verticali totali o tensione totale,
- $u$  = pressioni neutre o pressione interstiziale.

Vale la pena sottolineare che la resistenza a taglio dell'acqua è trascurabile e che le sue proprietà meccaniche sono indipendenti dal valore di pressione alla quale si trova e quindi la pressione interstiziale è ininfluenza sulla resistenza complessiva del terreno.

### 5.3. Spinta delle terre

Coulomb è colui che ha studiato la meccanica dei terreni ipotizzando la teoria delle spinte delle terre e ha dato un importante contributo alla meccanica delle terre nelle opere di sostegno.

La costruzione di opere di sostegno del tipo prima descritte, sono costruite per sostenere un fronte verticale o al più un fronte inclinato di qualche grado di terreno o roccia. È importante anche notare che il modo in cui viene installata l'opera di sostegno è estremamente importante perché determina come le spinte del terreno vengano esercitate su sé stessa.

Il *coefficiente di spinta*,  $K$ , introdotto da Terzaghi, è il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace, definito ad una profondità  $h$  al di sotto del piano di campagna:

$$K = \sigma'_h / \sigma'_v \quad (5.2)$$

## APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

### 6.1. Generalità

Nelle pagine precedenti abbiamo visto molte tipologie di opere che si possono realizzare con i principi dell'ingegneria naturalistica. Tuttavia, da un punto di vista strutturale, di scienza delle costruzioni, poche di queste svolgono veramente il compito di opere di sostegno nel senso stretto del termine. Una di queste è indubbiamente la *palificata doppia*. Questa opera, strutturalmente si presenta effettivamente come un'opera di sostegno a gravità.

La spinta passiva operata dall'opera di sostegno deve essere controbilanciata dalla spinta attiva del terreno e della falda idrica che agiscono sull'opera dalla parte opposta. Le opere a gravità sfruttano semplicemente il proprio peso per controbilanciare queste spinte. Questo significa che non si può costruire un muro di sostegno con lo stesso materiale che esso deve sostenere, non avrebbe, infatti, il necessario peso. Ecco perché si utilizza il calcestruzzo o il calcestruzzo armato: perché il  $\gamma'$  del CLS è superiore a quello del terreno e ciò significa che in poco volume si ottiene il giusto peso come controforza alle spinte attive.

La palificata deve essere composta da molto legno, duro, stagionato e ad alto peso specifico. E il cassone preparato con questo tondame deve essere riempito di buon materiale (ghiaia grossa, pietrame, terreno sciolto tipo sabbia, e quindi anche dello stesso terreno di scavo). Solo così si riesce ad avere peso a sufficienza da ritenere affidabile l'opera al suo compito.

Ecco perché personalmente ritengo la palificata una vera opera di ingegneria naturalistica. E per palificata intendo quella doppia. Tuttavia, anche la tipologia detta Roma, o altre varianti, possono comunque assolvere, se ben progettate, il loro compito di sostegno. Menzione merita la palizzata, anche se non progettata come opera di sostegno di importanza, può e assolve al suo compito per quei versanti che soffrono di erosione abbastanza superficiale.

A titolo di esempio, la spinta passiva esercitata da un muro in CLS di 1 m<sup>3</sup> di volume verso il terrapieno retrostante è pari a:

$$S_{passiva} = \frac{1}{2} \gamma_{CLS} \cdot h^2 \cdot K_p \quad (6.1)$$

La spinta attiva, invece, esercitata dal terrapieno sulla parete del muro di CLS posto a sostegno, è pari a:

$$S_{attiva} = \frac{1}{2} \gamma_{terreno} \cdot h^2 \cdot K_a \quad (6.2)$$

Siccome deve verificarsi che la spinta passiva deve essere maggiore di quella attiva, è facilmente dimostrabile che per verificarsi questa condizione il peso volumico del manufatto che si oppone alla spinta del terreno deve essere maggiore di quello del terreno.

## 6.2. Progettazione e fasi

Un progetto di un'opera di ingegneria naturalistica non è un ambito riservato a un solo professionista ma è un lavoro multidisciplinare che interessa:

- il naturalista (genericamente inteso anche come professionista tecnico agronomico e forestale);
- l'ingegnere;
- il geologo;
- il topografo.

Infatti, l'ingegneria naturalistica prevede già nella fase progettuale e poi anche in quella di realizzazione dell'opera di tener conto di diversi aspetti ingegneristici (nella fase di calcolo, soprattutto) ed ecosistemici (che tengano conto della biodiversità del territorio e dell'integrazione con processi attivi di quella parte del territorio dove si vuole realizzare l'opera).

Anche un progetto di ingegneria naturalistica deve seguire le tre fasi classiche della progettazione:

- 1) *Redazione del progetto preliminare*: il progetto preliminare di una qualsiasi opera contiene delle informazioni abbastanza generali che riguardano l'analisi del territorio, se ci sono vincoli da rispettare (paesaggistici, ambientali, ecc.) la geologia del luogo, la pedologia, l'analisi fitosociologica e vegetazionale, l'aspetto faunistico e molti altri fattori. Contiene la proposta dell'intervento ed è corredato anche dalla stima dei costi. Infine, se l'opera è realizzata in ambito pubblico il progetto preliminare deve essere sottoposto a procedure di VIA all'attenzione dell'Ente preposto perché possa esprimere il proprio parere ed eventualmente formulare anche richieste di modifica.
- 2) *Redazione di un progetto definitivo*: il progetto definitivo allega un numero maggiore di atti necessari alla presentazione completa del progetto: l'analisi del territorio composta da una serie di cartografie, dell'analisi geologica e geomorfologica, di quella pedologica e vegetazionale. Deve comprendere le planimetrie dello stato di fatto e di progetto con le sezioni corredate dagli interventi, una relazione tecnica di progetto la relazione idraulica (se presente). Quindi l'elenco dei prezzi e il computo metrico estimativo.
- 3) *Consegna del progetto esecutivo*: infine, il progetto esecutivo contiene tutte le informazioni del progetto definitivo con allegati relazione tecnica esecutiva del progetto, la documentazione fotografica, la planimetria e le sezioni di progetto, l'analisi definitiva dei prezzi e infine il piano di sicurezza. Al progetto esecutivo, a partire dal 28 luglio 2002 è obbligatorio allegare anche il piano di manutenzione che generalmente comprende il manuale d'uso, il manuale di manutenzione e il programma di manutenzione. La manutenzione delle opere di ingegneria naturalistica non avrebbe motivo d'essere in quanto le piante messe a dimora si evolvono gestendo in autonomia lo spazio a loro dedicato. Tuttavia, la manutenzione delle opere è necessaria, con i dovuti accorgimenti e interventi, oltre che prevista dai capitolati d'appalto, anche perché può accelerare il processo di raggiungimento del valore massimo di efficacia.

Più di tutte le altre opere, la progettazione di opere di I.N. obbliga il progettista ad attenersi alla cosiddetta *legge del minimo*, introdotta dall'AIPIN e illustrata nella figura 6.1

## APPLICAZIONI E CALCOLI

*La teoria è quando si sa tutto e niente funziona.  
La pratica è quando tutto funziona e nessuno sa il perché.  
Noi abbiamo messo insieme la teoria e la pratica: non c'è niente che funzioni...  
...e nessuno sa il perché!*

A. Einstein

### 7.1. Palificata

La palificata è un'opera di ingegneria naturalistica riconducibile ad un'opera a gravità, come può esserlo anche una palizzata (in questa però si devono considerare anche gli elementi dell'opera conficcati nel terreno), e anche una gabbionata è un'opera a gravità.

Tutte le opere a gravità sono dette tali perché per vincere la spinta delle terre, si contrappone il peso proprio dell'opera. Quindi, in pratica, una volta calcolata la spinta si procede con il calcolo del manufatto che dovrà contrastare tale spinta. E la progettazione dell'opera prevede semplicemente la determinazione della forma (e quindi del volume), della sua componente materiale (cemento, pali di legno e terreno, ghiaia, massi di pietrame, ecc.), della sua forma, rettangolare o trapezoidale, per esempio.

#### 7.1.1. Dati di ingresso e formule

Per i calcoli di una palificata, i dati di ingresso sono (cfr. figura 7.1):

- SPINTA DELLE TERRE:
  - inclinazione della palificata rispetto all'orizzontale ( $\alpha$ );
  - inclinazione del terrapieno a monte dell'opera di sostegno ( $\beta$ );
  - angolo di attrito interno ( $\varphi$ );
  - angolo di attrito opera terreno ( $\delta$ ) => metodo Coulomb;
  - peso specifico del terreno ( $\gamma$ );
  - altezza del terrapieno ( $H$ );
  - sovraccarico sul terrapieno (distribuito) ( $Q$ ).

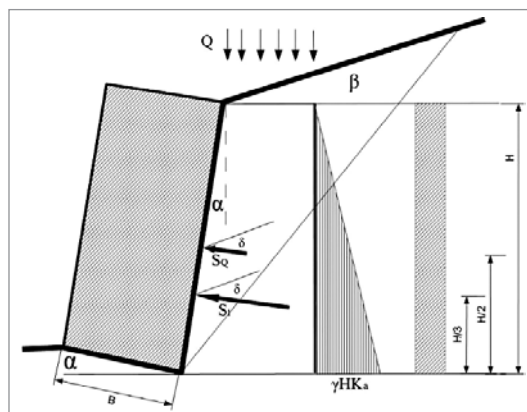


Figura 7.1.

La **spinta attiva** è calcolata come di seguito:

- Con inclinazione del terreno a monte dell'opera,  $\beta = 0$  e  $\alpha = 0$ :

$$S_{attiva} = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (7.1)$$

- Con inclinazione del terreno a monte dell'opera,  $\beta \neq 0$  e  $\alpha = 0$ :

$$S = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 K_a \quad (7.2)$$

con:

$$K_{attivo} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\delta + \varphi) \operatorname{sen}(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (7.3)$$

- Spinta attiva del terreno sottoposto ad un sovraccarico:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 K_a + Q h K_a \quad (7.4)$$

dove  $Q$  = sovraccarico.

- Spinta dovuta al sovraccarico  $Q$ :

$$S_{sovraccarico} = \frac{1}{2} \gamma_t h_1^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (7.5)$$

con  $h_1$  altezza terra equipesante (vedi nota 21).

- Calcolo del fronte dello scavo:

$$h_0 = \frac{2C}{\gamma_t \sqrt{K_a}} \quad (7.6)$$

- Calcolo altezza linea di azione della spinta:

$$h_{spinta} = h / 3 \cdot \left( (h + 3 \cdot h_1) / (h + 2 \cdot h_1) \right) \quad (7.7)$$

- Calcolo altezza terra equipesante<sup>1</sup>,  $h_1$ :

<sup>1</sup> Con questa procedura di calcolo si trasforma il carico uniformemente distribuito a monte dell'opera di sostegno in peso di terreno e calcolare infine l'altezza di questo terreno,  $h_1$ . Questo valore servirà per il calcolo dell'altezza della

## VALUTAZIONE GLOBALE DEL PROGETTO DI UN'OPERA DI CONSOLIDAMENTO CON L'INGEGNERIA NATURALISTICA: IMPLEMENTAZIONE DI UN INDICE DI CONGRUITÀ

### 8.1. Problema

L'ingegneria naturalistica è efficacemente utilizzata per controllare fenomeni superficiali di instabilità dei versanti attraverso metodiche di consolidamento che prevedono l'utilizzo di piante vive e morte con effetti diretti sulle condizioni idrauliche e meccaniche dei terreni. Le radici delle piante messe a dimora hanno un effetto di rinforzo attraverso l'incremento di resistenza al taglio del terreno (Vidal, 1969 et al.), mentre le piante in toto possono ridurre il contenuto d'acqua del terreno principalmente attraverso la captazione di acqua meteorica e con il noto processo dell'evotraspirazione. Questo effetto idraulico operato dalle piante, e tuttavia ancora non ben studiato, incrementa ulteriormente la resistenza a taglio del terreno.

L'applicazione dei principi dell'ingegneria naturalistica, se da una parte utilizza espressioni di calcolo tecnico proprie dell'ingegneria geotecnica, dall'altra ha la prioritaria vocazione di contribuire al mantenimento e al ripristino dell'ambiente naturale dove l'opera è realizzata. Da queste semplici considerazioni, l'analisi progettuale ha bisogno di considerare numerosi fattori, molti dei quali non strettamente di natura tecnica. Tuttavia, questi fattori, diversi nella loro consistenza, trovano una collocazione strutturale simile ad un processo a blocchi facilmente interpretabili con operazioni di natura prima algoritmica e successivamente informatica.

Ma c'è di più. La schematizzazione logica delle metodiche procedurali applicabili ad un progetto di intervento di I.N. porta inevitabilmente alla considerazione ponderale di alcuni semplici indici di congruità che infine generano un indice finale che potrebbe considerare oggettivamente e non più soggettivamente l'intero progetto.

### 8.2. Modelli di schematizzazione logica e procedure.

La definizione degli indici ipotizzati, procede innanzitutto nella distinzione della parte tecnica e di quella botanico-naturalistica che nell'insieme caratterizzano l'I.N.

La TAV. 1 e la TAV. 2 mostrano sommariamente l'ipotesi di schematizzazione a blocchi del processo di definizione della parte tecnica e naturalistica di un progetto di un'opera di I.N. Nel particolare la TAV.2 analizza più nello specifico l'iter di calcolo della componente cosiddetta  $\alpha$  che corrisponde alla componente geotecnica. Come si nota, in entrambi i processi il risultato cercato è quello di ottenere altrettanti indici che descrivano attraverso valutazioni di carattere algoritmico la fine della procedura ipotizzata con un semplice valore numerico che esprime la congruità del processo.

Si ipotizzano, alla fine, due particolari indici  $I_G$  e  $I_N$ , che oggettivamente attraverso un semplice valore numerico (da 1 a 9) valutano rispettivamente la correttezza della procedura progettuale della parte tecnica e di quella naturalistica dell'opera cantierabile. Il prodotto di questi due indici (definito come  $I_{CN}$  (*Indice di Consolidamento Naturalistico*), variabile anch'esso tra 1 e

9, esprime infine la correttezza, nell'ottica e nei presupposti dei fondamentali dell'ingegneria naturalistica, del progetto nella sua interezza.

### 8.3. Descrizione e ipotesi di un modello di calcolo

Più che modello di calcolo, in questo studio iniziale, si procede alla fase preliminare di definizione della struttura logica del programma che dovrà gestire input e output attraverso elaborazioni che implementano algoritmi costruiti *ad hoc*. Il modello di calcolo potrà essere strutturato anche tramite fogli di lavoro consecutivi elaborati in Excel o Calc di Open Office. Di seguito si analizzano le varie classi di input che nel complesso, attraverso anche interventi decisionali dell'operatore, definiscono la struttura logica del programma di elaborazione.

#### 8.3.1. Classe di input "sito"

Questa classe prevede una serie di input di dati (1): bisogna fornire al programma di elaborazione le coordinate GPS e un valore del grado di inclinazione (come dato numerico tal quale o come classe di inclinazione: basso, medio, alto, per esempio). Altri dati di input possono essere la profondità, il peso dell'unità di volume, il contenuto di acqua a saturazione, la proprietà di ritenzione idrica, la conducibilità idraulica, il valore di coesione, l'angolo di attrito interno, e molti altri. Tutti questi valori anche se non sono immediatamente utilizzati, sono memorizzati in variabili del programma e rese disponibili anche in secondo momento (per l'elaborazione del fattore di sicurezza, per esempio)

Il dato GPS immesso permette al software di interrogare molte banche dati (2) attraverso (ad esempio) un collegamento online.

Dalle banche dati si estraggono numerose altre informazioni utili al prosieguo:

- **Cartografia del sito**
  - Mappe Google earth
  - Mappe IGM
- **Dati di termologia del sito**
- **Curve termiche nell'anno**
- **Max e min registrati in un arco di tempo**
- **Dati pluviometrici**
  - Curve pluviometriche
  - Max e min di precipitazione in un arco di tempo
  - Dati pedologici:
    - composizione del suolo
    - Censimento frane
    - frane latenti, attive, ecc.

Molte di queste informazioni vengono fornite direttamente (cartografia, censimento frane) ma altri vengono ancora elaborati in modo consequenziale per fornire altri importanti dati. La curva termologica e quella pluviometrica (annuali entrambi) vengono elaborati per costruire automaticamente il diagramma ombrometrico in output (3) e (6) e presentato come risultato. I dati di output pedologici vengono elaborati congiuntamente all'eventuale censimento di frana esistente sul sito (solo se il censimento è positivo) (4) e (5). Questa procedura è sottoposta a controllo dell'operatore e quindi presentata come risultato (8).

## LA SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO E I DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

### 9.1. Norme generali

Il committente d'opera, chiunque esso sia, un semplice cittadino o una Amministrazione pubblica (soggetto titolare del potere decisionale e di spesa relativo alla gestione dell'appalto), con l'introduzione del D.Lgs. n. 81/2008 diviene responsabile della sicurezza dei lavoratori sul luogo di lavoro. Allo stesso modo anche il datore di lavoro dell'impresa che esegue i lavori assume le stesse responsabilità.

I lavoratori tuttavia, non sono soggetti passivi ma sono responsabili della loro mansione e dei dispositivi di protezione individuale che vengono loro affidati dal datore di lavoro, previo verbale di consegna.

Il Titolo IV del D.Lgs. n. 81/2008 si applica nei cosiddetti cantieri temporanei o mobili e prescrive misure per la tutela della salute e la sicurezza dei lavoratori che trovano impiego in esso. Il cantiere viene definito come quel luogo dove si effettuano lavori di ingegneria civile, ovvero lavori elencati nell'Allegato X al D.Lgs. n. 81/2008. Alcuni di questi sono:

- Opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, cemento armato, in metallo, legno o in altro materiale;
- Opere stradali, ferroviarie, idrauliche, ...;
- Opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro.

Un cantiere di costruzione di opere di ingegneria naturalistica è dunque a tutti gli effetti un cantiere temporaneo o mobile.

Il committente incarica il responsabile dei lavori che è il soggetto che svolge i compiti ad esso attribuiti e che coincide con il responsabile del procedimento. Nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese esecutrici, il committente o il responsabile dei lavori designa il coordinatore per la progettazione e il coordinatore per l'esecuzione dei lavori.

Il CSP è il soggetto incaricato dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 91 del D.Lgs. n. 81/2008 e che redige il piano di sicurezza e coordinamento (PSC) e predispose un fascicolo contenente le informazioni utili ai fini della prevenzione e della protezione dai rischi cui i lavoratori sono esposti.

#### Articolo 91

##### *Obblighi del coordinatore per la progettazione*

1. Durante la progettazione dell'opera e comunque prima della richiesta di presentazione delle offerte, il coordinatore per la progettazione:

- a) redige il piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100, comma 1, i cui contenuti sono dettagliatamente specificati nell'allegato XV;
- b) predispose un fascicolo adattato alle caratteristiche dell'opera, i cui contenuti sono definiti all'allegato XVI, contenente le informazioni utili ai fini della prevenzione e della protezione dai rischi cui sono esposti i lavoratori, tenendo conto delle specifiche norme di buona tecnica e



dell'allegato II al documento UE 26 maggio 1993. Il fascicolo non è predisposto nel caso di lavori di manutenzione ordinaria di cui all'articolo 3, comma 1, lettera *a*) del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia, di cui al d.P.R. 6 giugno 2001, n. 380;

*b-bis*) coordina l'applicazione delle disposizioni di cui all'articolo 90, comma 1.

2. Il fascicolo di cui al comma 1, lettera *b*), è preso in considerazione all'atto di eventuali lavori successivi sull'opera.

*2-bis*. Fatta salva l'idoneità tecnico-professionale in relazione al piano operativo di sicurezza redatto dal datore di lavoro dell'impresa esecutrice, la valutazione del rischio dovuto alla presenza di ordigni bellici inesplosi rinvenibili durante le attività di scavo nei cantieri è eseguita dal coordinatore per la progettazione. Quando il coordinatore per la progettazione intenda procedere alla bonifica preventiva del sito nel quale è collocato il cantiere, il committente provvede a incaricare un'impresa specializzata, in possesso dei requisiti di cui all'articolo 104, comma 4-*bis*. L'attività di bonifica preventiva e sistematica è svolta sulla base di un parere vincolante dell'autorità militare competente per territorio in merito alle specifiche regole tecniche da osservare in considerazione della collocazione geografica e della tipologia dei terreni interessati, nonché mediante misure di sorveglianza dei competenti organismi del Ministero della difesa, del Ministero del lavoro e delle politiche sociali e del Ministero della salute.

Mentre il CSE (coordinatore della sicurezza e di salute durante la realizzazione dell'opera), è il soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 92 del D.Lgs. n. 81/2008, che non può essere però il datore di lavoro delle imprese affidatarie ed esecutrici, né tantomeno un suo dipendente:

#### Articolo 92

##### *Obblighi del coordinatore per l'esecuzione dei lavori*

1. Durante la realizzazione dell'opera, il coordinatore per l'esecuzione dei lavori:
  - a*) verifica, con opportune azioni di coordinamento e controllo, l'applicazione, da parte delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi, delle disposizioni loro pertinenti contenute nel piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100 ove previsto e la corretta applicazione delle relative procedure di lavoro;
  - b*) verifica l'idoneità del piano operativo di sicurezza, da considerare come piano complementare di dettaglio del piano di sicurezza e coordinamento di cui all'articolo 100, assicurandone la coerenza con quest'ultimo, ove previsto, adegua il piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100 ove previsto, e il fascicolo di cui all'articolo 91, comma 1, lettera *b*), in relazione all'evoluzione dei lavori ed alle eventuali modifiche intervenute, valutando le proposte delle imprese esecutrici dirette a migliorare la sicurezza in cantiere, verifica che le imprese esecutrici adeguino, se necessario, i rispettivi piani operativi di sicurezza;
  - c*) organizza tra i datori di lavoro, ivi compresi i lavoratori autonomi, la cooperazione ed il coordinamento delle attività nonché la loro reciproca informazione;
  - d*) verifica l'attuazione di quanto previsto negli accordi tra le parti sociali al fine di realizzare il coordinamento tra i rappresentanti della sicurezza finalizzato al miglioramento della sicurezza in cantiere;
  - e*) segnala al committente o al responsabile dei lavori, previa contestazione scritta alle imprese e ai lavoratori autonomi interessati, le inosservanze alle disposizioni degli articoli 94, 95, 96 e 97, comma 1, e alle prescrizioni del piano di cui all'articolo 100, ove previsto, e propone la sospensione dei lavori, l'allontanamento delle imprese o dei lavoratori autonomi dal cantiere, o la risoluzione del contratto. Nel caso in cui il committente o il responsabile dei lavori non adotti alcun provvedimento in merito alla segnalazione, senza fornire idonea motivazione, il coordinatore per l'esecuzione dà comunicazione dell'inadempienza alla azienda unità sanitaria locale e alla direzione provinciale del lavoro territorialmente competenti;

## PREZZIARIO E COMPUTO METRICO

Il prezziario delle opere è un utile strumento per poter quantificare preventivamente il costo dell'opera stessa e viene messo a disposizione di imprenditori, consulenti ed Enti da ogni Regione al fine di poter agevolare la predisposizione di progetti per l'impianti arborei, per i miglioramenti fondiari, interventi agricoli e selvicolturali.

Oggi, grazie alla larga diffusione delle opere che utilizzano interventi di ingegneria naturalistica, ogni prezziario contiene una sezione che tratta appunto la quantificazione dell'opera. Se non è presente una sezione apposita, gli interventi di I.N. si trovano generalmente sotto la voce di quelli forestali.

Il valore delle voci del prezziario è determinato con procedimento comparativo basato sul criterio del PMM, Prezzo Medio di Mercato. Ovviamente, essendo il rapporto riferito all'ambito regionale, il prezziario regionale è riferito ai prezzi di mercato proprio della Regione al quale si riferisce. Tuttavia, con piccole modifiche, a volte insignificanti, si può generalizzare un prezziario a tutto il territorio nazionale.

Per esempio, il prezziario qui di seguito illustrato, della Regione Veneto, tiene conto comparativamente del prezzo della regione Lombardia, di quello dell'Emilia-Romagna e di quello del Friuli-Venezia Giulia (recentemente approvati). In merito ai prezziari agroforestali il prezziario della regione Veneto, fa riferimento anche a quelli delle regioni Toscana, Marche e Calabria.

---

*La quantificazione del costo orario delle prestazioni volontarie, o della manodopera nel caso di esecuzione diretta da parte di enti pubblici, è stata definita riconducendo ad una sola voce descrittiva la media dei valori retributivi desunta dai rispettivi contratti nazionali di riferimento.*

(Prezziario della Regione Veneto Agroforestale)

---

Sulla base di un prezziario, il progettista compila il Computo estimativo dell'opera che contiene tutte le voci delle cose da fare per la realizzazione dell'opera. Compresi le spese generali e l'utile d'impresa. Il computo metrico è una semplice lista tabellare che contiene almeno cinque indicazioni di base:

- N° ordine;
- Descrizione del lavoro;
- Unità di misura;
- Quantità;
- Prezzo unitario;
- Importo dei lavori.

Per esempio, volendo realizzare una scogliera rinverdita (cfr. figura 10.1).

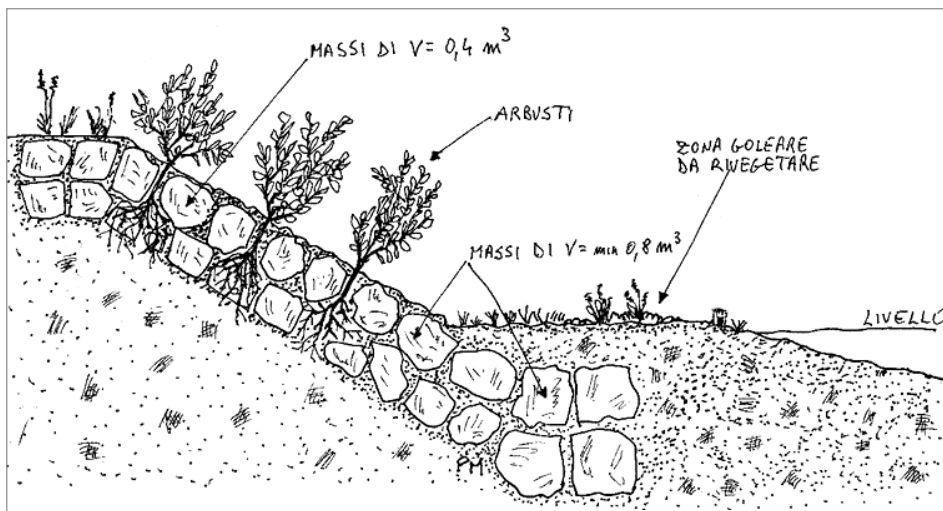


Figura 10.1. Scogliera rinverditata

L'analisi dei prezzi prevede la compilazione della seguente tabella:

N.	Descrizione lavori	U.M.	Q	Costo unit.	Imp. Tot.
<b>Manodopera</b>					
1	Operaio comune	ora	0.6	23.00	13.80
2	Operaio qualificato	ora	0.6	25.00	15.00
<b>Noli</b>					
3	Terna (HP 150)	ora	0.2	48.00	9.6
<b>Materiali in opera</b>					
4	Massi (1500 kg, > 0.7 m <sup>3</sup> – cadauno)	m <sup>3</sup>	1.1	23.00	25.3
5	Terra agraria	m <sup>3</sup>	0.3	12.50	3.75
6	Talee di salice	cad	8	1	8
<b>Importo totale</b>		€/m <sup>3</sup>			75.45
<b>Prezzo di applicazione al m<sup>3</sup></b>		€			<b>75.5</b>

I prezzi indicati sono indicativi ma comprendono tuttavia, le spese generali (valutate intorno al 10%) e l'utile di esercizio (al 17%).

## SOFTWARE INCLUSO (WebApp con aggiornamento automatico)

### 11.1. Contenuti del software incluso

- **Fogli Excel** (che girano anche su Calc di Open Office) che consentono:
  - Verifica della palificata doppia secondo il DM 88
  - Verifica della palificata doppia secondo le nuove NCT 2018
  - Verifica della stabilità del pendio:
    - secondo il metodo del pendio indefinito
    - secondo il metodo delle strisce (Bishop semplificato)
  - Predimensionamento della struttura
  - Calcolo e verifica interna terre rinforzate
  - Calcolo e verifica palizzata
  - Calcolo e verifica muri cellulari

Le verifiche, svolte ai sensi del DM 88 e delle NCT 2018, riguardano:

- Ribaltamento
  - Traslazione
  - Verifica (SLU) di collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.
- Il software esegue anche la verifica a stabilità interna per opere di rilevati con terre rinforzate. Il relativo foglio di calcolo restituisce i valori della lunghezza L della geogriglia e la lunghezza di risvolto della stessa per ogni strato dell'opera.
- **Glossario** (termini più ricorrenti sull'argomento).

### 11.2. Requisiti hardware e software

- Dispositivo con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Adobe Reader 11.0+;
- MS Excel 2010+;
- Accesso ad internet e browser web con *Javascript* attivo.

### 11.3. Richiesta della password di attivazione del software

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

**[https://www.grafill.it/pass/0056\\_3.php](https://www.grafill.it/pass/0056_3.php)**

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare su **[Continua]**;
- 3) **Per utenti registrati su [www.grafill.it](http://www.grafill.it)**: inserire i dati di accesso e cliccare su **[Accedi]**, accettare la licenza d'uso e cliccare su **[Continua]**;

- 4) **Per utenti non registrati su [www.grafill.it](http://www.grafill.it)**: cliccare su [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare su [**Iscriviti**], accettare la licenza d'uso e cliccare su [**Continua**];
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati all'indirizzo e-mail inserito nel form di registrazione.

#### 11.4. Utilizzo della WebApp

- 1) Registrare il prodotto ed attivare il software come indicato nei paragrafi precedenti;
- 2) Accedere al profilo utente su [www.grafill.it](http://www.grafill.it);
- 3) Cliccare sul pulsante [**G-CLOUD**];
- 4) Cliccare sul pulsante [**Vai alla WebApp**] in corrispondenza del prodotto acquistato.

#### 11.5. Assistenza tecnica (*TicketSystem*)

I prodotti **Grafill** sono coperti da assistenza tecnica gratuita per 365 giorni dall'acquisto. L'assistenza è prevista per l'installazione, l'avvio o la reinstallazione del prodotto (*non è prevista assistenza per il recupero dei dati*), se la configurazione hardware rispetta i requisiti richiesti.

---

L'assistenza **TicketSystem** è disponibile all'indirizzo <https://www.supporto.grafill.it>. Effettuare il login al **TicketSystem** utilizzando i dati del profilo utente di [www.grafill.it](http://www.grafill.it) ed aprire un ticket seguendo le istruzioni. La cronologia dei ticket resterà disponibile sulla schermata principale del **TicketSystem**.

---

## MANUALE D'USO DEL PROGRAMMA DI CALCOLO

Questo capitolo mostra sommariamente la procedura di utilizzo del software  $INI_{v,2}$  con le relative schermate. Alcuni esempi pratici dell'uso di  $INI_{v,2}$  sono contenuti nel testo.

All'apertura del programma si visualizza il messaggio di figura 12.1, al quale ovviamente bisogna rispondere con [Aggiorna].

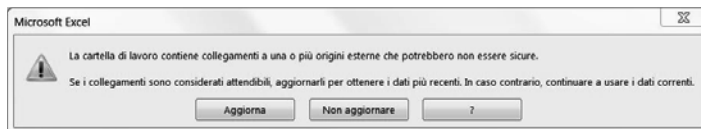


Figura 12.1.

Prima di procedere, è preferibile selezionare la visualizzazione “*layout di pagina*” (cfr. figura 12.2) poiché il programma è stato strutturato in modo che l'utilizzatore abbia sottomo e visualmente tutto ciò che il programma chiede e che in seguito restituisce, senza andare a scorrere a destra o a sinistra, in su o in giù il foglio.

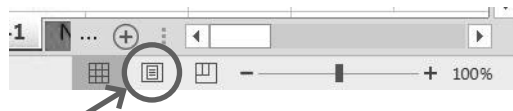


Figura 12.2.

Il programma presenta i seguenti fogli (cfr. figura 12.3):

- Introduzione
- DM88
- PALIFICATA alle NCT2018
- Stabilità pendii secondo il metodo del pendio indefinito e di Bishop semplificato
- Predimensionamento
- TERRE RINFORZATE: verifica stabilità interna e verifiche SLU alle NCT 2018
- PALIZZATA
- MURI CELLULARI: verifica alle NCT 2018

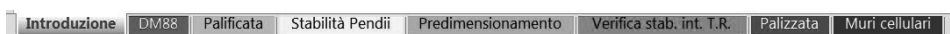


Figura 12.3.

A seconda di cosa si vuole fare, basta cliccare sulla linguetta e si entra nella pagina. I dati di input si riferiscono generalmente a quelli descritti nella figura 12.4.

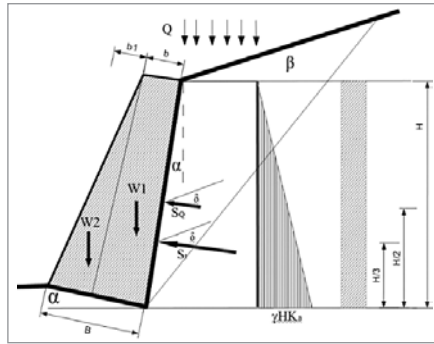


Figura 12.4.

Se si segue la raccomandazione di visualizzare i fogli come layout di pagina e si riduce l'ingrandimento a circa 80% si avrà sotto gli occhi la pagina intera con tutto quanto presente sul foglio perfettamente impaginato. Ogni foglio, infatti può essere stato suddiviso in più pagine.

Il vantaggio di questo metodo è che anche la stampa della pagina rispecchierà l'impaginazione prestabilita consentendo di allegare direttamente il foglio di calcoli alla relazione.

Per esempio, la figura 12.5 mostra il foglio di calcolo denominato *stabilità pendii*. Il foglio presenta due pagine di input: la prima per la verifica secondo il metodo del pendio indefinito, mentre il secondo foglio verifica la stabilità del pendio secondo il metodo dei conchi e nel caso specifico secondo il metodo di Bishop semplificato.

INGEGNERIA NATURALISTICA
STABILITÀ PENDIO
Pietro Martino

### Stabilità pendio PENDIO ILLIMITATO

Coesione efficace del terreno	c	8	kg/m <sup>2</sup>
Angolo di resistenza al taglio del terreno	$\phi$	34	°
Angolo di inclinazione del terreno	$\beta$	25	°
Altezza strato di terreno	z	1,5	m
Peso specifico del terreno	$\gamma_t$	1900	Kg/m <sup>3</sup>
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	100	Kg/m <sup>3</sup>
Altezza strato con pressione idrica	hw	0,15	m
pressione idrica	u	15	kg/m <sup>2</sup>
lunghezza del segmento di strato di terreno	b	1	m

Fattore di sicurezza	<b>FS</b>	<b>1,445</b>	$FS = \frac{c + \gamma_t \cdot z \cdot \cos^2 \beta - u + \tan \phi'}{\gamma_t \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$
----------------------	-----------	--------------	--

Risultato Stabilità  
Il pendio è STABILE  
Con Fs 1,3

Risultato Stabilità  
Il pendio è INSTABILE  
Con Fs 1,3

**ISTRUZIONI**

INPUT DATI *Caselle grigie*,  
RISULTATI *Caselle verdi*

Il presupposto del pendio indefinito è che il meccanismo del movimento, avvenga come scivolamento lungo un pendio di dimensione infinita e lungo un piano di rottura planare parallelo allo stesso pendio. Così facendo è possibile analizzare un conchio del pendio ed estendere i risultati a tutto il pendio.

Il fattore di sicurezza Fs è considerato valido se è uguale o superiore a 1,3, tuttavia un Fs con un valore superiore è indice di maggiore stabilità a favore della sicurezza stessa del pendio. Il foglio genera anche una risposta in tal senso, considerando, cioè, un valore di 1,5 come indice minimo.

INI - INATURALENGINEERING - V.2

Figura 12.5.

