

# INGEGNERIA NATURALISTICA per la tutela dei siti archeologici a rischio di dissesto idrogeologico

*17 marzo 2023 - Roma*

## il caso dei Ninfei di Castel Gandolfo

Ingegnere Ambientale Federico Boccalaro  
AIPIN-SIGEA socio esperto difesa suolo



**FIDAF**

Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali

# Difesa Suolo

## Premessa

Il **dissesto idrogeologico** del territorio italiano è un evento naturale sempre più ricorrente e discusso.

Ne deriva che la difesa dai rischi idrogeologici si impone nei due termini della **previsione** dei dissesti con reti di monitoraggio e della **prevenzione** con idonee misure protettive.

Gli interventi per la difesa del suolo, quali le sistemazioni idraulico-forestali, le regimazioni delle acque e le opere a presidio delle coste, costituiscono allora un **investimento produttivo**, anche se in gran parte a lungo termine. Infatti, è ormai accertato che il costo per realizzare le opere preventive può essere di gran lunga inferiore all'ammontare del danno economico e dell'investimento per le opere di sistemazione.

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Chi si occupa di governo del territorio ricorda **Giulio De Marchi** soprattutto come Presidente di quella famosa «Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo», costituita nel novembre 1967 congiuntamente dal Ministero dei Lavori Pubblici e da quello dell'Agricoltura e delle Foreste, che tutti chiamarono appunto "**Commissione De Marchi**".

Alla domanda se oggi il governo del territorio presenti problemi del tutto nuovi rispetto agli ultimi anni '60 si deve dare una risposta articolata, perché è soprattutto vero che anche problemi vecchi vengono oggi affrontati con **mentalità nuova**. Da questo punto di vista dobbiamo considerare essenzialmente tre ordini di idee.

Bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Il primo è la molta maggiore attenzione che si pone all'**interazione** fra le opere di intervento sul dissesto idrogeologico (in particolare di sistemazione degli alvei) e l'**ambiente** nel quale queste opere devono calarsi, ambiente nel senso più comprensivo della parola, non solamente fisico, geografico o idrologico, ma anche biologico, sociale, economico, sanitario, ecc. .

E' un'interazione che da sempre le menti più avvedute ben conoscevano e ritenevano degna di studio, ma che oggi è entrata nella coscienza delle Autorità e in buona parte nell'Opinione pubblica, per cui le problematiche corrispondenti hanno assunto una rilevanza che allora non era facilmente prevedibile.

Bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Il secondo è la diffusione delle procedure di "ingegneria naturalistica", anche se l'impiego di fascine, palificate di legno, viminate e simili tipi di opere di sistemazione idraulico-forestale, che sposino la natura, risale alla preistoria o quasi. Anche qui la novità, oltre all'introduzione di materiali davvero nuovi come i georivestimenti, sembra consistere in una **nuova cultura** che evidenzia la necessità che l'intervento umano sia in equilibrio con la natura e aiuti anzi a riaffermarla.

Bedrock

Cilindro verticale delle  
radici ancorate al bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Il terzo è lo sviluppo dell'**approccio sistemico** ai problemi connessi col governo del territorio: forse la Commissione De Marchi è stata l'ultima grande attività pianificatoria - anche se limitata allo scopo primario del controllo delle piene per la difesa del territorio - compiuta nel nostro paese senza l'esplicito ricorso all'analisi dei sistemi.

In effetti fu soltanto all'inizio degli anni '70 che i procedimenti dell'**analisi dei sistemi** cominciarono a essere applicati in Italia, specialmente sul piano regionale, allo studio dei problemi della pianificazione delle risorse idriche e perciò indirettamente a quelli della difesa del suolo, giacché i provvedimenti intesi a difendere il territorio dalle intemperanze della natura, ivi inclusa la sistemazione degli alvei, interagiscono fortemente, tanto nei costi, quanto nei benefici, con l'utilizzazione delle risorse.

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

E' peraltro ben noto che l'analisi dei sistemi in sostanza non fa che codificare e precisare **valutazioni e stime**, che possono portare a soluzioni ottime o quasi, anche senza l'applicazione dell'algoritmo matematico, ma sfruttando **esperienza e intuito**: è certamente quello che è riuscita a fare la Commissione De Marchi, che ha inquadrato perfettamente in una visione globale e multidisciplinare problemi molto complessi e soggetti a vincoli d'ogni genere.

E l'esperienza ha un ruolo fondamentale nell'affrontare i problemi del dissesto idrogeologico se, nella relazione sulla «**Difesa dalle Acque**» e «**Difesa delle Coste**» (1972), Giulio De Marchi affermava:

Bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

*[«...L'esito infelice di molte sistemazioni effettuate in passato su torrenti montani, specie delle regioni meridionali, trova spiegazione in generale nel fatto che le progettazioni di base furono condotte **più sulle carte che sul terreno**, e che nello studio di esse e nella direzione dei lavori si sono succeduti, talora a brevi intervalli di tempo, funzionari diversi, inizialmente ignari dell'ambiente e troppo spesso privi di ogni esperienza precedente in questo particolarissimo campo d'attività.*

*Tenuto presente tutto ciò, mi pare di poter affermare che la situazione dei torrenti è in prima linea problema d'uomini: il loro successo è legato, infatti, soprattutto agli uomini che vi soprintendono, alla loro specifica preparazione, alla diretta conoscenza dei torrenti da sistemare e dei loro bacini, da essi acquisita, e ad una lunga loro permanenza nello stesso ufficio, che consente loro di seguire senza interruzione il progressivo svolgimento dei lavori di sistemazione e il loro effetto, dal principio alla fine. ...»].*

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

*[«...Un fattore negativo per la conservazione delle coste è il loro uso intensivo, che spesso è irrazionale, di urbanizzazione senza valutazione di quei limiti e vincoli che sono imposti dalle condizioni fisiche locali e dell'unità fisiografica.*

*Accade che in terreni demaniali marittimi, con o senza autorizzazione, imprese turistiche o edili ecc. distruggano o gravemente alterino nella loro struttura, composizione e densità **rimboschimenti** di pini ed altre specie eseguiti dalla Amministrazione Forestale dello Stato.*

*Anche i boschi naturali, **le formazioni arbustive pioniere delle sabbie vengono distrutte** ed altresì non sono rari gli esempi della distruzione delle dune sabbiose per attuare insediamenti con finalità turistiche. Su queste coste spogliate dalle loro formazioni vegetali o indebolite a causa dell'asportazione di notevoli quantità di sabbie costituenti cordoni dunosi sul lato mare, cioè **private di quelle forze elastiche**, resistenti al vento ed all'acqua marina con grande efficacia, l'erosione eolica e quella marina acquistano nuovo vigore.*

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

*Inoltre, gli inquinamenti di origine industriale e domestica delle acque lagunari e marine, contribuiscono a distruggere quei particolari microclimi (marini, lagunari e litoranei) favorevoli alla vita degli organismi vegetali e animali.*

*Alla permanenza di equilibri biologici corrispondono più favorevoli condizioni per il mantenimento degli equilibri fisici delle coste, mentre di seguito alla loro rottura sopravviene una condizione di instabilità fisica delle coste. ...»].*

Bedrock

Cilindro verticale delle  
radici ancorate al bedrock

Figura - prof. ing. Giulio De Marchi (da F. Boccalaro, 1997)



mar. '23

Cilindro ve  
radici anc

Bedrock

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Tra le discipline tecniche che intervengono nella soluzione dei problemi creati dal dissesto idrogeologico, si è inserita ormai da diversi anni l'Ingegneria Naturalistica.

L'**Ingegneria Naturalistica** (I.N., ted. *Ingenieurbiologie*, ingl. *Soil Bioengineering*) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antierosivi e di consolidamento, in genere in abbinamento con altri materiali (legno, terra, roccia, geotessili, reti zincate, ecc.), per la ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale ed all'aumento della biodiversità. I **campi di intervento** vanno da quelli tradizionali di consolidamento dei versanti al recupero di aree degradate (cave, discariche, cantieri), alla mitigazione degli impatti causati da opere di ingegneria (barriere antirumore, ecosistemi-filtro a valle di scarichi idrici), all'inserimento ambientale delle infrastrutture di trasporto lineari (scarpate stradali e ferroviarie), alla rinaturazione dei corsi d'acqua, alla difesa costiera, ecc.

# Difesa Suolo

## Premessa

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

Le finalità degli interventi di I.N. sono principalmente:

- **tecnico-funzionali**, ad esempio antierosive e di consolidamento di una scarpata o di una sponda;
- **naturalistiche**, in quanto lo scopo non è la semplice copertura a verde ma la ricostituzione o l'innescò di comunità vegetali appartenenti alla serie dinamica autoctona;
- **estetiche e paesaggistiche** di inserimento nel paesaggio naturale;
- **economiche**, in quanto tipologie alternative e competitive alle opere tradizionali (ad esempio muri di sottoscarpa in cemento sostituiti da palificate vive).

Bedrock

# Ingegneria Naturalistica

## Premessa

Gli interventi di I.N. si contraddistinguono da quelli tradizionali per:

- l'esame delle caratteristiche **microclimatiche, geomorfologiche e pedologiche** delle aree di intervento;
- l'**analisi floristica e vegetazionale**, con particolare riferimento alla ricostruzione della serie dinamica e all'individuazione delle specie d'impiego in funzione delle loro caratteristiche biotecniche;
- l'uso di **materiali non tradizionali** quali i geotessuti sintetici o le bioreti naturali in abbinamento a piante o parti di esse;
- l'accurata selezione delle **specie vegetali** da impiegare (miscele di sementi, specie arboree ed arbustive, talee, rizomi, trapianti di zolle);
- l'abbinamento della funzione di **consolidamento** con quella del **reinsediamento ambientale**;

# Ingegneria Naturalistica

## Premessa

- il **miglioramento nel tempo** delle suddette funzioni per lo sviluppo delle parti aeree e sotterranee delle piante.

Opere di Ingegneria Naturalistica vengono realizzate da oltre quaranta anni nei paesi di lingua tedesca, mentre in Italia le esperienze principali sono state fatte negli ultimi venti anni nel centro - nord e più recentemente nel sud.

Anche sul piano **legislativo** tali tecniche vengono ormai espressamente richieste come nella legge speciale 102/90 per la Valtellina o nella normativa regionale per gli interventi di difesa del suolo dell'Emilia Romagna (delibera n° 3939 del 6/9/94) e di altre Regioni italiane.

L'interesse per tali tecniche è anche manifestato dai **manuali tecnici** usciti negli ultimi anni quali quelli predisposti dalle Regioni Emilia Romagna e Veneto, Lazio, Toscana, Liguria, Lombardia, dalla Provincia di Trento, dalla Provincia di Terni e dal Ministero dell'Ambiente.

# Ingegneria Naturalistica

## Premessa

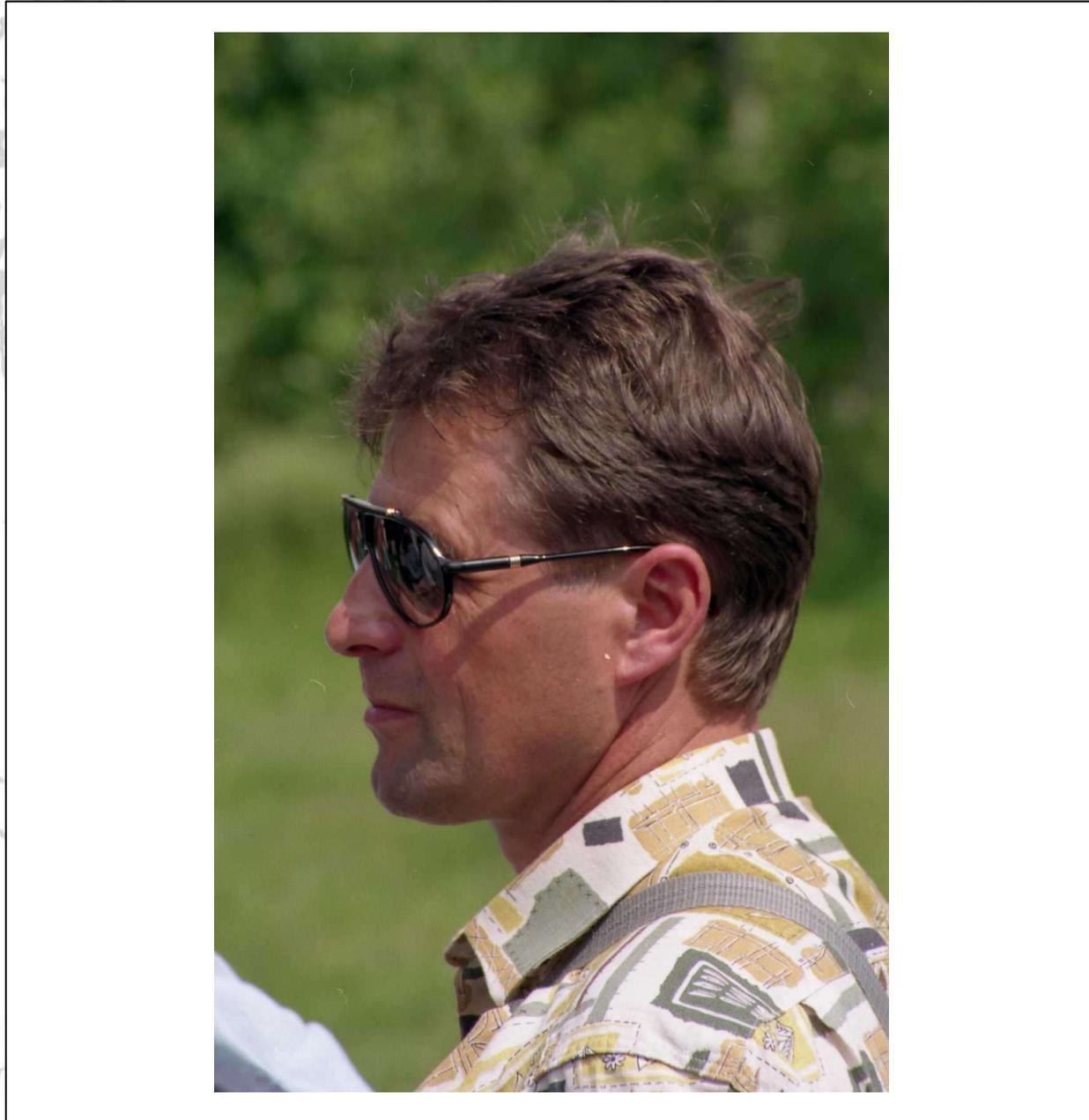
Si può quindi affermare che l'Ingegneria Naturalistica ha ormai superato in Italia la fase pioniera e si sta accreditando presso le pubbliche amministrazioni ed i professionisti come uno strumento fondamentale per la **salvaguardia del territorio e la riqualificazione dell'ambiente.**



Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

# Figura - F. Florineth in Val Venosta (BZ) (da F. Boccalaro, 1994)



Bedrock

mar. '23

Cilindro  
radici ar

**Figura** - *Efficacia di una sistemazione a Colle S. Michele (CA) (da F. Boccalaro, 1997)*



# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di interventi geotecnici

I fattori che condizionano la scelta dell'intervento sistematorio più idoneo sono elencati di seguito.

- **Scopo della sistemazione:** innanzitutto è importante il consolidamento delle aree in pendio, seguito da una velocizzazione delle successioni vegetali, un costo di manutenzione più contenuto possibile e la creazione di superfici utili.
- **Effetto tecnico:** le scarpate minacciate da erosione vengono protette mediante interventi di copertura, i pendii minacciati da franamenti possono essere consolidati e resi stabili con interventi stabilizzanti o combinati.
- **Ecologia delle stazioni:** i fattori stazionali influenzano la scelta delle piante che, dal canto loro, contribuiscono a determinare il metodo costruttivo.

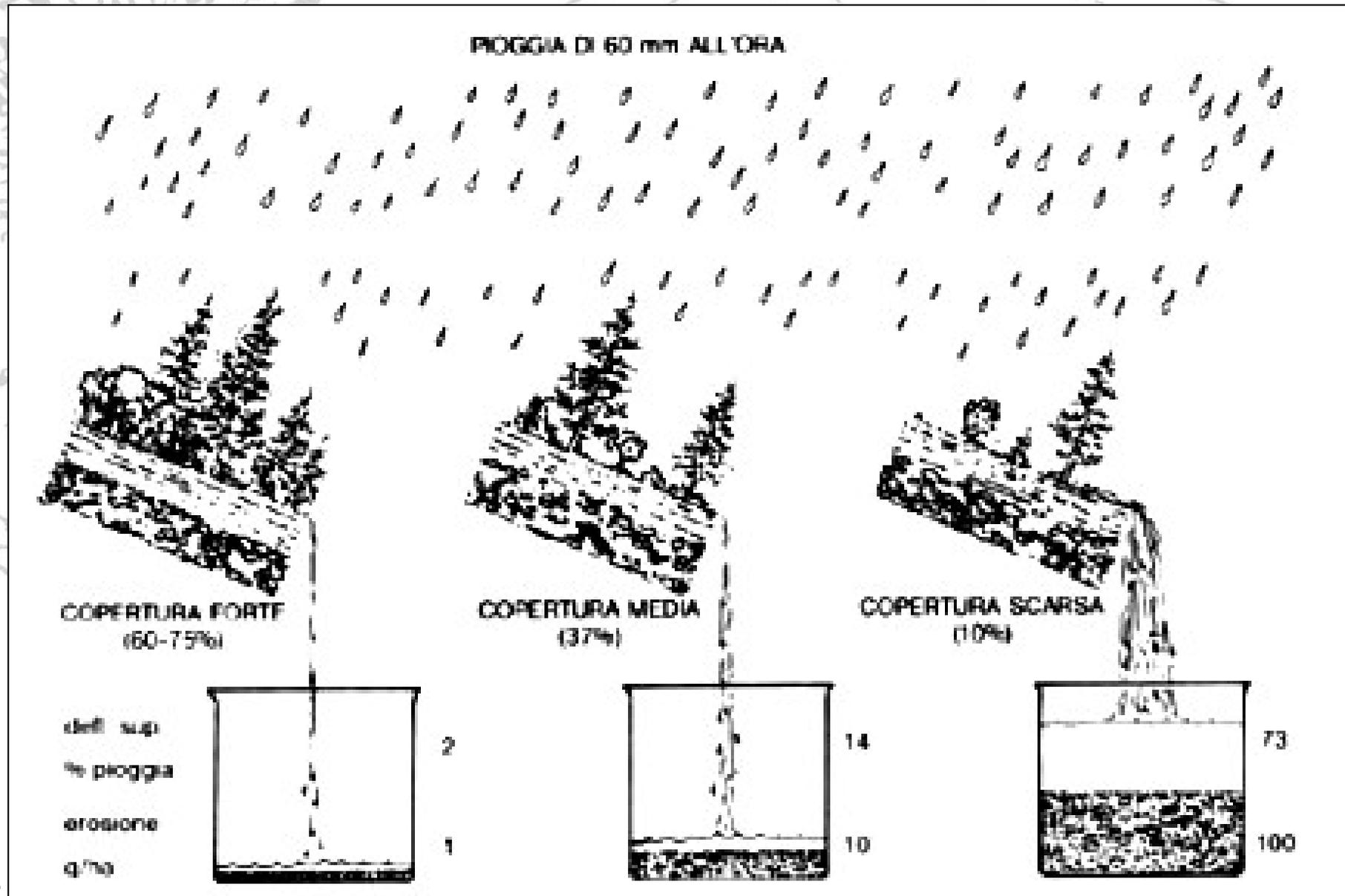
# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di interventi geotecnici

- **Disponibilità di appropriati materiali da costruzione:** occorre stabilire a priori se le piante adatte alle caratteristiche stazionali sono disponibili nelle vicinanze del cantiere o devono essere portate sul posto.
- **Stagione:** i metodi costruttivi che abbisognano di materiale con capacità di propagazione vegetativa sono legati al riposo vegetativo (tardo autunno, inverno).

Gli interventi di ricostituzione della copertura vegetale verranno eseguiti mediante **"opere di rivestimento"** (pendio stabile:  $\eta > 1,1$ ), le opere di consolidamento e regimazione delle acque verranno eseguite mediante **"opere stabilizzanti"** (pendio labile:  $0,9 < \eta < 1,1$ ) e/o **"opere combinate"** (pendio instabile:  $\eta < 0,9$ ).

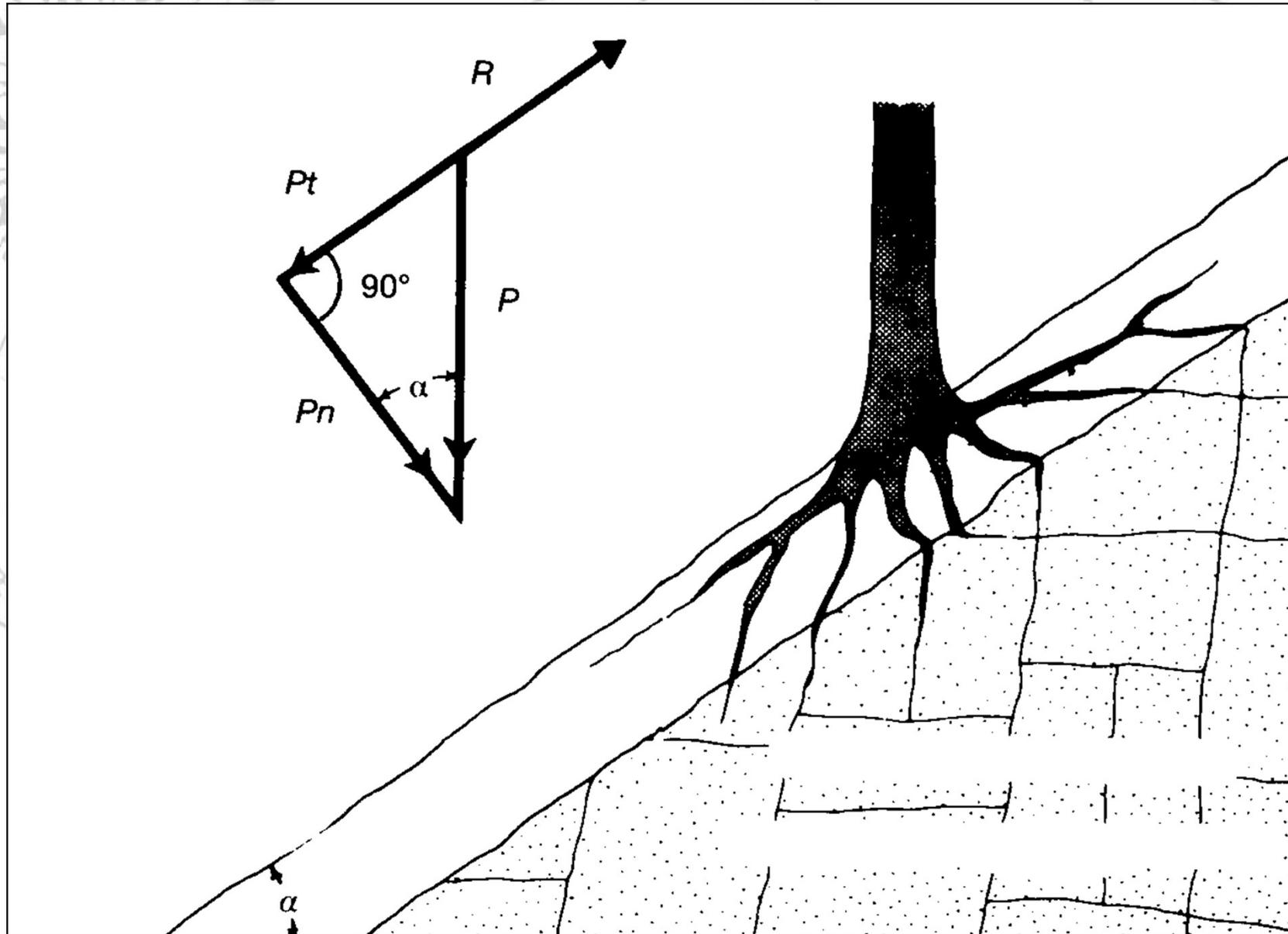
# Figura - Influenza della copertura vegetale sull'erodibilità del suolo (...)



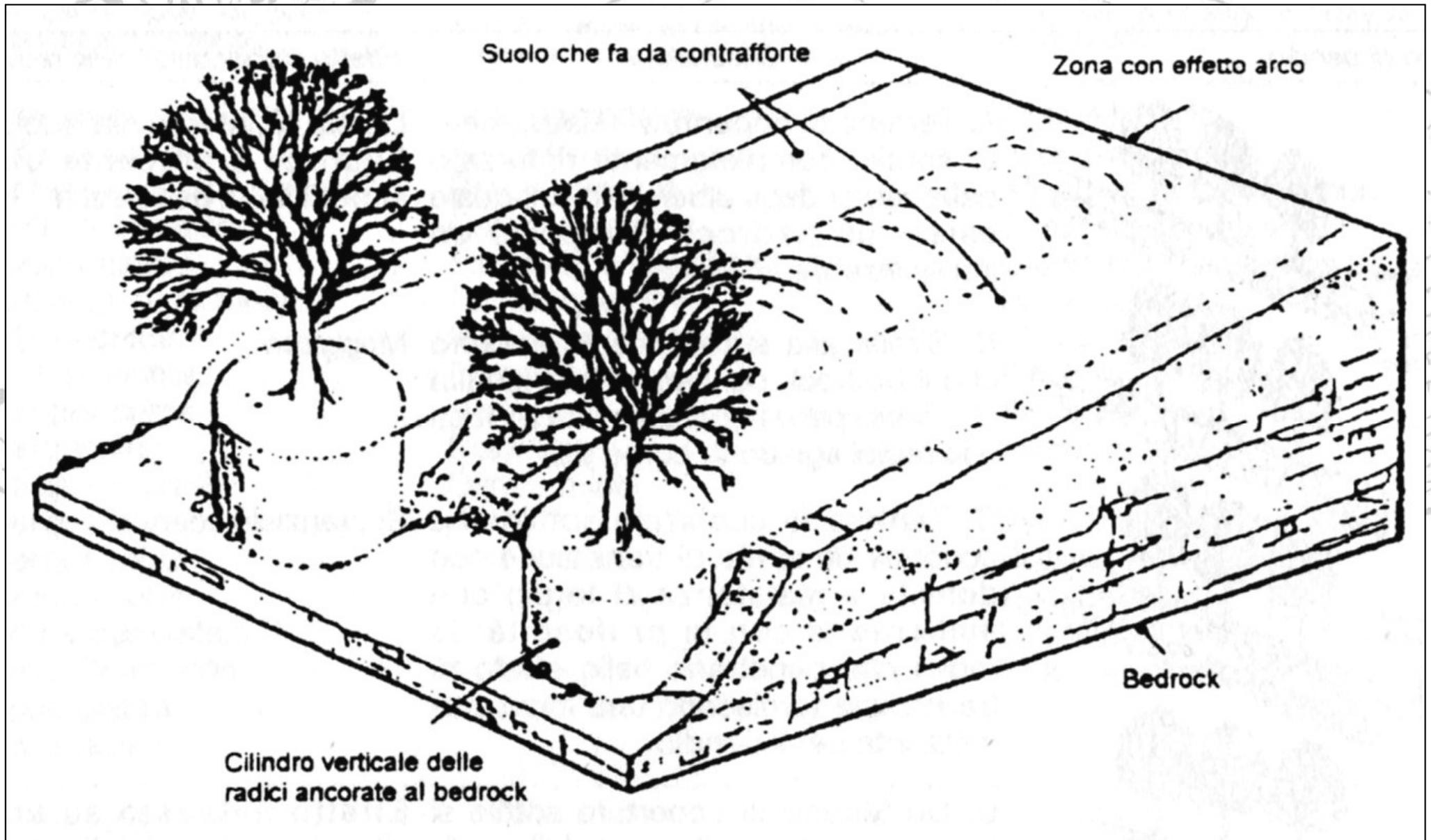
Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - Forze in gioco nell'equilibrio di un pendio (da FAO, 1977)



**Figura** - *Effetto arco svolto da apparati radicali*  
(da Wang-Yang, 1974)





# Ingegneria Naturalistica

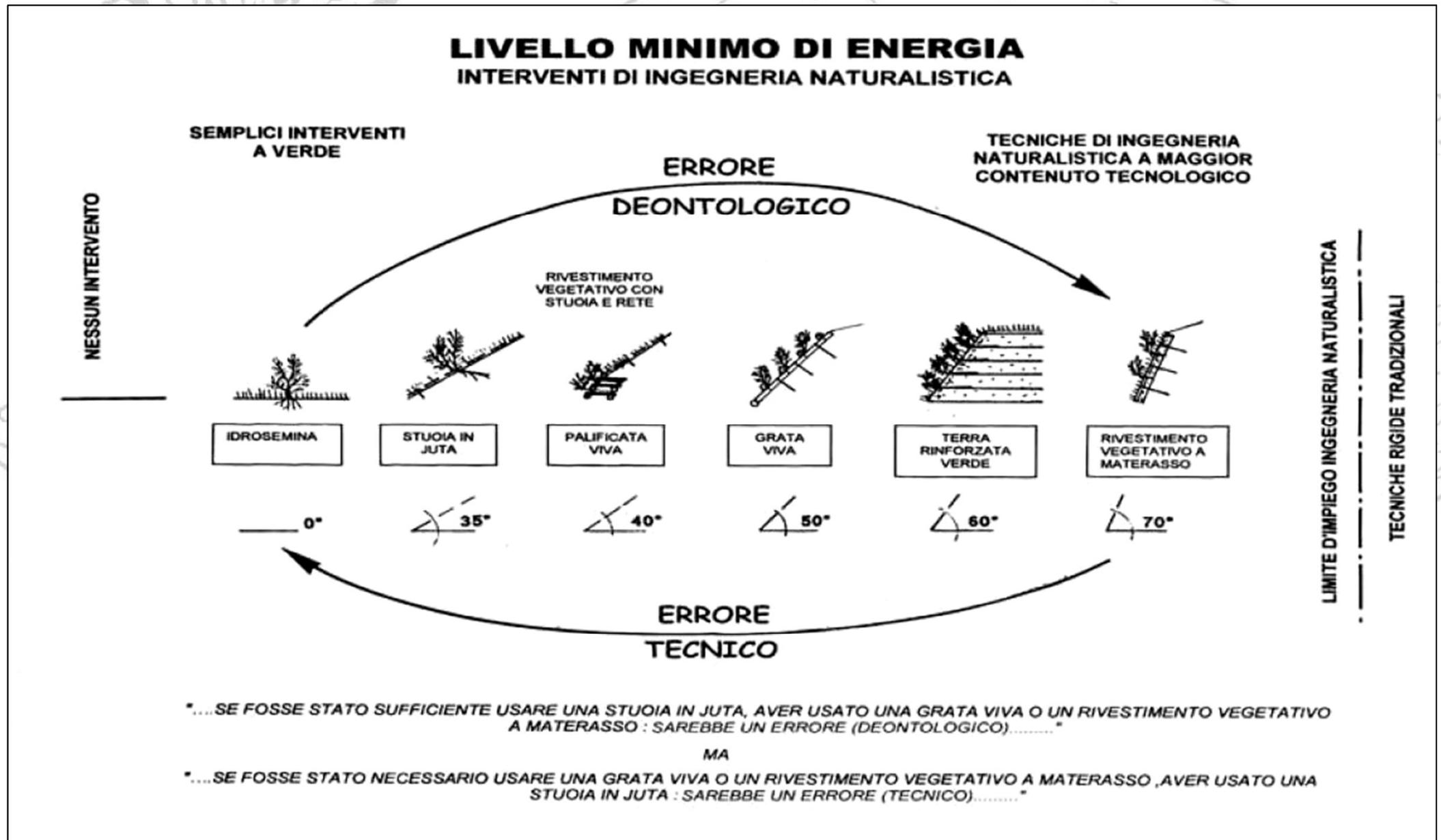
## Che cos'è l'Ingegneria Naturalistica

Come in tutte le discipline, anche nell'Ingegneria Naturalistica si stanno affermando alcune **regole comportamentali** di riferimento per i professionisti, i funzionari e gli imprenditori che si occupano degli interventi di I.N.

Vale il principio di adottare nelle scelte di progetto le tecniche a **minor livello di energia** (complessità, tecnicismo, artificialità, rigidità, costo) a pari risultato funzionale/biologico come rappresentato per maggior chiarezza in **figura**.

Per quanto riguarda la selezione delle specie e dei materiali da impiegare nelle tecniche di I.N., il concetto generale di impiegare il più possibile **materiali naturali e specie autoctone** va ulteriormente dettagliato, data la complessità e molteplicità delle situazioni in cui vengono spesso a trovarsi i professionisti settore (vedi **figura**).

**Figura - Livello minimo di energia per interventi di Ingegneria Naturalistica (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006)**



# Figura - Selezione delle specie e dei materiali (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006)

Solo piante vive	Piante vive+materiali			Solo materiali artificiali
Piante vive con funzione tecnica primaria	Piante vive con funzione tecnica primaria + materiali biodegradabili (legno, biostuoie) dominanti	Piante vive con funzione tecnica secondaria + materiali non biodegradabili dominanti: naturali (pietra, terra) e artificiali (plastica)	Piante vive prive di funzione tecnica, ma per realizzazione unità ecosistemiche + materiali artificiali dominanti	
Es: Gradonata viva	Es: Palificata viva	Es: Gabbionate rinverdite, scogliere rinverdite, terre rinforzate rinverdite, geosintetici rinverditi	Es: Cribb wall verdi, mantellate cemento inerbite	Es: Muro c.a., rete zincata
Solo azioni morfologiche	Solo materiali			
Per rinaturalizzazione + aumento biodiversità	Materiali naturali per favorire la colonizzazione spontanea delle dune	Materiali naturali per la realizzazione unità morfologiche	Materiali naturali o artificiali per il mantenimento biodiversità faunistica	
	Es: Incannucciamento	Es: Canalette legno e pietra, briglie legname e pietrame, dighe in terra per conservazione habitat di pregio	Es: Tubi per anfibi, sovrappassi per ungulati, rampe risalita per i pesci	

# Ingegneria Naturalistica

## Che cos'è l'Ingegneria Naturalistica

L'AIPIN ha recentemente fatto un tentativo di schematizzare la graduatoria di **preferibilità** e liceità di impiego di specie e materiali nei vari possibili ambiti territoriali di impiego. Va da sé che nelle **aree protette** devono essere impiegate solo **specie autoctone e materiali naturali** o biodegradabili, escludendo il *Vetiveria zizanioides* (Vetiver, pianta erbacea perenne originaria dell'India settentrionale). Si ammette l'uso di materiali artificiali solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di **infrastrutture** o insediamenti. Nelle **aree agricole**, nei **parchi e giardini**, nelle **aree urbane e industriali** è invece ammesso l'uso di **specie naturalizzate** anche se è sempre preferibile usare le specie autoctone. L'uso dei materiali è indifferente (vedi **figura**).

**Figura - Preferibilità/liceità d'impiego dei materiali vivi e morti per le tecniche di ingegneria Naturalistica (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006)**

PREFERIBILITÀ/ LICEITÀ\* D'IMPIEGO  
DEI MATERIALI VIVI E MORTI PER LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

			PIANTE			MATERIALI UTILIZZATI		
			NATURALITÀ CRESCENTE			NATURALITÀ CRESCENTE		
AMBITI D'IMPIEGO			PIANTE AUTOCTONE	PIANTE ESOTICHE NATURALIZZATE	PIANTE ESOTICHE DI RECENTE INTRODUZIONE	MATERIALI NATURALI	MATERIALI BIODEGRADABILI	MATERIALI ARTIFICIALI
1	NATURALITÀ CRESCENTE	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 Impiego preferenziale  
 x Impiego 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: naturali, biodegradabili, artificiali" si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti (es. chiodo in ferro acciaioso nella palificata viva in legno)*

# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di opere geotecniche di rivestimento

Le opere di **rivestimento** agiscono coprendo e proteggendo il terreno. Tali interventi migliorano inoltre il bilancio dell'umidità e del calore favorendo lo sviluppo della vita vegetale sia nel terreno che nello strato aereo prossimo al suolo. Gli strati con copertura di paglia offrono già prima dell'attecchimento della vegetazione (graminacee, erbe non graminoidi, piante legnose) una protezione contro le precipitazioni. Gli interventi di rivestimento vanno quindi impiegati laddove è richiesta una **protezione rapida della superficie**.

I metodi di **semina** saranno manuali o meccanizzati.

In tutti i metodi di semina descritti possono essere applicate in aggiunta **bioreti, biostuoie, biofeltri, geocelle, geostuoie, georeti**.

Questi accorgimenti hanno costi notevolmente più alti e pertanto il loro impiego deve essere motivato da evidente ed elevato **pericolo di erosione**.

# Tabella - Opere di rivestimento (da Schiechl e Stern, 1992)

METODI	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Zolle erbose</b>	consolidamento di luoghi minacciati da erosione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vegetazione in equilibrio con la stazione</li> <li>• effetto immediato</li> <li>• posa in opera semplice e rapida</li> </ul>	provvista di zolle erbose difficile
<b>Manto erboso pronto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• scarpate spondali</li> <li>• fossi rivestiti con zolle</li> <li>• scarpate pianeggianti</li> <li>• aree da rimodellare</li> </ul>	effetto immediato	necessità di terreno vegetale
<b>Semine manuali:</b>			
<b>semina con fiorume</b>	in località ad alta quota, dove la natura è protetta, in combinazione con altri metodi di semina	miscugli di manto erboso in equilibrio con la stazione, ricchi di specie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• provvista del fiorume difficile</li> <li>• il terreno coltivabile ne è la premessa</li> </ul>
<b>semina con miscuglio standard</b>	su terreno coltivato come manto erboso permanente o intermedio	semina rapida, semplice, è la più conveniente	il terreno vegetale umifero, ricco di sostanze nutritive, ne è la premessa
<b>Semine meccanizzate:</b>			
<b>idrosemina tipo "nero-verde"</b>	rinverdimento meccanizzato di scarpate ripide con terreno grezzo	adatto per quote elevate	procedimento complicato e costoso
<b>idrosemina tipo "bianco-verde"</b>	rinverdimento meccanizzato di scarpate ripide con terreno grezzo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• procedimento rapido e semplice</li> <li>• possibile impiego di macchinari</li> <li>• riporto di tutti i componenti in un unico processo di lavorazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• il cantiere deve essere percorribile con veicoli</li> <li>• limitato raggio d'azione delle macchine</li> <li>• su stazioni aride (pendii soleggiati), esito della crescita incerto</li> </ul>
<b>idrosemina a spessore o con mulch</b>	consolidamento su vaste aree di scarpate in trincea o di scarpate arginali con terreno minerale sterile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• il miglior effetto ecoclimatico</li> <li>• germinazione rapida e sicura (effetto serra) e sviluppo</li> <li>• formazione di uno strato di humus</li> <li>• protezione meccanica della superficie del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• più cicli di lavoro</li> <li>• nei cantieri d'alta quota gli strati di copertura marciscono lentamente</li> </ul>

# Tabella - Opere di rivestimento (da Schiechl e Stern, 1992)

METODI	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Semina di specie arboree e arbustive oltre a specie erbacee</b>	per creare soprassuoli legnosi e completare altre sistemazioni biotecniche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conveniente</li> <li>• conforme alla natura</li> <li>• utilizzazione su aree dove non si possono eseguire piantagioni</li> </ul>	sviluppo lento
<b>Semina su reti di protezione contro l'erosione</b>	scarpate ripide, scarpate su sabbia, scarpate su sponde	immediata protezione contro l'erosione	dispensioso
<b>Posa in opera di materassi seminati</b>	fossi rivestiti con zolle, scarpate pianeggianti e regolari	protezione immediata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• richiede uno spianamento accurato</li> <li>• è utile disporre di terreno coltivabile</li> </ul>
<b>Posa in opera di mantellate grigliate</b>	creazione di parcheggi, accessi, aree di stazionamento, consolidamento di scarpate basse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sopporta subito carichi</li> <li>• il rinverdimento è possibile durante l'utilizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• richiede molto lavoro</li> <li>• limitata altezza della costruzione</li> </ul>
<b>Copertura vegetale diffusa</b>	consolidamento di scarpate minacciate da erosione, dovuta all'acqua corrente o al vento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• immediatamente efficace</li> <li>• copertura arbustiva densa in poco tempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impiego di molto materiale</li> <li>• limitata altezza della costruzione</li> </ul>

# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di opere geotecniche di rivestimento

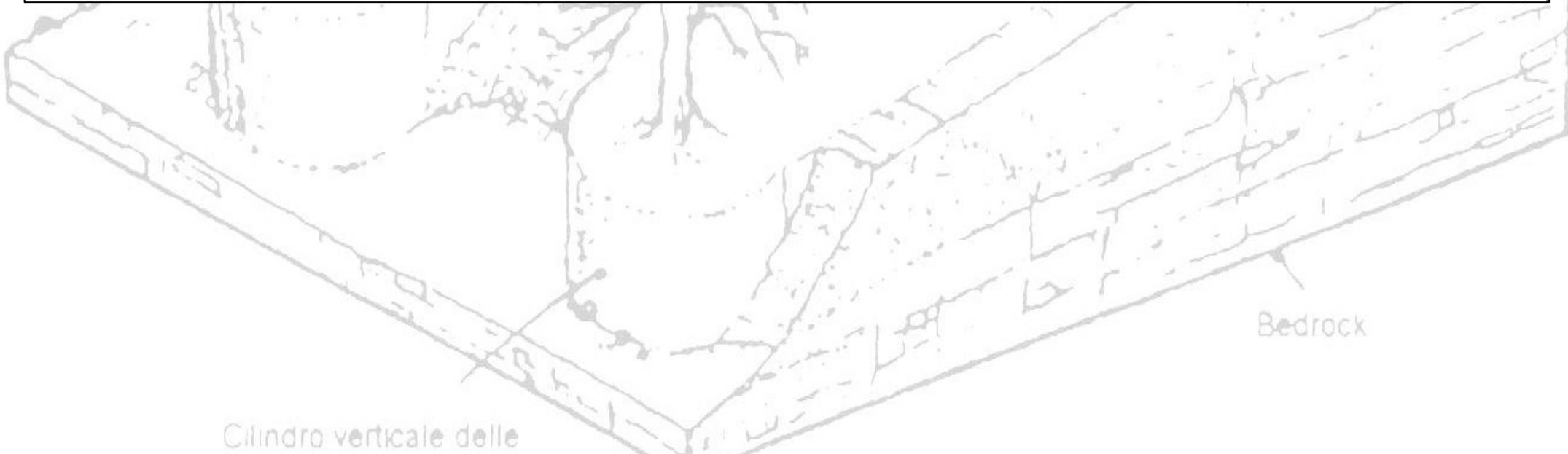
Schematicamente il consolidamento superficiale delle scarpate verrà adottato nei casi indicati in **tabella**.

A titolo riassuntivo si elencano nel successivo schema i **materiali antierosivi** utilizzati per l'Ingegneria Naturalistica.



# Tabella - Criteri di rivestimento di scarpate (da Sauli, 1996)

TIPO SUPERFICIE	ROCCIA	ROCCIA E TERRA	TERRA
<i>Pendenza:</i>			
<b>molto bassa</b> 0° - 15°	riporto di terreno + idrosemina	biostuoia + idrosemina	idrosemina
<b>bassa</b> 15° - 30°	riporto di terreno + idrosemina + biostuoia	georete + idrosemina	idrosemina + biostuoia
<b>media</b> 30° - 45°	riporto di terreno + georete + idrosemina	georete + terreno + idrosemina + biostuoia	georete + idrosemina + biostuoia
<b>alta</b> 45° - 65°	georete + terreno + idrosemina + biostuoia + rete metallica	georete + idrosemina + biostuoia + rete metallica	georete + idrosemina + biostuoia + rete metallica
<b>molto alta</b> > 65°	georete + rete metallica + idrosemina	georete + rete metallica + idrosemina	



# Tabella - Caratteristiche prestazionali di rivestimenti di scarpate (da Sauli, 1996)

Materiali	Massa areica (g/mq)	Durabilità min (anni)	Durabilità max (anni)	Resistenza a trazione min (kN/m)	Resistenza a trazione max (kN/m)
Stuoia o rete di juta	200 - 500	1	2	1	2
Stuoia o rete di cocco	400-900	5	8	5	10
Biostuoia in cocco	300 - 400	0,5	1	0,3	0,5
Biostuoia in paglia	300-400	0,3	0,5	0,3	0,4
Biostuoia in legno	500 - 800	1	2	1,8	2,2
Geostuoia tridimensionale	500 - 800	> 5		1,3	1,8
Geostuoia tridimensionale rinforzata	1500 - 2500	> 5		38	200
Geogriglie	300 - 2200	20	120	30	1000
Geotessuti	80 - 1000	10	50	10	500
Reti metalliche a doppia torsione	1200 - 1750	30	> 100	27	65

Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

**Figura** - *Inerbimenti in cava nel Biellese* (da ALTHALLER, 1998)



mar. '23

Cilindro verticale delle radici ancorate al bedrock

Federico Boc

# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di opere geotecniche stabilizzanti

Le opere **stabilizzanti** consolidano il terreno in profondità nei pendii minacciati da frane, che presentano strati di scivolamento vicini alla scarpata.

L'efficacia di tali interventi è dovuta agli **apparati radicali** delle piante grazie alla loro capacità di legare e consolidare in profondità il terreno, nonché di resistere alle sollecitazioni meccaniche esterne e di drenare il suolo.

L'effetto immediato dipende dalla messa a dimora e dalla densità delle **opere a verde**. Con la formazione di radici, l'efficacia cresce sensibilmente ed aumenta costantemente al crescere dell'età, a seconda dello sviluppo dei singoli interventi. Gli interventi stabilizzanti possono essere puntiformi o distribuiti linearmente, per cui devono essere **completati** per mezzo di interventi di rivestimento (inerbimenti) che esplicano la loro efficacia sull'intera superficie del terreno.

## Tabella - Opere stabilizzanti (da Schiechl e Stern, 1992)

TIPOLOGIE	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Talee</b>	consolidamento e stabilizzazione di scarpate in terra e di muri a secco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• esecuzione rapida e semplice</li> <li>• possibile in tempi successivi</li> </ul>	nessuno
<b>Graticciate o viminate</b>	pronti interventi per consolidare o trattenere il terreno superficiale	effetto immediato	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevato consumo di materiale</li> <li>• modesto effetto in profondità</li> <li>• sensibile alla caduta di sassi</li> </ul>
<b>Fascinate vive</b>	rinsaldamento del terreno e stabilizzazione di scarpate profonde ed acquifere	effetto di prosciugamento e di ritenuta idrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• non si possono impiegare rami corti e contorti</li> <li>• sensibile alla caduta di sassi, all'abrasione</li> </ul>
<b>Cordonate (sec. Praxl)</b>	stabilizzazione di scarpate ripide con terreno coerente	stabilizzazione e irrigidimento elevato	grande fabbisogno di materiale
<b>Gradonate:</b>			
<b>con impiego di ramaglia con capacità di propagazione vegetativa</b>	consolidamento e rinsaldamento di argini, rilevati e scarpate in trincea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• semplice esecuzione meccanizzata</li> <li>• buon effetto in profondità</li> <li>• impiego di ogni tipo di rami</li> </ul>	nessuno
<b>con supplementare piantagione di specie arbustive ed arboree pioniere</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• formazione della vegetazione iniziale e finale in un unico processo lavorativo</li> <li>• miglior effetto in profondità</li> </ul>	nessuno
<b>Copertura vegetale con ramaglia</b>	risanamento di fossi di erosione e di burroni torrentizi	effetto durevole	grande fabbisogno di ramaglia viva
<b>Palizzate</b>	risanamento di fossi profondi e stretti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapido da costruire</li> <li>• effetto immediato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• luci e altezze limitate</li> <li>• solo per località poco elevate, con materiale a granulometria fine</li> </ul>

Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

**Figura** - *Gradonate vive in Val Venosta* (da F. Boccalaro, 1994)



# Ingegneria Naturalistica

## Progettazione di opere geotecniche combinate

Le opere **combinata**, in ausilio a quelle stabilizzanti, sono costituite da interventi di difesa dall'erosione, di sostegno di pendii instabili e di consolidamento di fossi ed alvei torrentizi e fluviali.

Possono essere eseguiti in **combinazione con elementi vivi** producendo gli effetti desiderati subito dopo l'ultimazione dei lavori. Mediante la radicazione e lo sviluppo delle piante e delle porzioni di piante vive impiegate, col passare del tempo **aumenta** con continuità il grado di **efficienza** delle opere.

Normalmente gli interventi combinati vengono eseguiti in ordine di tempo **prima** degli interventi stabilizzanti, di copertura e complementari, che invece sono costruiti esclusivamente con materiali vivi.

# Tabella - Opere combinate (da Schiechl e Stern, 1992)

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

TIPOLOGIE	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Muro a secco o scogliera</b>	consolidamento lineare di scarpata (al piede) o di frane di modesta superficie	esecuzione semplice permeabilità idrica elastico, mobile in parte facile da riparare	altezza costruttive limitate
<b>Cuneo filtrante</b>	sostegno di scarpate labili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• economico</li> <li>• in armonia con la natura</li> </ul>	nessuno
<b>Gabbionate</b>	consolidamento lineare del piede del pendio di scarpate bagnate o franose	esecuzione rapida, semplice permeabilità idrica elasticità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rinverdimento successivo difficile</li> <li>• si deve disporre di sassi e di pietrisco grossolano</li> </ul>
<b>Terre rinforzate con geotessili, geogriglie</b>	formazione di scarpate ripide con limitato spazio a disposizione, sostegno di scarpate labili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• effetto immediato</li> <li>• elastico</li> <li>• si adatta bene al terreno</li> <li>• impiego del materiale esistente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a volte sensibile ai raggi UV</li> <li>• limitata altezza costruttiva</li> </ul>
<b>Muri cellulari:</b>			
<b>in legno</b> (palificata di sostegno)	consolidamento lineare del piede del pendio, sostegno di scarpate labili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materiale sul luogo</li> <li>• rapido consolidamento</li> <li>• permeabilità idrica</li> <li>• elastico</li> </ul>	limitata altezza costruttiva
<b>in calcestruzzo</b> (cribwalls)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapido consolidamento</li> <li>• permeabilità idrica</li> <li>• lunga durata</li> <li>• grandi altezze costruttive</li> <li>• elevata capacità di carico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peso elevato</li> <li>• trasporto dei materiali</li> <li>• limitato adattamento al terreno</li> </ul>
<b>Grata a camera in legname e talee</b>	consolidamento di scarpate ripide ed alte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• effetto immediato</li> <li>• molte possibilità di variazione</li> </ul>	nessuno
<b>Canalette in legname e pietrame</b>	drenaggio e regolazione delle acque superficiali		
<b>Chiodature nei terreni</b>	consolidamento di scarpate di rilevati o trincee, pendii franosi e fronti di scavo in terreni sciolti o rocce alterate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• effetto immediato</li> <li>• nessuna necessità di piste di servizio</li> <li>• tempi esecutivi ridotti</li> <li>• elevata profondità di consolidamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lunga durata costruttiva difficile da garantire</li> <li>• attrezzature sofisticate</li> </ul>

**Figura** - *Efficacia di una sistemazione in Val Venosta (BZ)* (da F. Boccalaro, 1994)

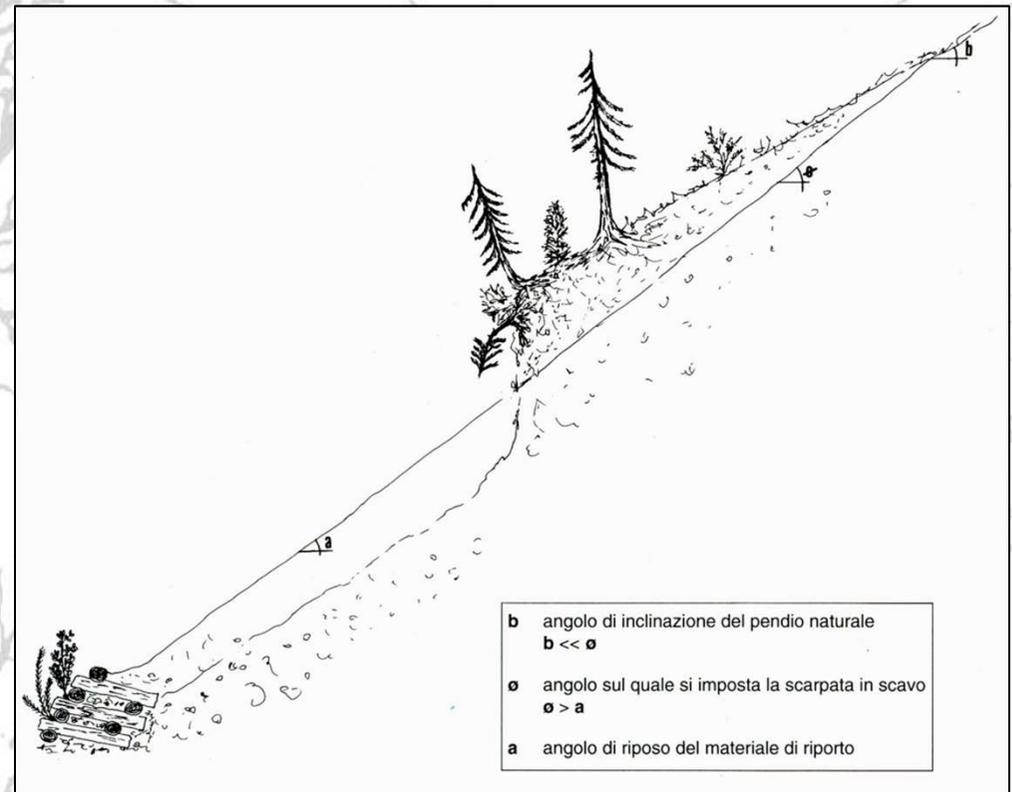


# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici di rivestimento - stesura di terreno vegetale normale

Ricostituzione di un sufficiente **supporto organico**, di spessore comunque limitato, con sistemi diversificati in funzione dell'accessibilità, sulle **scarpate sterili** caratterizzate da litosuoli e nelle fenditure comprese tra i massi che costituiscono muri o scogliere. In particolare:

- dove è possibile accedere con autocarri, la terra vegetale viene distribuita dall'alto, per uno **spessore medio di 10 cm**;
- il composto da stendere è addizionato con composti organici **additivati** di opportuna natura.



Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - *Stesura di terreno vegetale normale* (da F. Boccalaro, 1994)

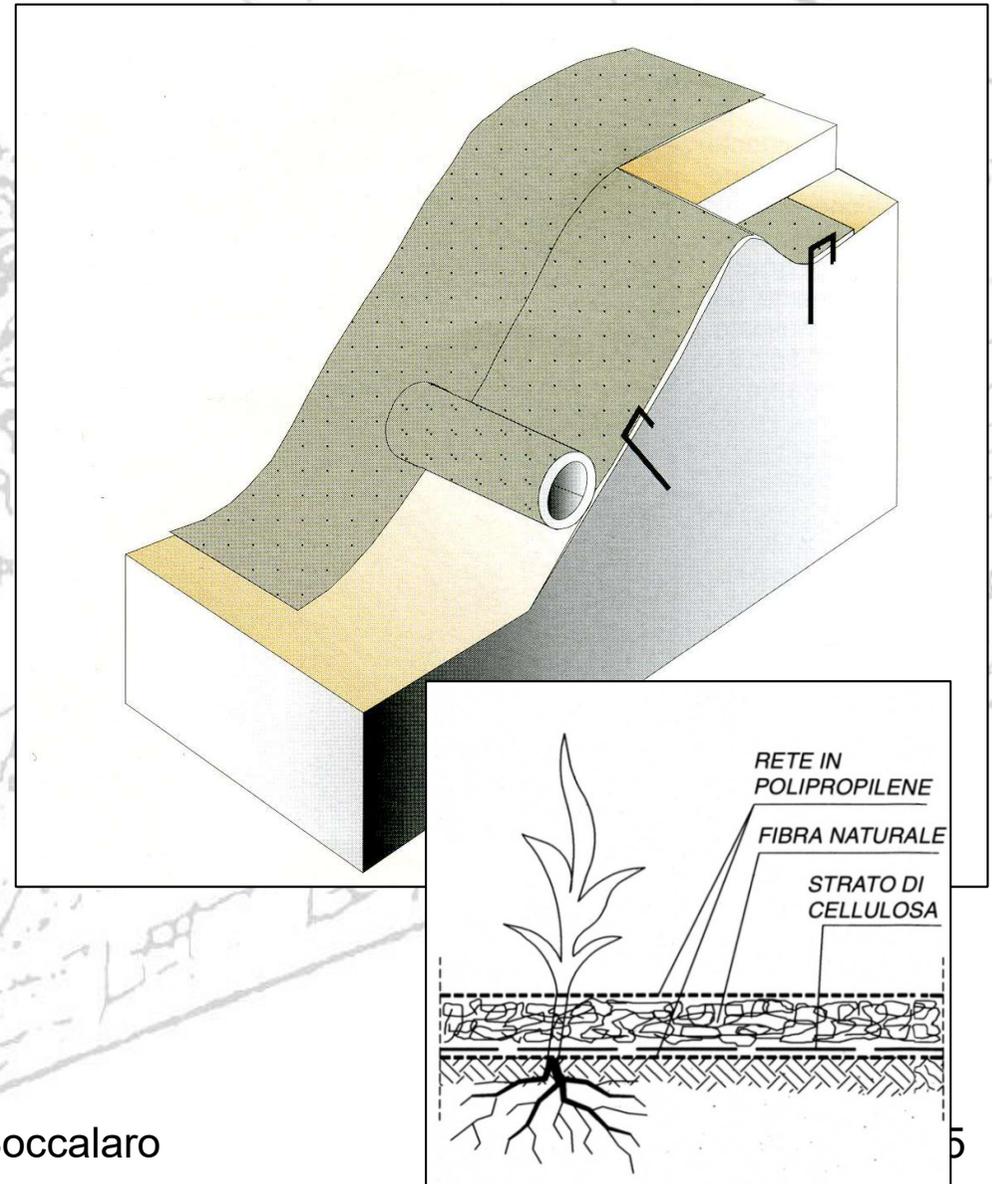


# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici di rivestimento - rivestimento vegetativo naturale con stuoie, feltri, reti

Il panorama dei rivestimenti bionaturali disponibili sul mercato è vasto e articolato; è comunque possibile distinguere, in base all'aspetto fisico ed all'uso cui sono destinati, alcuni grandi categorie.

1. **Biostuoie** di juta, di cocco, di paglia, di truciolare di legno o di altre fibre vegetali. - Sono costituite da uno strato di fibra vegetale (grammatura minima  $300 \text{ g/m}^2$ ) trattenuto da una reticella di materiale biodegradabile o sintetico (maglia minima  $1 \times 1 \text{ cm}$ ) e/o da una pellicola di cellulosa. Le biostuoie hanno uno spessore di una decina di mm e sono disponibili in rotoli.



**Figura** - Rivestimento vegetativo naturale con stuoie in fibra di paglia (da Maccaferri)

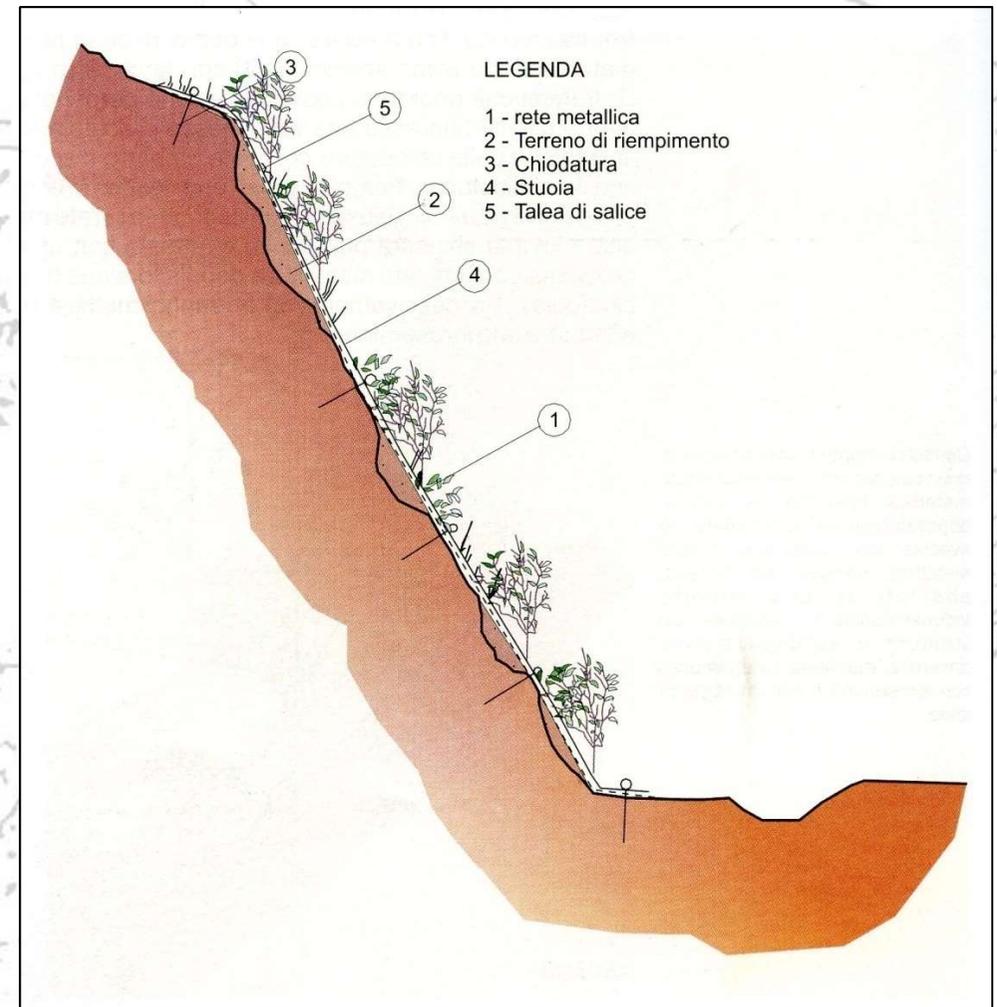


# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici di rivestimento - rete metallica e geostuoie o biostuoie / biofeltri

Usualmente, per pendii in terra o roccia alterata, la rete metallica è abbinata e sovrapposta a uno dei rivestimenti vegetativi descritti nel relativo paragrafo.

La **rete metallica a doppia torsione** avrà una maglia esagonale tipo 6x8 in accordo alle UNI-EN 10223-3, tessuta con trafilato di ferro, conforme alle UNI-EN 10223-3 per le caratteristiche meccaniche e per le tolleranze sui diametri, a forte **zincatura**, quantitativo minimo di zinco pari a 260 g/mq, conforme a quanto previsto dalle UNI-EN 10223-3 e alla Circolare del Consiglio



**Figura** - Scarpata in roccia arenacea a 45° con rivestimento vegetativo e stuoia organica presso stazione FS, Tarvisio-Boscoverde (UD) (da G. Sauli, 2000)

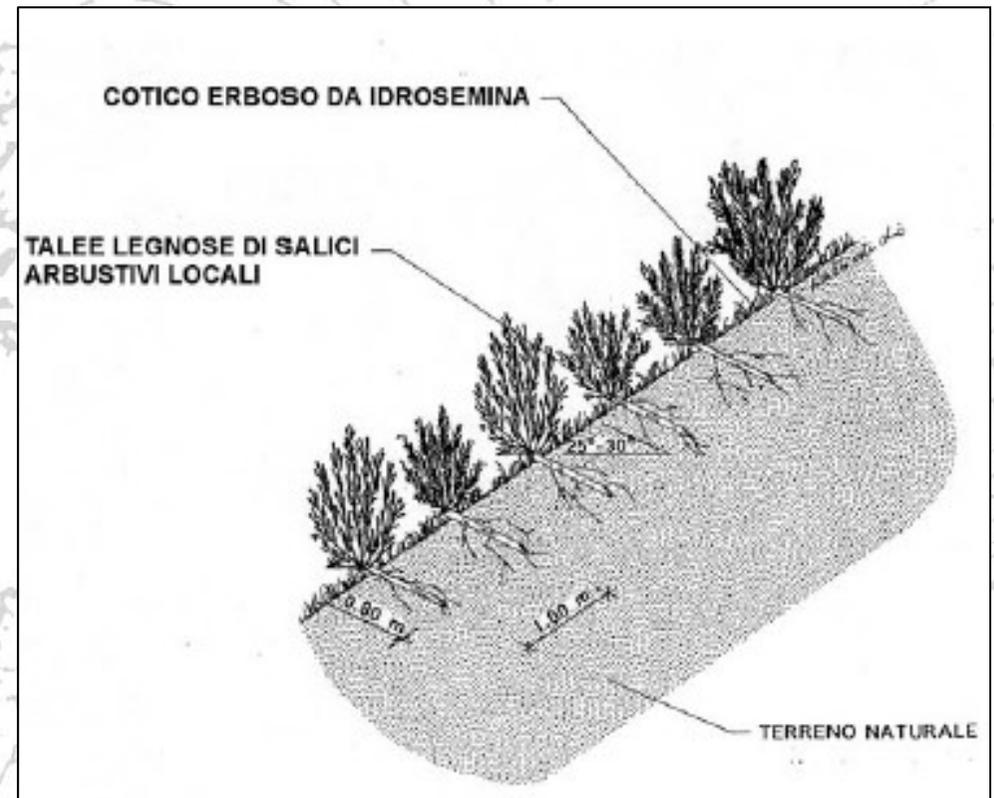


# Ingegneria Naturalistica

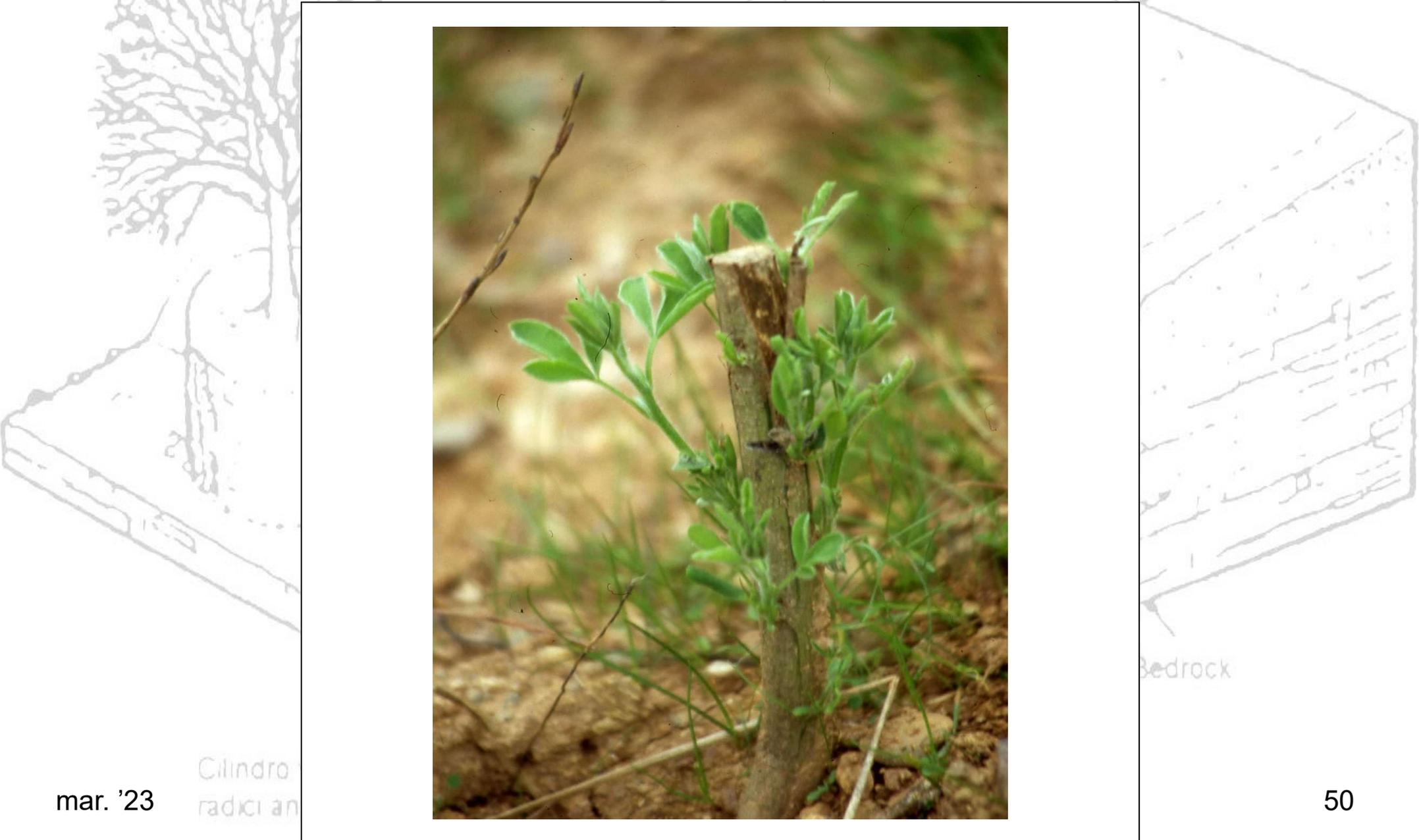
## Interventi geotecnici stabilizzanti - infissione di talee

I materiali impiegati constano di **talee** di due o più anni di età (lunghezza minima di 50-80 cm e diametro 2-5 cm), **astoni** (rami  $L = 100-300$  cm, dritti e poco ramificati di Salici) e **verghe e ramaglie vive** (rami sottili  $L = 1-5$  m e diametro 1-3 cm di Tamerici).

Per la posa in opera di talee nel suolo, mentre un operaio esegue con un piede di porco o con un ferro appuntito dei **fori** nel terreno, estraendolo di nuovo lentamente, un secondo operaio infila la talea nel foro e comprime la terra tutt' intorno. Le talee non vengono **assestate** con una mazza, ma per questo scopo la superficie di taglio basale deve essere obliqua.



**Figura** - *Particolare talea di Salice, prima fase di sviluppo fogliare*  
(da F. Boccalaro)



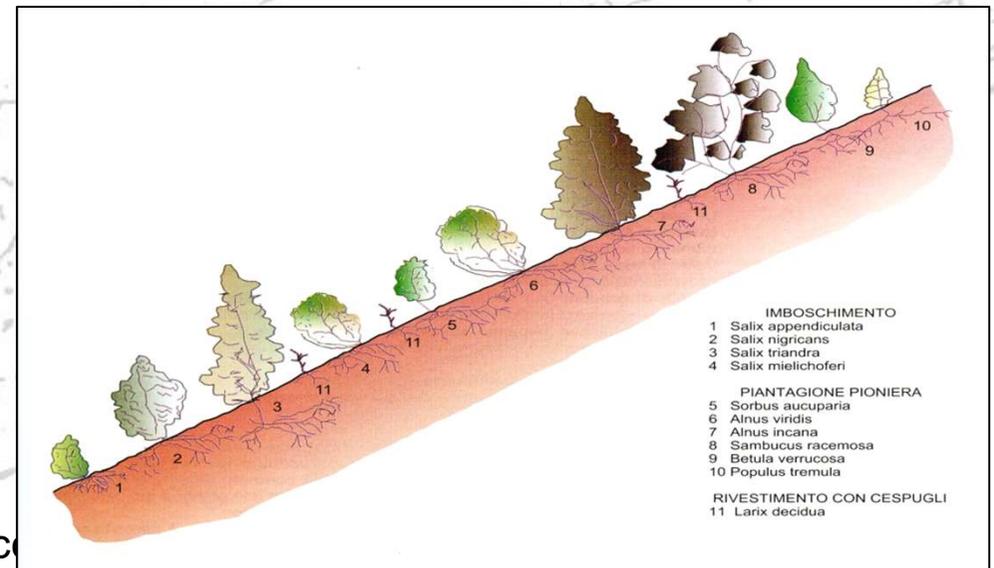
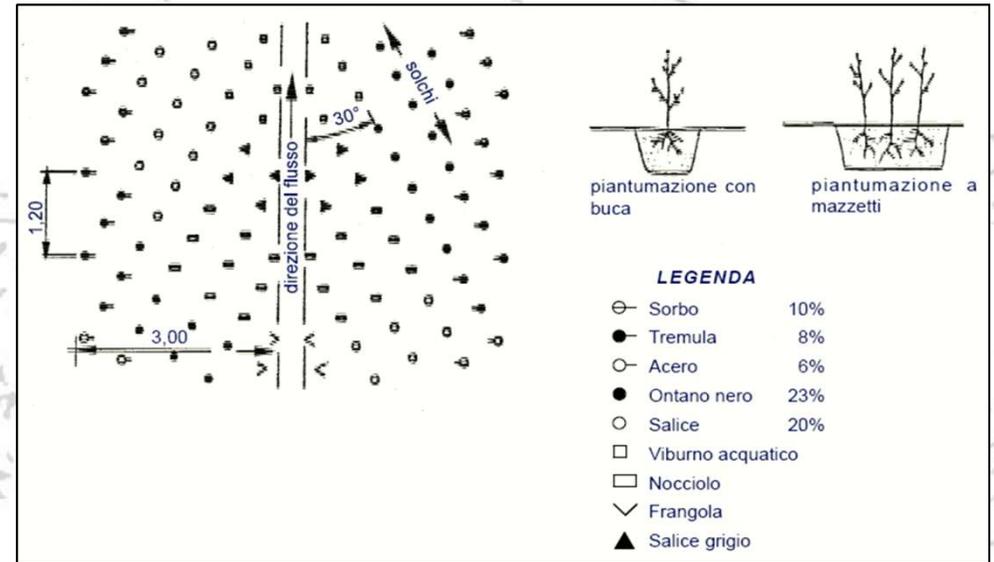
mar. '23

Cilindro  
radici an

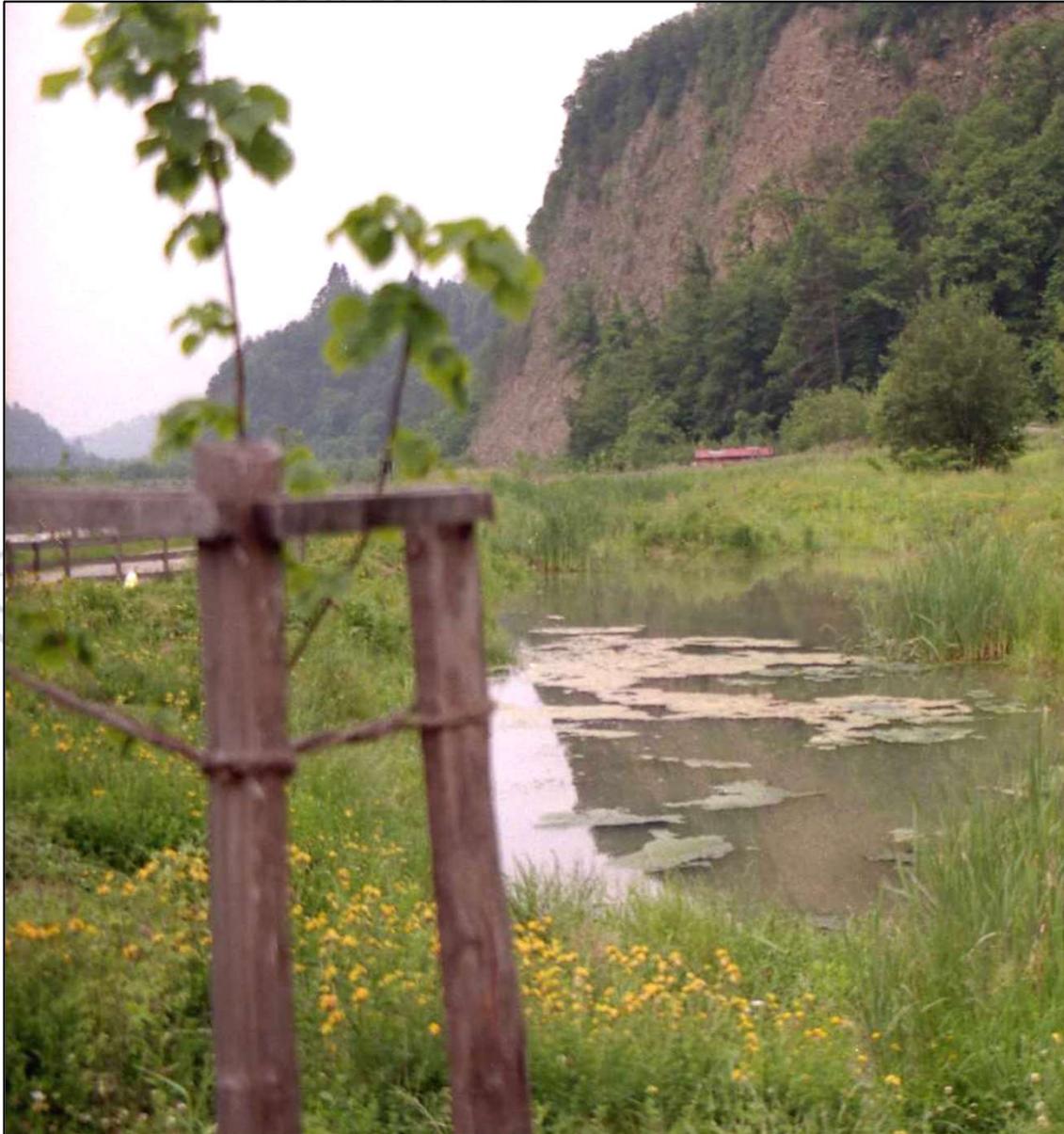
# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici stabilizzanti - piantazione di alberi e arbusti

Fornitura e messa a dimora di **alberi** e/o **arbusti** autoctoni da vivaio, con certificazione di origine del seme, in ragione di 1 esemplare ogni 3÷20 m<sup>2</sup> (arbusti) e 5÷30 m<sup>2</sup> (alberi) aventi **altezza** minima compresa tra 0,30 e 1,20 m (arbusti) e 0,50÷1,50 m (alberi), previa formazione di **buca** con mezzi manuali o meccanici di dimensioni prossime al volume radicale per la **radice nuda** o dimensioni doppie nel caso di **fitocelle**, **vasetti** o **pani di terra**. Il terreno sottostante deve essere **smosso** con una sbarra di ferro, per evitare un successivo ristagno idrico nella buca.



**Figura** - Arbusti con tutori a Bolzano e a Cadibona (SV) (da F. Boccalaro)



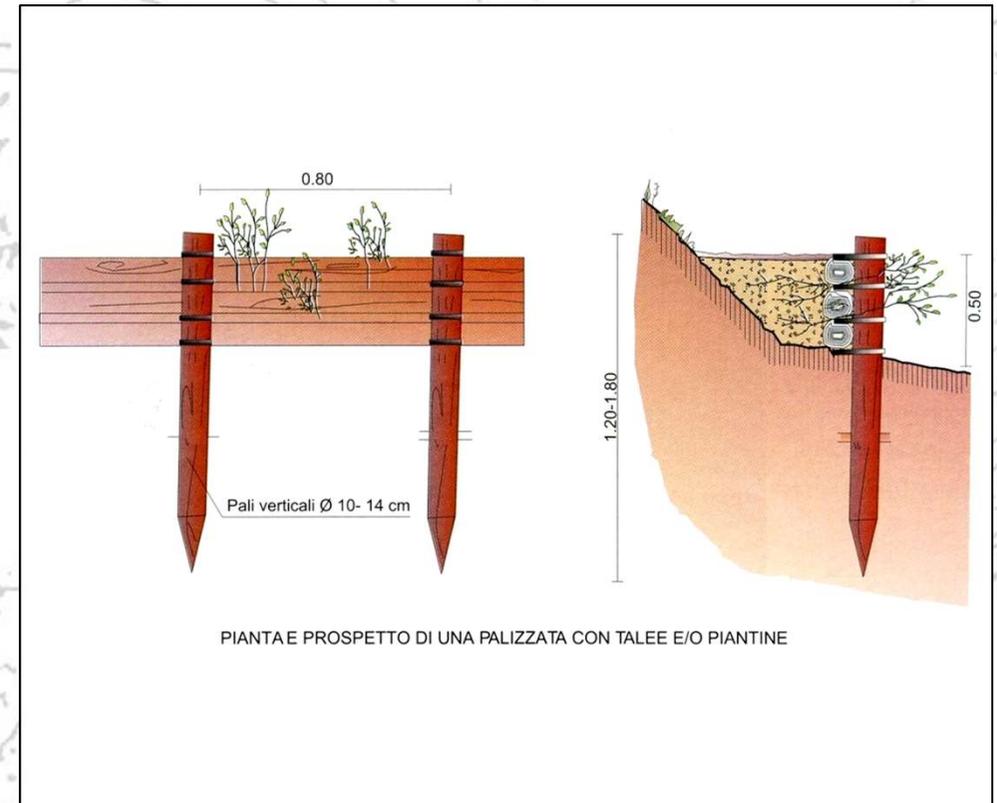
aloro

# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici stabilizzanti - steccato vivo

Lo steccato vivo utilizza i seguenti materiali:

- paleria di larice o di castagno: lunghezza = 1,5 m, diametro = 15÷20 cm;
- "sciaveri" (mezzi tronchi): lunghezza > 2 m, diametro = 10 cm;
- talee di salice: lunghezza > 80 cm;
- filo di ferro zincato: diametro = 3 mm.



# Ingegneria Naturalistica

## Realizzazione di interventi geotecnici stabilizzanti - steccato vivo

Le modalità di esecuzione comprendono:

- preparazione del terreno e **modellamento** del pendio;
- infissione nel terreno di **pali** di larice o di castagno alla distanza di 1÷2 m, per una profondità di 1 m, in modo che restino sporgenti 50 cm;
- posa in opera di **mezzi tronchi** di larice o di castagno aventi lo scopo di trattenere il materiale di risulta posto a tergo dell'opera stessa, e loro fissaggio con filo di ferro zincato o chiodi zincati;
- messa a dimora delle **talee** o di piantine radicate.

Una struttura simile è quella realizzata con 2 pali verticali e 1÷2 orizzontali, appoggiati a tergo in modo da formare sul pendio una sorta di **gradone**. Anche in questo caso vengono messe a dimora delle talee di salice in numero congruo, ma su di un'unica fila.

Queste palizzate, della lunghezza di 2÷3 m, vanno disposte in modo **irregolare** lungo il versante così da esercitare in maniera più efficace la loro funzione di consolidamento del terreno.

Suolo che fa da contrafforte      Zona con effetto arco

**Figura** - *Steccato vivo in Val Venosta* (da F. Boccaslaro, 1994)



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### PREMESSA

La **Soprintendenza Archeologica** per l'Area Metropolitana di Roma ha avviato in data 15/07/2021 lavori di somma urgenza di ripristino e messa in sicurezza dei monumenti archeologici "Ninfeo Dorico e "Ninfeo Bergantino" in Comune di Castel Gandolfo.

La stessa Soprintendenza, in accordo con le raccomandazioni del Parco Regionale dei Castelli Romani e di ISPRA-MinAmbiente, intende promuovere nel suo territorio l'uso di tecniche di **Ingegneria Naturalistica** per la difesa del suolo e il restauro ambientale di aree con vocazione al turismo archeologico sostenibile.

A tale scopo si è avvalsa della collaborazione di un tecnico esperto di Ingegneria Naturalistica quale l'ing. Federico Boccalaro (presidente **A.I.P.I.N.** Lazio, consigliere nazionale **Archeoclub** d'Italia, socio esperto **SIGEA** e presidente di Commissione I.N. all'**Ordine degli Ingegneri di Roma**) per applicare, intorno ai siti archeologici "Ninfeo Dorico" e "Ninfeo Bergantino" in Comune di Castel Gandolfo, alcune sistemazioni di versante e di drenaggio a basso impatto ambientale. Patrocinio di Archeoclub d'Italia, AIPIN e Sigea.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### BENE CULTURALE, NATURA E PAESAGGIO - CITAZIONI

Per la scrittrice e poetessa **Marguerite Yourcenar**, sono tempo e natura i due attori principali del processo di ruderizzazione, i due grandi scultori che modellano e aggiungono valore estetico ai resti delle opere dell'uomo.

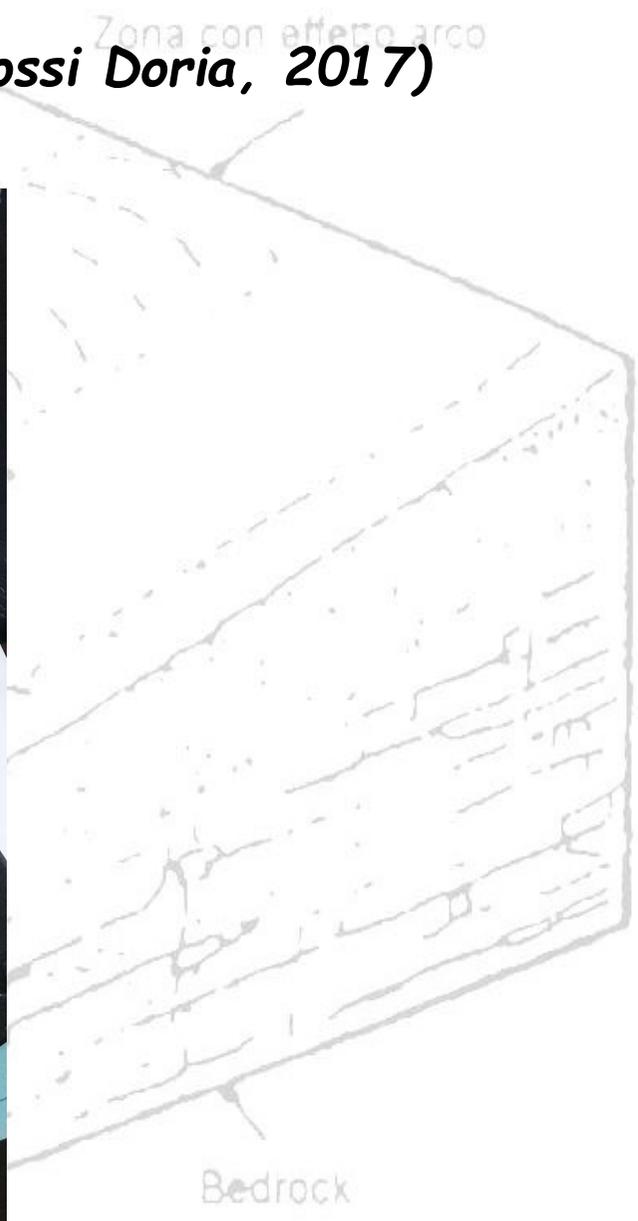
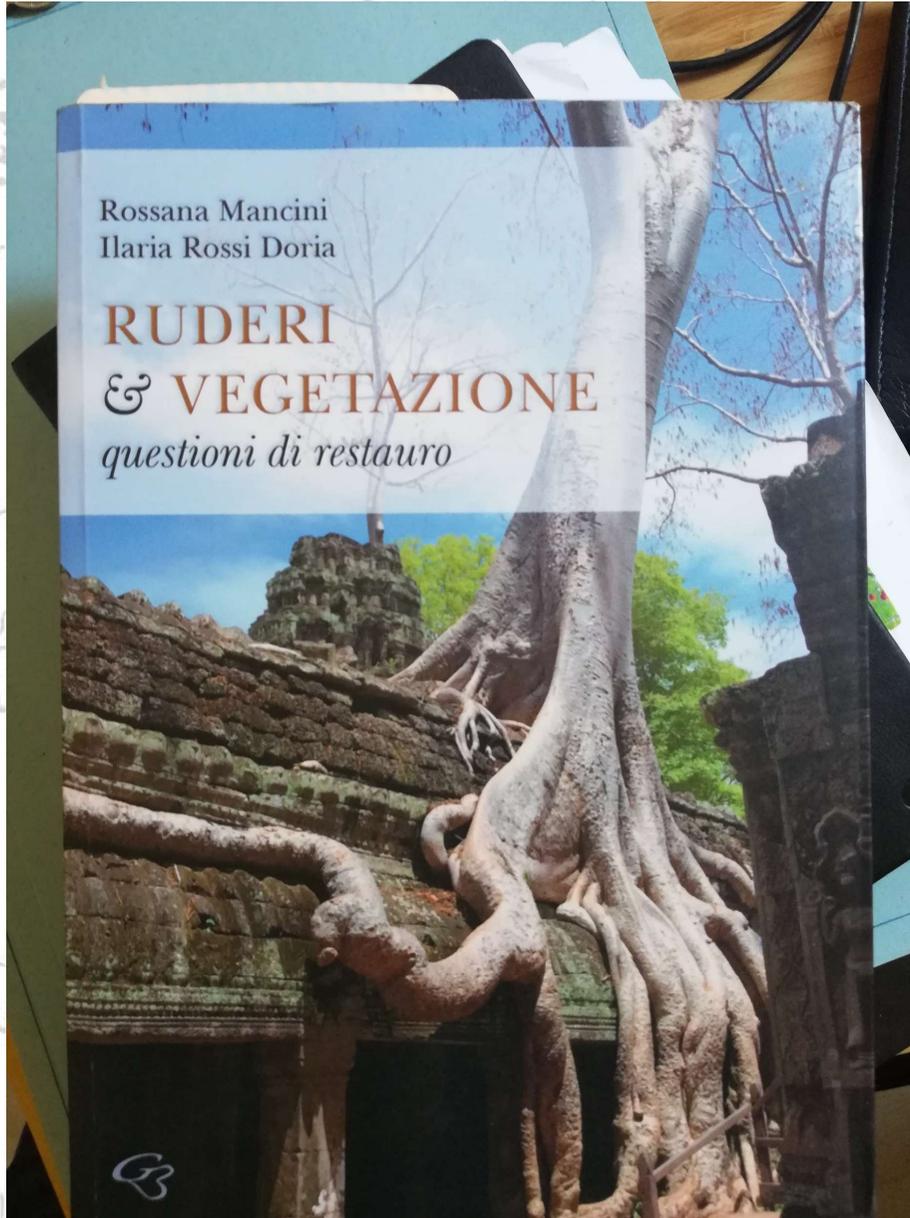
Il legame fra il rudere e il paesaggio è molto forte negli scritti dello storico dell'arte **Cesare Brandi**. Della visita svolta a Sovana (GR), egli ricordò di aver trascorso il tempo misurando tombe rupestri «sparse in un paesaggio che sta fra l'Arcadia e Poussin». Il rimando a Poussin è significativo in quanto entrambi considerano il monumento archeologico parte integrante del paesaggio.

**Giacomo Boni**, figura isolata e complessa di architetto, archeologo e giardiniere, scriveva ("Flora monumentale", 1896 e "La flora delle ruine", 1917) sulla possibilità di far convivere i resti architettonici e la vegetazione attraverso la scelta di specie particolarmente adatte allo scopo.

Ma se la vegetazione, come la patina, accresce la bellezza della rovina è pur vero che, per conservare questo connubio, è necessario un intervento che **controlli l'interazione rudere-natura** perché la seconda non prenda il completo sopravvento sul primo.

Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

**Figura** - «**Ruderi e Vegetazione**» (da **Ilaria Rossi Doria**, 2017)



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### BENE CULTURALE, NATURA E PAESAGGIO - TECNICHE TRADIZIONALI

Partendo dai riconoscimenti **Unesco**, come patrimoni dell'umanità, delle isole galleggianti a salici "chinampas" (1987, Messico) e dei "muretti a secco" in pietrame (2018, Italia e altri paesi mediterranei), è auspicabile diffondere e salvaguardare, come beni culturali e ambientali, tutte le tecniche tradizionali di difesa del territorio, che traggono origine in Italia dalle antiche civiltà etrusca e romana, dal mondo tradizionale contadino, dall'arte dei giardini, dalle passate attività del Corpo Forestale dello Stato.

Viminate, fascinate, gradonate, cordonate, palificate, palizzate, schermature, terrazzamenti, ecc., sono tutte tecniche di **ingegneria naturalistica** ecocompatibili, basate sull'impiego combinato di piante e materiali naturali, ispirate e aggiornate ai più moderni criteri di rinaturazione, utili a consolidare il suolo, regimare le acque, ripristinare l'ambiente naturale.

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - isole galleggianti a salici «chinampas» (1987, Messico)



Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

## Figura - «vimate» (da I.R.F. Matera, 1921)

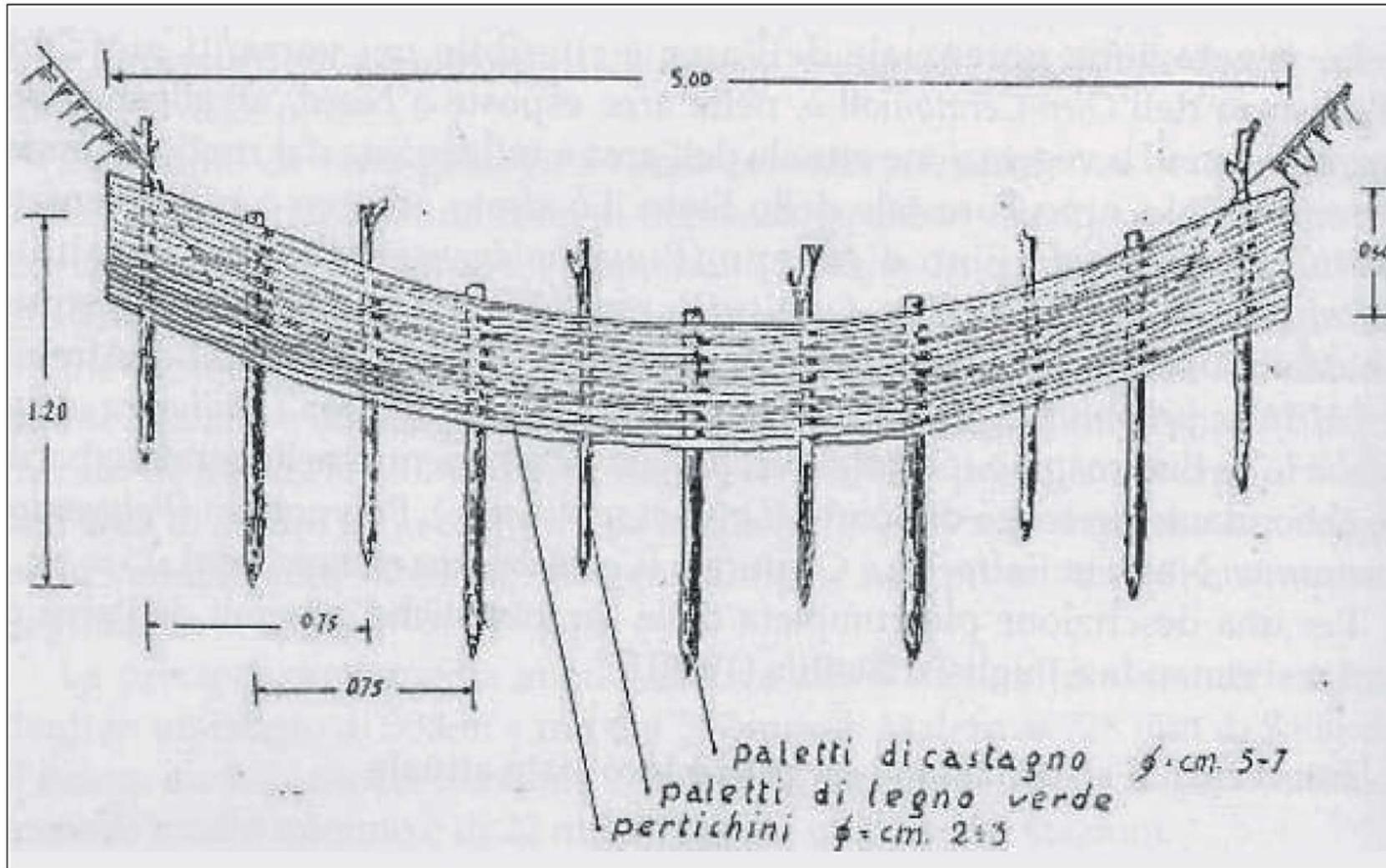


Figura 7 – Piccola briglia in legname con rinterro artificiale a monte (Isp. Rip. delle Foreste, Matera)

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI ARCHEOLOGICI

I due ninfei sulla riva del lago sono strutture affascinanti quanto misteriose.

Il **ninfeo Dorico** fu riscoperto probabilmente nel 1723, poiché se ne trova menzione in una memoria di Francesco de' Ficoroni (lo scopritore della celebre «Cista Ficoroni»). Entrambi i ninfei furono raffigurati da **Giovanni Battista Piranesi**.

Il ninfeo dorico è datato all'**età repubblicana**. Presenta infatti analogie con quello di Egeria alla Caffarella, Appio-Latino: probabilmente anche il ninfeo dorico era un tempietto, magari costruito sui luoghi dell'antica Alba Longa.

Al di là della funzione di questa struttura, che rimane oscura, il ninfeo si presenta come uno spazio rettangolare su cui si aprono due bracci di nicchioni disposti su due **ordini**. L'ordine del primo piano è dorico (da cui il nome del ninfeo), quello del secondo piano ionico. I due bracci hanno 7 ed 11 nicchie. Al centro, di fronte a chi entra nel ninfeo, c'è un arco che introduce a delle grotte naturali, probabilmente un'**antica sorgente**.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

Il ninfeo del Bergantino deve il suo nome ad un antico proprietario (secondo il Lugli) oppure alla corruzione del vocabolo "brigantino", tipologia di veliero, dato che la grotta del ninfeo poteva essere usata come rimessa di barche.

Consiste in un complesso di grotte naturali riadattate all'uso dell'uomo. Le pareti sono state rivestite da una muratura in *opus mixtum*, che denuncia la datazione domiziana della struttura. Tuttavia i costruttori ebbero l'accortezza di lasciare un'intercapedine tra la viva roccia di peperino e la muratura, per evitare le infiltrazioni di umidità. I pilastri e le volte di rinforzo sono in laterizi, il grande arco dell'ingresso alla grotta in «bipedali». La conformazione, apparentemente dimessa e casuale ma in realtà fortemente riadattata dall'uomo, è un'altra spia dell'attribuzione a Domiziano del ninfeo.

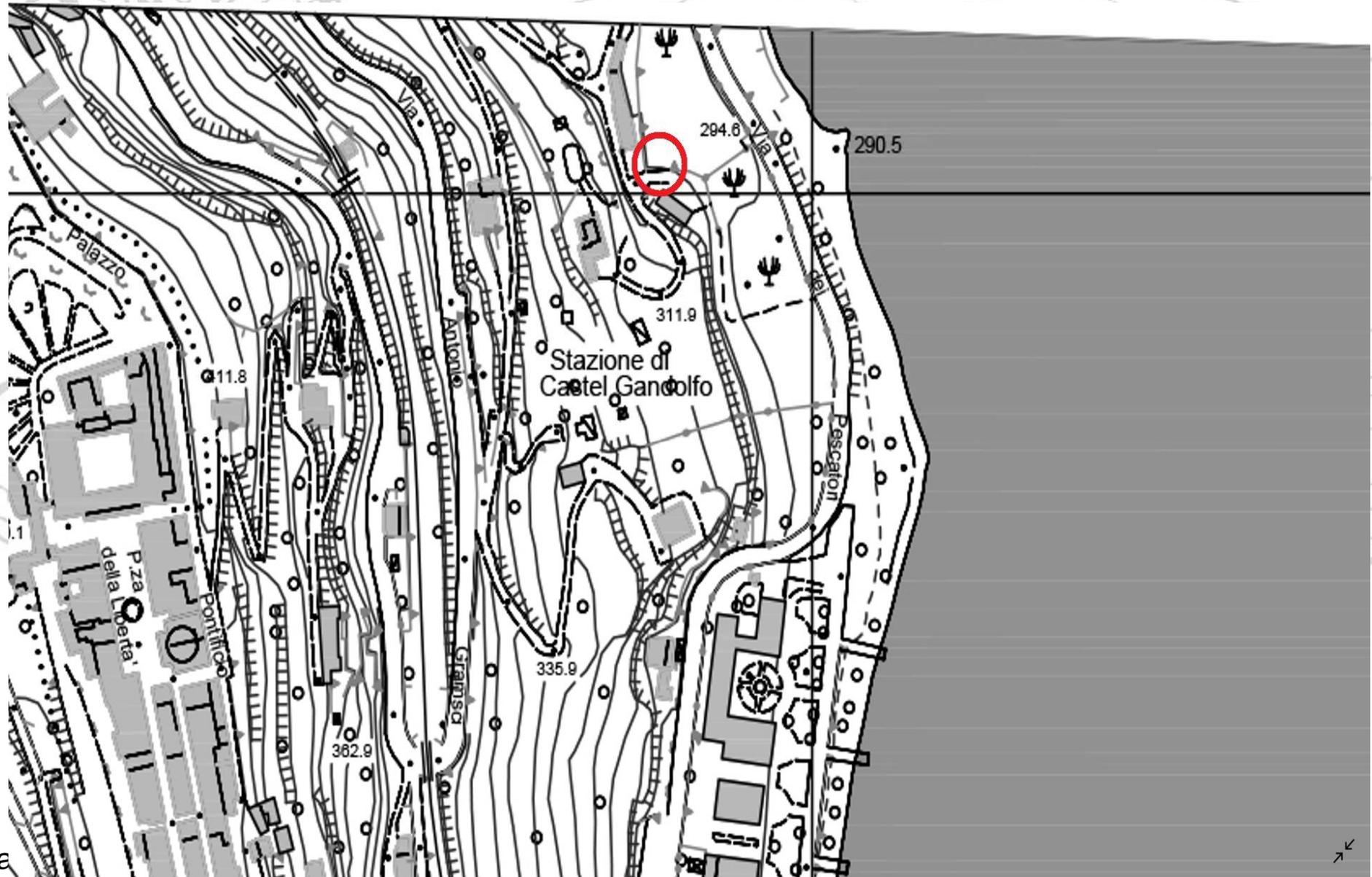
La grotta principale ha un diametro di 17 metri; l'arco d'ingresso è alto una decina di metri; il bacino della grotta principale è largo 13 metri e profondo 25, e presenta un canale di sversamento al lago.

Nel 1841 alcuni scavi, avviati prima abusivamente e poi sotto il controllo del cardinale Camerlengo, portarono alla luce abbondanti reperti di statue e mosaici, in parte conservati presso le Ville pontificie di Castel Gandolfo.

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

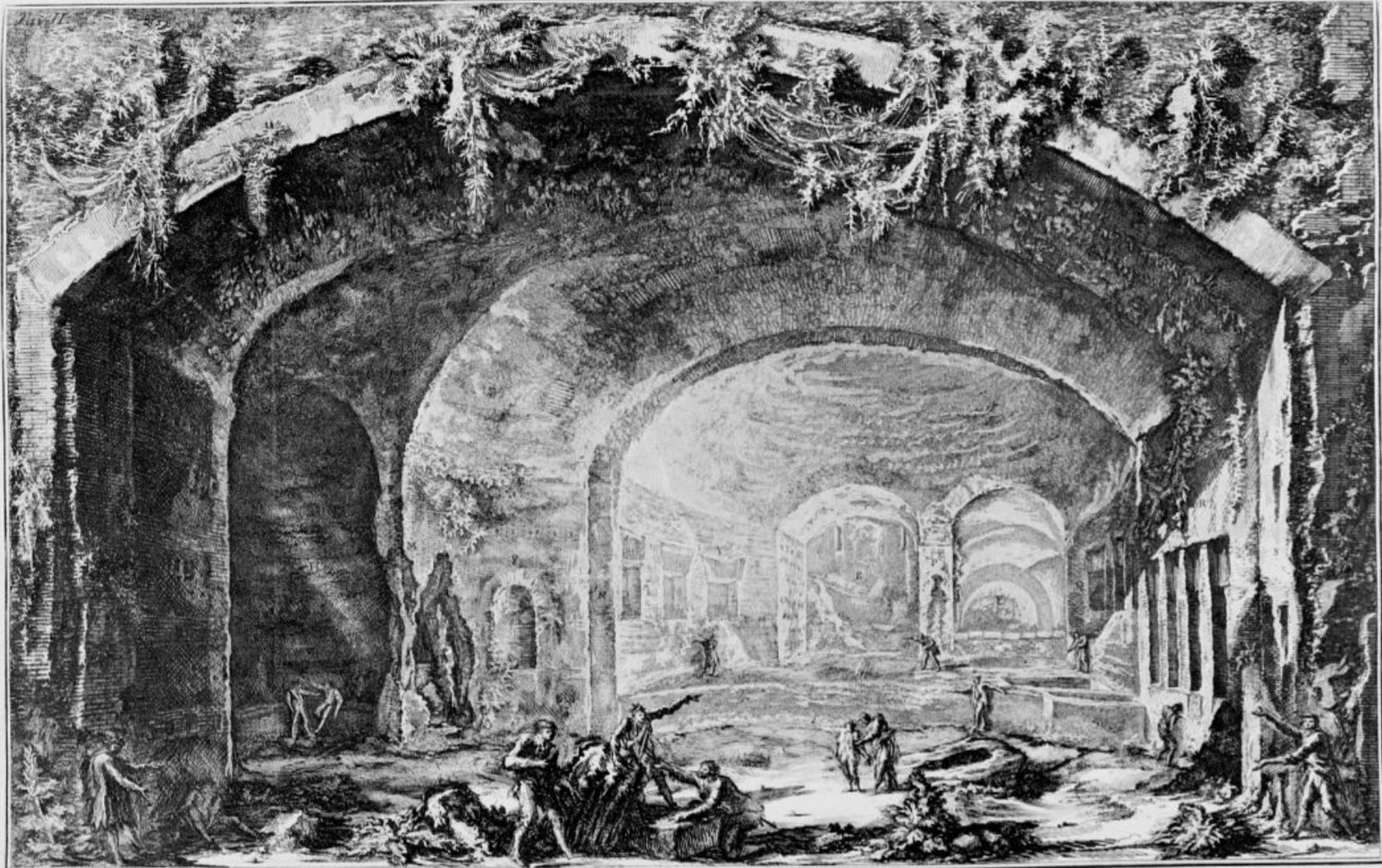
**Figura** - **Ninfeo «Bergantino»** (da Comune di Castel Gandolfo, 2022)



Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura - Ninfeo «Bergantino»** (da G.B. Piranesi, 1762)



*Veduta della Spelonca, detta il Bergantino, presso l'imbocco dell' Emissario del Lago Albano, ornata dagli Antichi, ed accennata nella Tavola I. de' disegni dell' Emissario medesimo alla fig. I. Lett. D.*

Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

**Figura** - Ninfeo «Bergantino» (da F. Boccalaro, 2022)



Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

**Figura** - **Ninfeo «Dorico»** (da Comune di Castel Gandolfo, 2022)

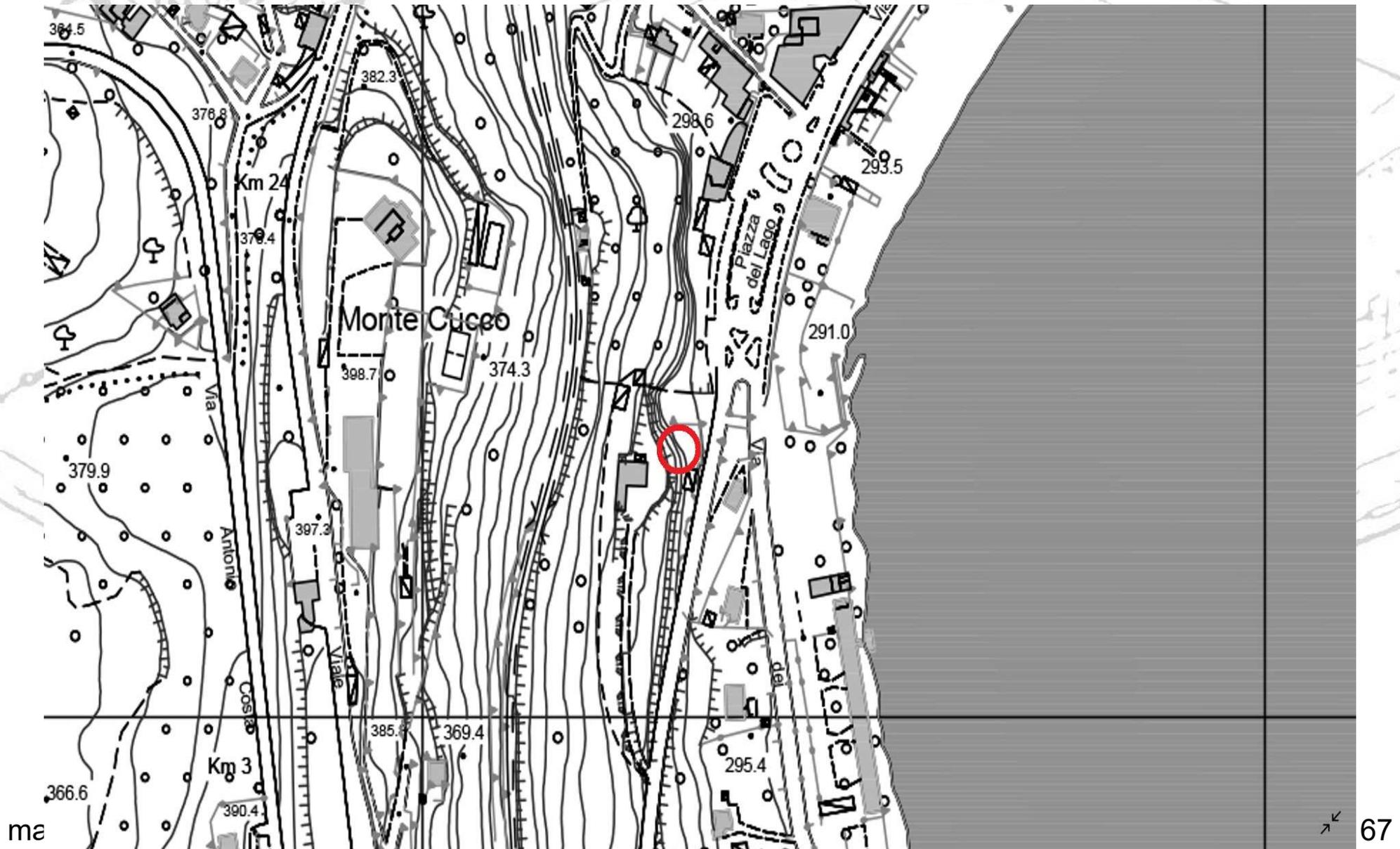
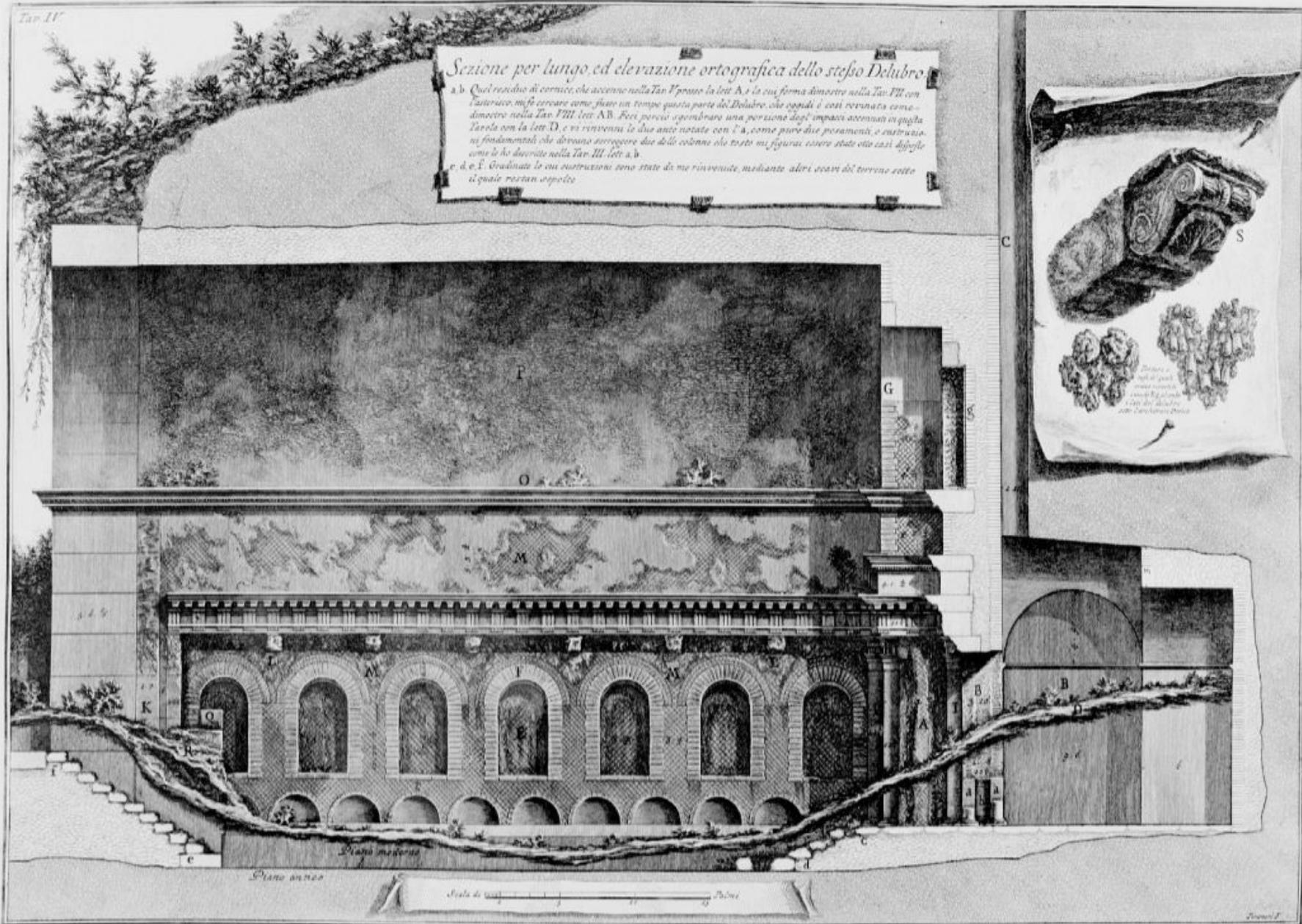


Figura - Ninfeo «Dorico» (da G.B. Piranesi, 1762) effetto arco



ma

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura - Ninfeo «Dorico»** (da F. Boccalaro, 2022)



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI GEOLOGICI

Intervallo di quota prevalente 292-454 m s.l.m. (305-325 m s.l.m. nel tratto in esame). Superfici a pendenza da forte a scoscesa (>30%, fino a 180% nel tratto in esame). Esposizione EST.

Dal punto di vista geologico le successioni vulcaniche che si osservano nel bordo interno del cratere sono costituite da una prima sequenza basale di prodotti dell'attività del Vulcano laziale precedente le esplosioni del maar, che nell'area craterica sono stati completamente asportati, cui si sovrappongono i depositi stratificati delle sette eruzioni, alternati a paleosuoli generati durante le fasi di inattività.

Si tratta di **depositi piroclastici coerenti** (tufi) ed incoerenti.

La Carta Geolitologica mostra lave, piroclastiti e ignimbriti (vedi figura).

La Carta del Catalogo Frane mostra vicinanza con frane diffuse (vedi **figura**).

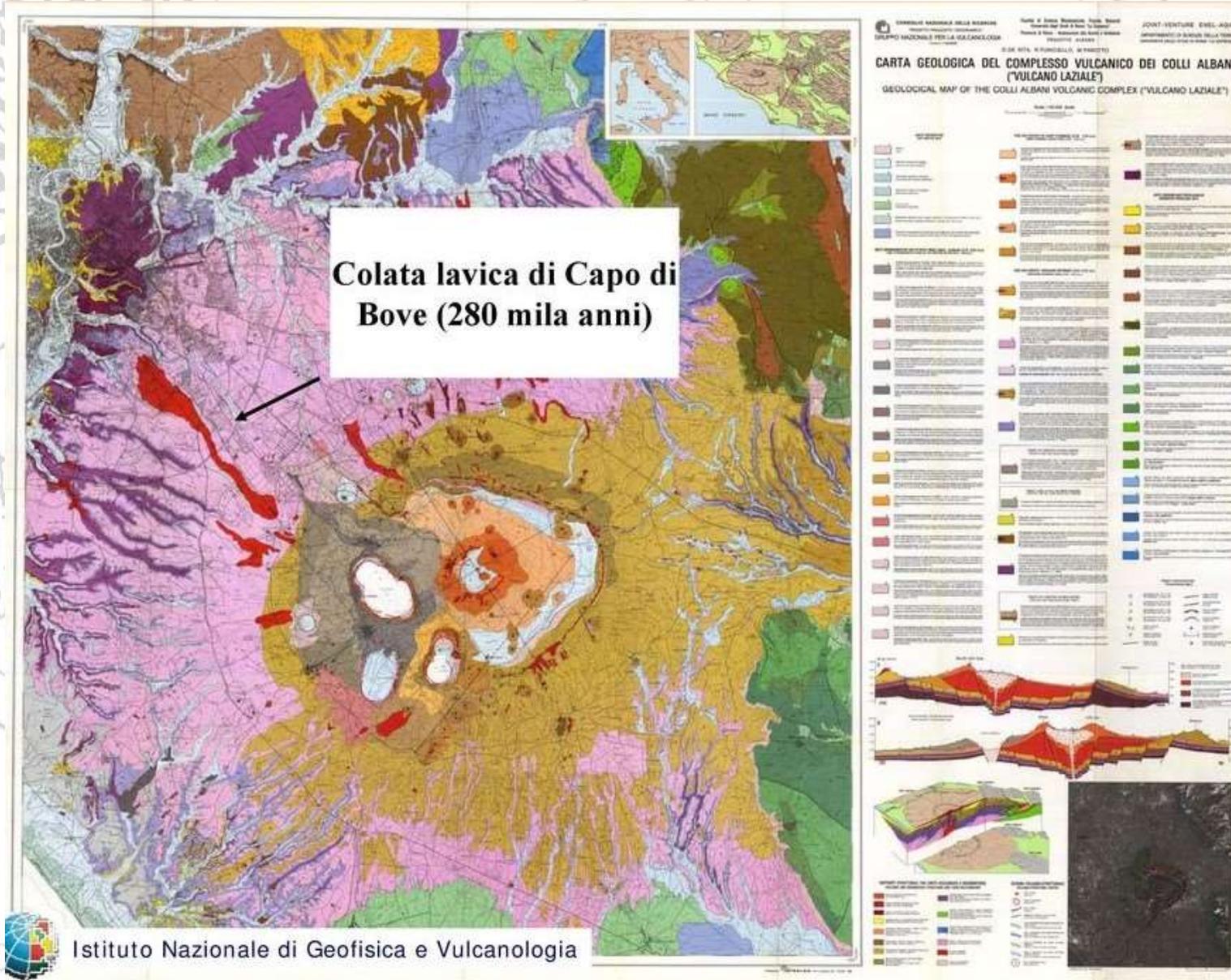
La Carta di Pericolosità idrogeologica PAI mostra pericolo di frana non determinato (vedi **figura**).

La Carta di Classificazione sismica dei comuni mostra Zona 2B (terremoti abbastanza forti,  $ag < 0.20$ ).

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

# Figura - Carta geologica (da ISPRA, 2022)

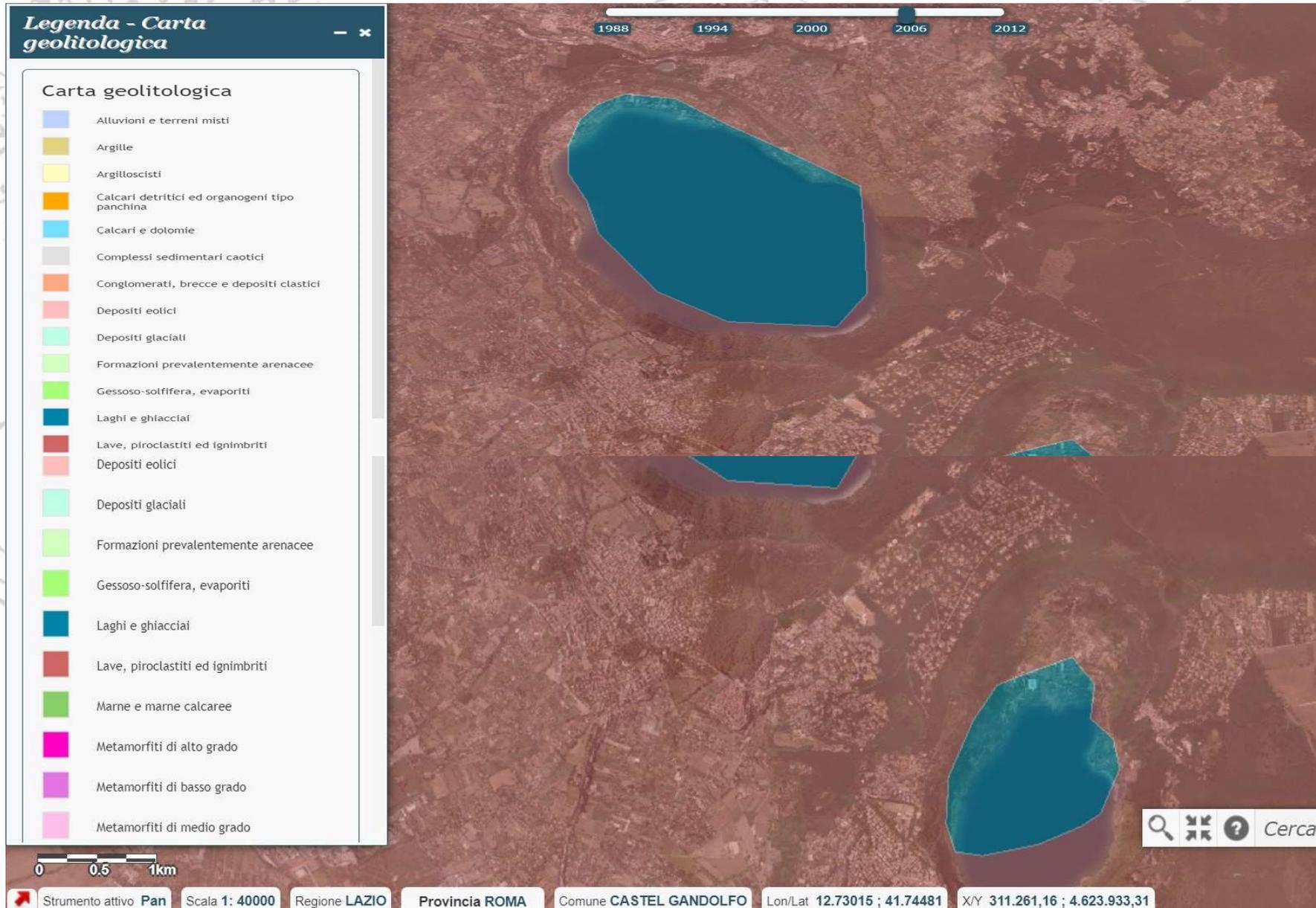


Colata lavica di Capo di Bove (280 mila anni)



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

# Figura - Carta geolitologica (da ISPRA, 2022)



Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

# Figura - Carta dei Dissesti (da ISPRA, 2022)

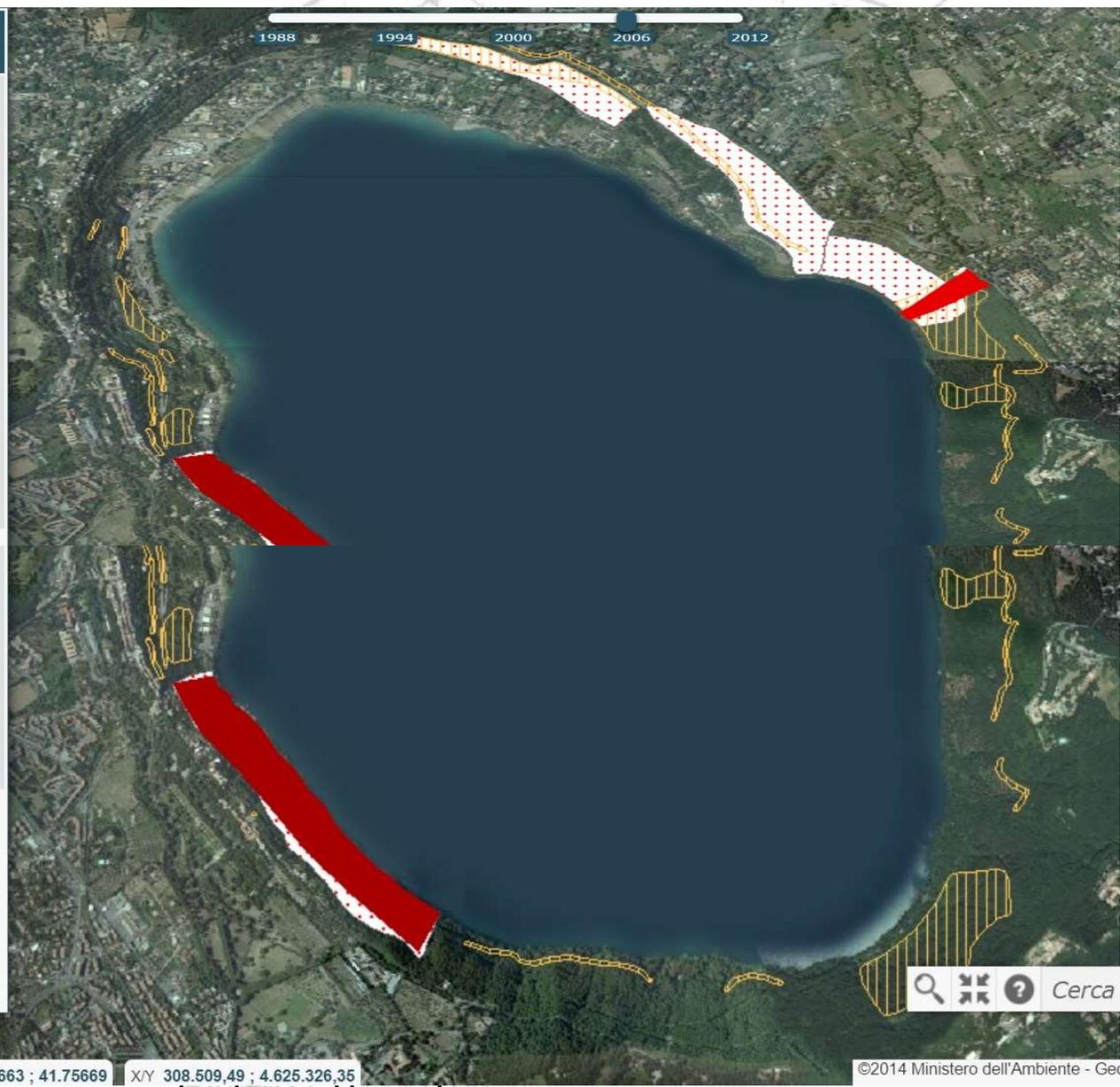
**Legenda - PAI - Pericolosità idrogeologica**

**PERICOLO ALLUVIONE**

- MOLTO ELEVATA
- ELEVATA
- MEDIA
- MODERATA
- SITO DI ATTENZIONE
- N.D.
- ALTRO

**PERICOLO FRANA**

- MOLTO ELEVATA
- ELEVATA
- MEDIA
- MODERATA
- SITO DI ATTENZIONE
- N.D.
- ALTRO



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI IDROLOGICI

La permeabilità nei tufi è di solito bassa, tanto che spesso costituiscono la base di falde acquifere.

Il reticolo idrografico presenta una media densità di drenaggio, normalmente di tipo radiale. C'è la **possibilità di falde acquifere**, limitate ad alcuni orizzonti.

La forte acclività unita alla limitata estensione dei versanti interni impedisce l'impostarsi in questa area di un drenaggio ben definito, fenomeno che si ripropone anche dell'area delle esplosioni eccentriche rappresentate principalmente dalle conche lacustri di Albano e Nemi.

Elementi idrografici di spicco nell'area sono i laghi di Nemi e Albano, entrambi alimentati esclusivamente dalle **acque meteoriche** che cadono nei rispettivi bacini e da alcune sorgenti.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI PEDOLOGICI

La **Carta ecopedologica** mostra aree collinari vulcaniche con coperture piroclastiche discontinue (vedi **figura**).

Lo spessore del suolo è generalmente modesto: lo scheletro è quasi sempre presente, in quantità spesso abbondante. La composizione granulometrica più frequente è quella sabbiosa, seguita da quella equilibrata: il suolo è tendenzialmente sciolto, poroso, permeabile e di non difficile lavorabilità. La dotazione di elementi nutritivi è in generale soddisfacente. La reazione è subacida o neutra. I suoli coltivati sono da poveri a mediamente provvisti di *humus*.

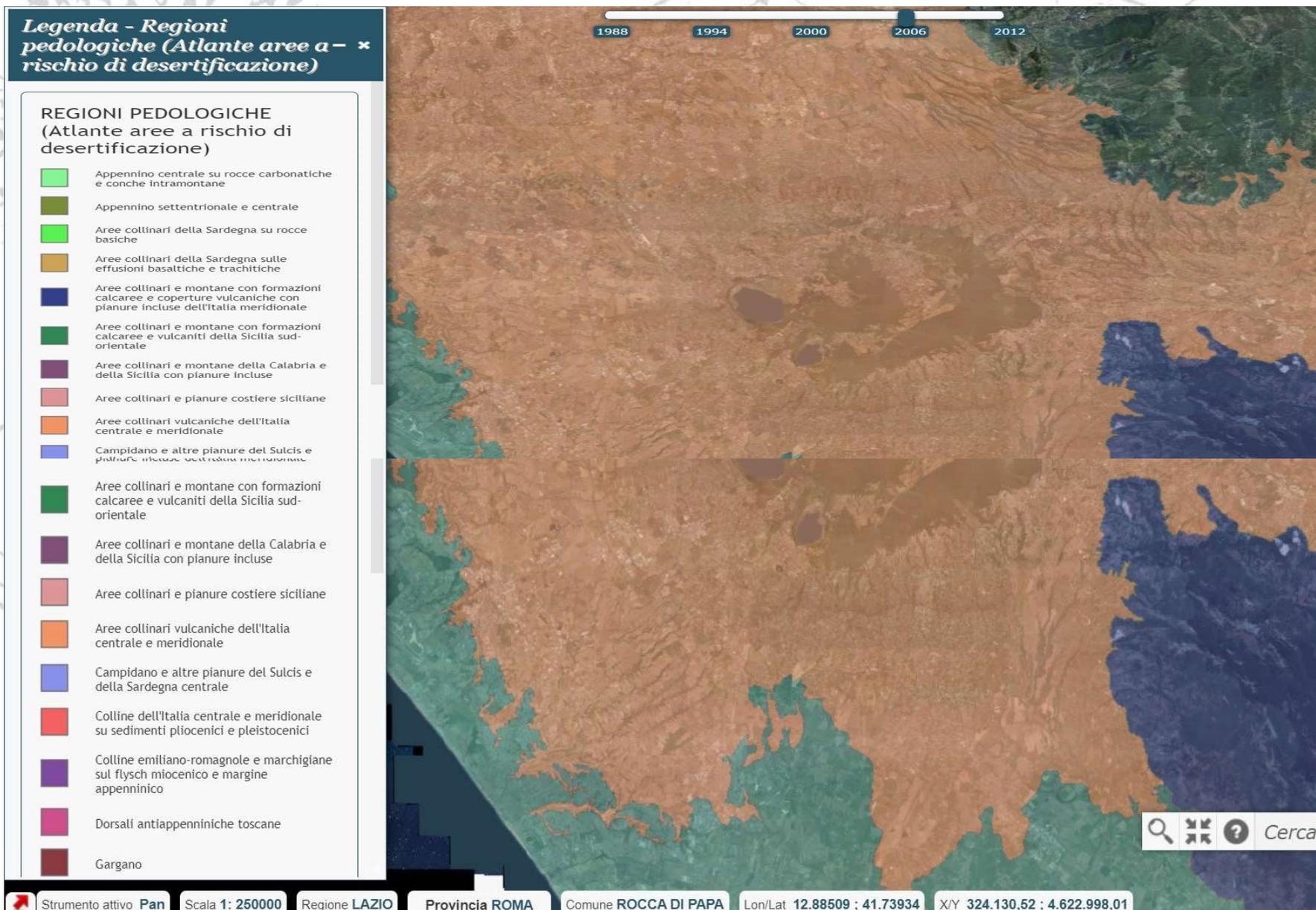
Cilindro verticale delle  
radici ancorate al bedrock

Federico Boccalaro

75

Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

# Figura - Carta pedologica (da ISPRA, 2022)



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI GEOTECNICI

Nei tufi litoidi si riscontrano comunemente **fratture** ad andamento verticale, dovute a contrazioni per disseccamento, le quali costituiscono superfici di discontinuità che possono influire in modo sostanziale e negativo sulla resistenza del materiale. Inoltre sono frequenti **cavità sotterranee**, talora imponenti, utilizzate come ninfei o catacombe. Ciò può portare a franamenti da crollo.

Le scarpate di scavo ripide sono stabili.

I versanti sono dotati di stabilità buona. I dissesti sono limitati a locali e modeste **frane da crollo** per scalzamento alla base o per cedimento di cavità sotterranee artificiali.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI CLIMATICI

La **Carta fitoclimatica** mostra un clima **temperato oceanico di transizione** (ubicato prevalentemente nei rilievi pre-appenninici e nelle catene costiere) - Mesotemperato/Mesomediterraneo umido/iperumido) (vedi **figura**).

Siamo nella Regione Mediterranea di Transizione, 11a Unità Fitoclimatica, Termotipo mesomediterraneo medio, Ombrotipo subumido superiore / umido inferiore, Regione xeroterica (sottoregione mesomediterranea)

Tale unità è caratterizzata da precipitazioni abbondanti (822-1110 mm annui) con apporti estivi compresi tra 84 e 127 mm, e da una temperatura media compresa tra 13,7 e 15,2°C.

L'aridità estiva è presente con una intensità non molto pronunciata (YDS e SDS 81÷129).

Freddo poco intenso da novembre ad aprile (YCS 108÷228; WCS 137÷151).  
Temperatura media delle minime del mese più freddo da 3,4 a 4 °C.

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

# Figura - Carta fitoclimatica (da ISPRA, 2022)

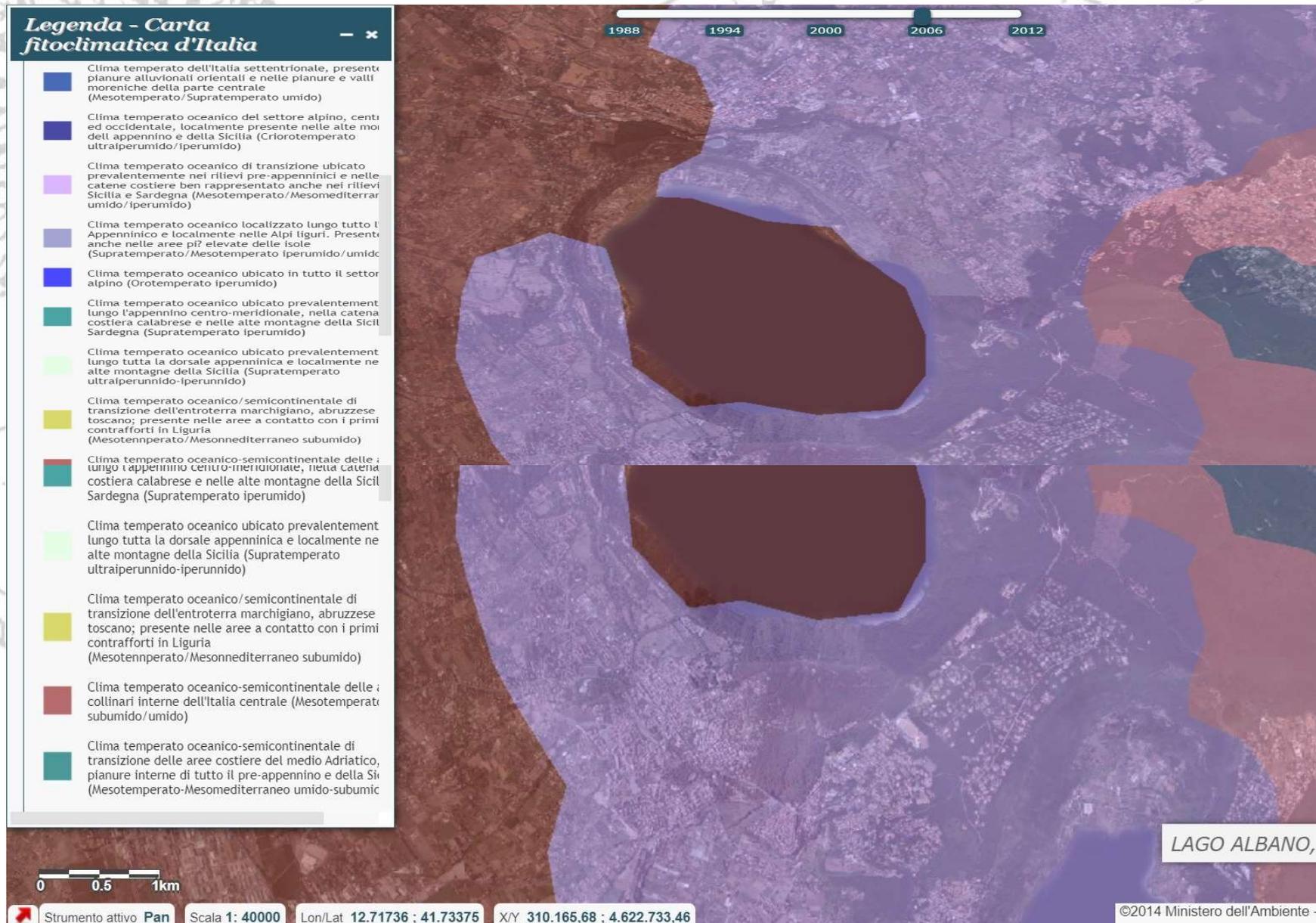
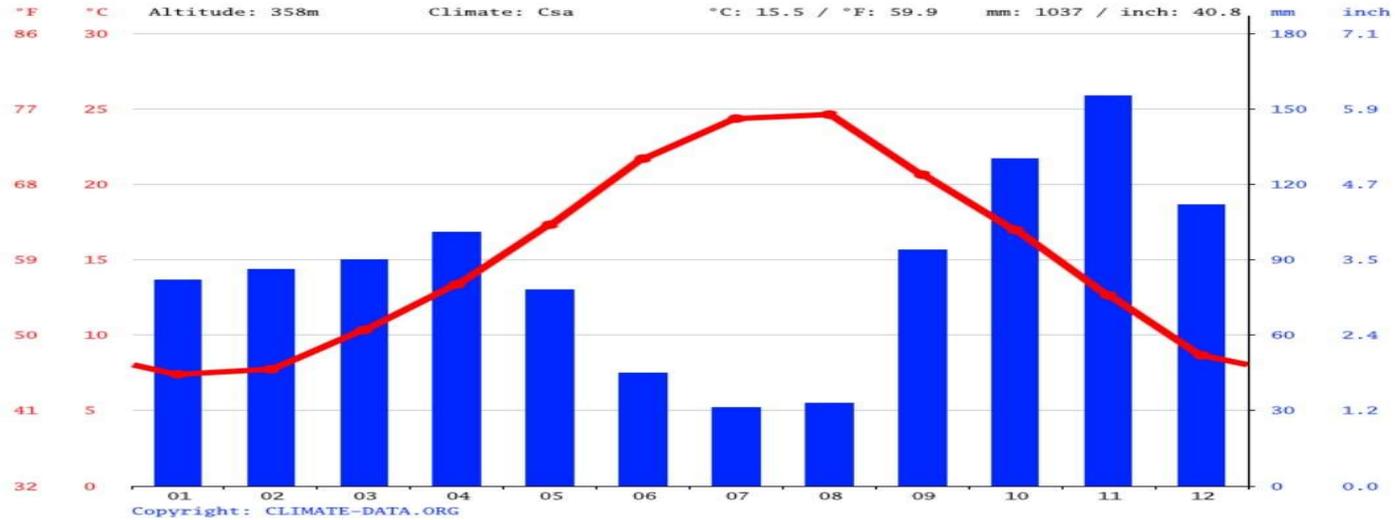
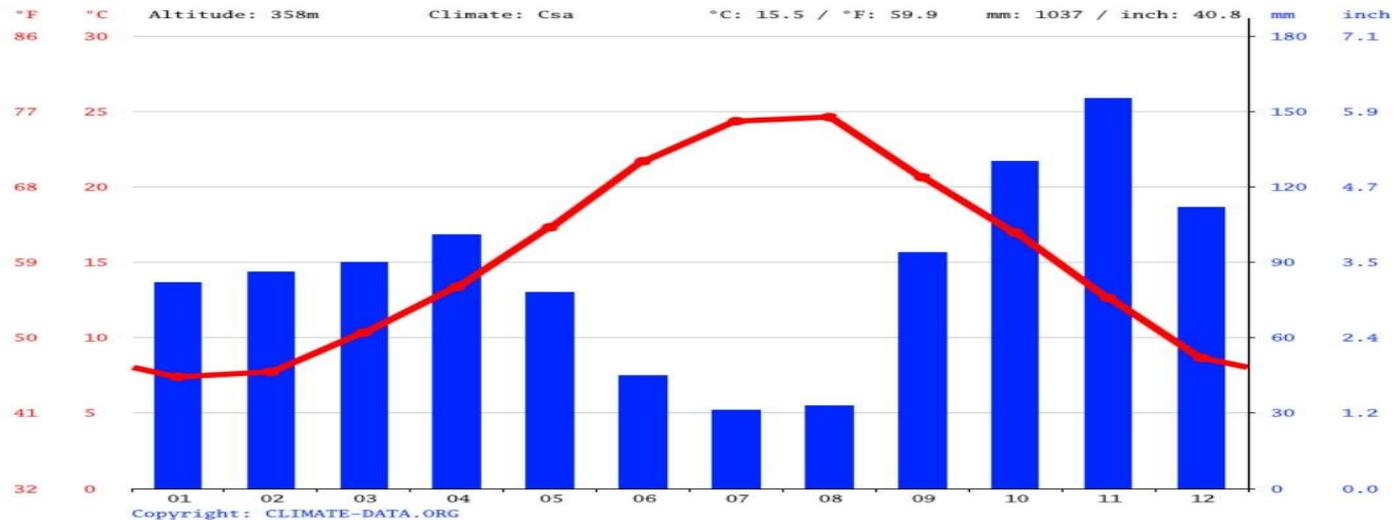


Figura - **Diagramma ombrotermico** (da Bagnouls e Gausсен, 2012)

### GRAFICO CLIMA CASTEL GANDOLFO



### GRAFICO CLIMA CASTEL GANDOLFO



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### ASPETTI ECOLOGICI E VEGETAZIONALI

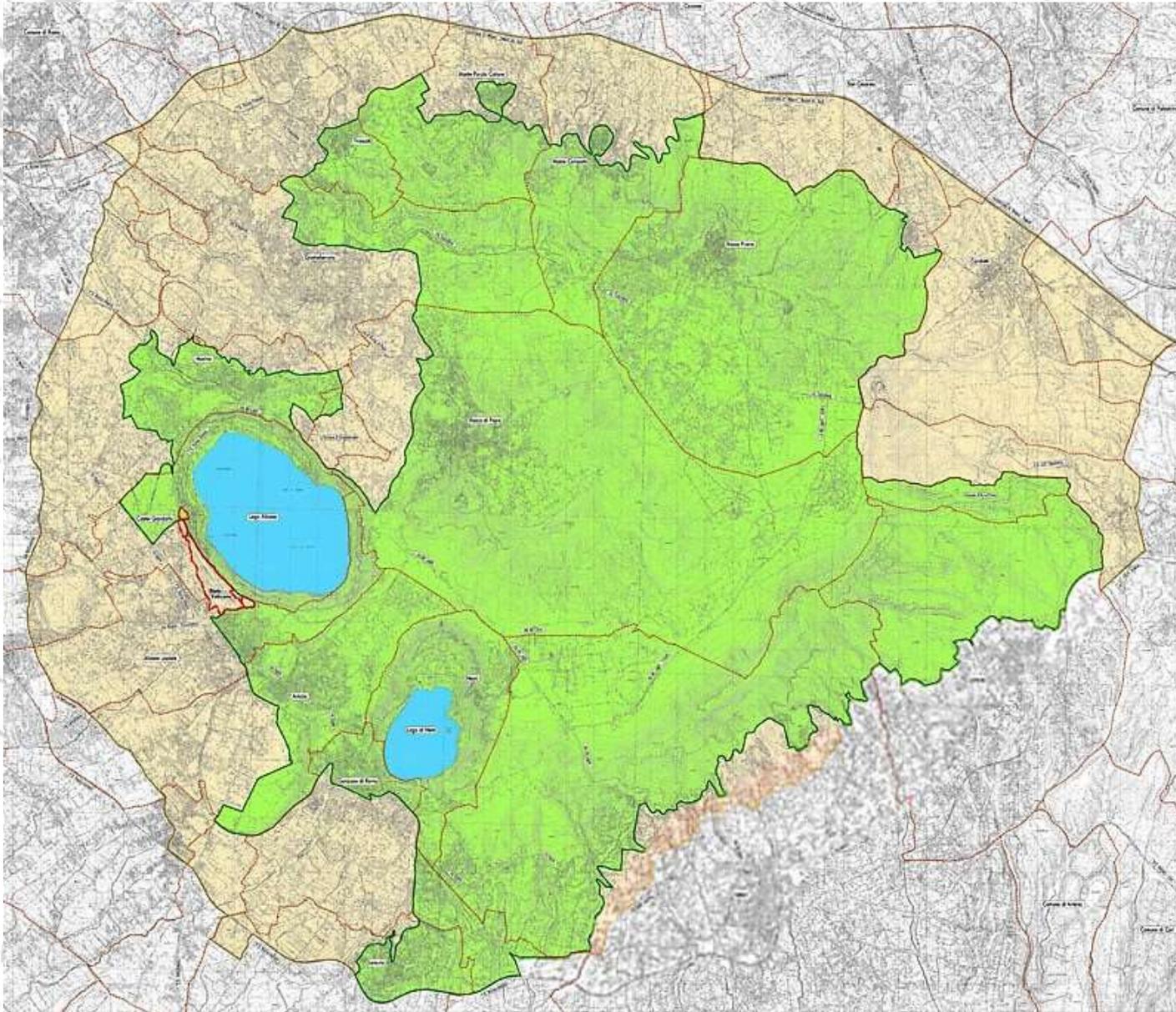
L'area considerata è interna al **Parco Regionale dei Castelli Romani** e adiacente al Sito di Importanza Comunitaria "S.I.C. - IT6030038 - Lago di Albano" e "S.I.C. - IT6030039 - Albano (località Miralago)".

Lungo i versanti acclivi delle conche lacustri dei laghi Albano e di Nemi si rinvencono leccete miste a *Quercus ilex* e caducifoglie che costituiscono un aspetto di **transizione** tra le formazioni a prevalenza di sclerofille sempreverdi mediterranee ed i boschi di caducifogli mesofili e submesofili.

Le **cenosi arbustive** più diffuse sul territorio sono i cespuglieti a *Cytisus scoparius* (ginestra dei carbonai) e i cespuglieti a *Spartium junceum* (ginestra odorosa): i primi costituiscono uno stadio di degradazione o di recupero dei boschi misti mesofili del Vulcano Laziale, mentre i secondi rappresentano invece una fase di degradazione o di recupero delle cenosi forestali più termofile dell'area.

Le **cenosi erbacee** sono rappresentate principalmente da pascoli xerofili localizzati principalmente sui versanti esposti a sud dei Colli Albani e caratterizzati da un elevato contingente di specie tipiche dei pascoli aridi.

**Figura** - *Carta del Parco dei Colli Albani* (da Regione Lazio, 1996)



Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

# Figura - Carta SIC (da MinAmbiente, 2005)

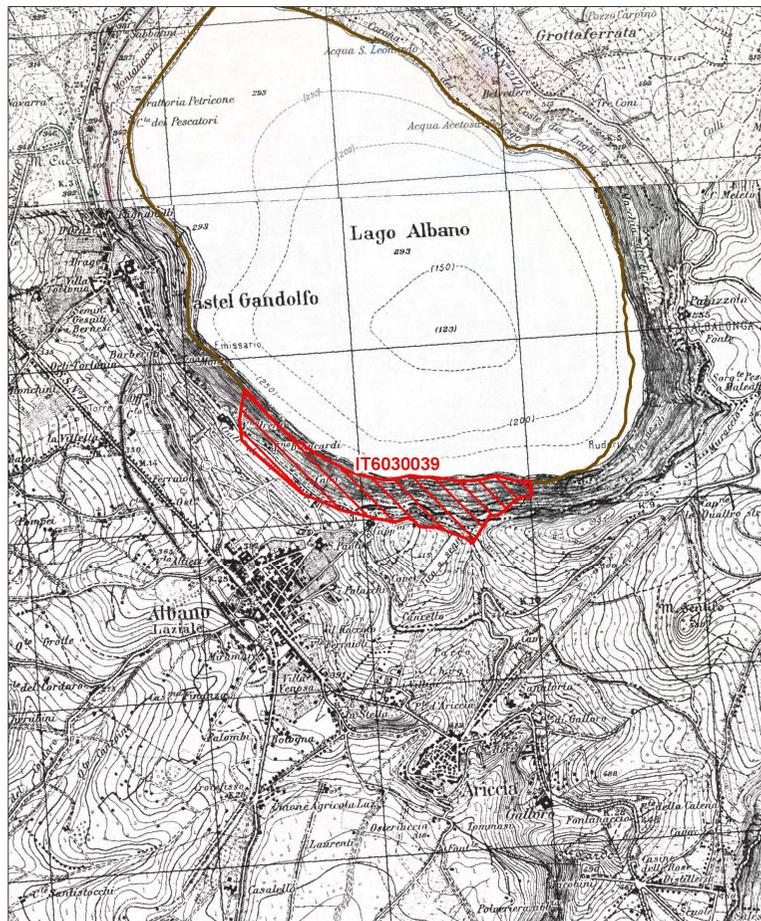


Regione: Lazio

Codice sito: IT6030039

Superficie (ha): 45

Denominazione: Albano (Località Miralago)



Data di stampa: 06/12/2010



Scala 1:25'000

Legenda

sito IT6030039

altri siti

Base cartografica: IGM 1:25'000

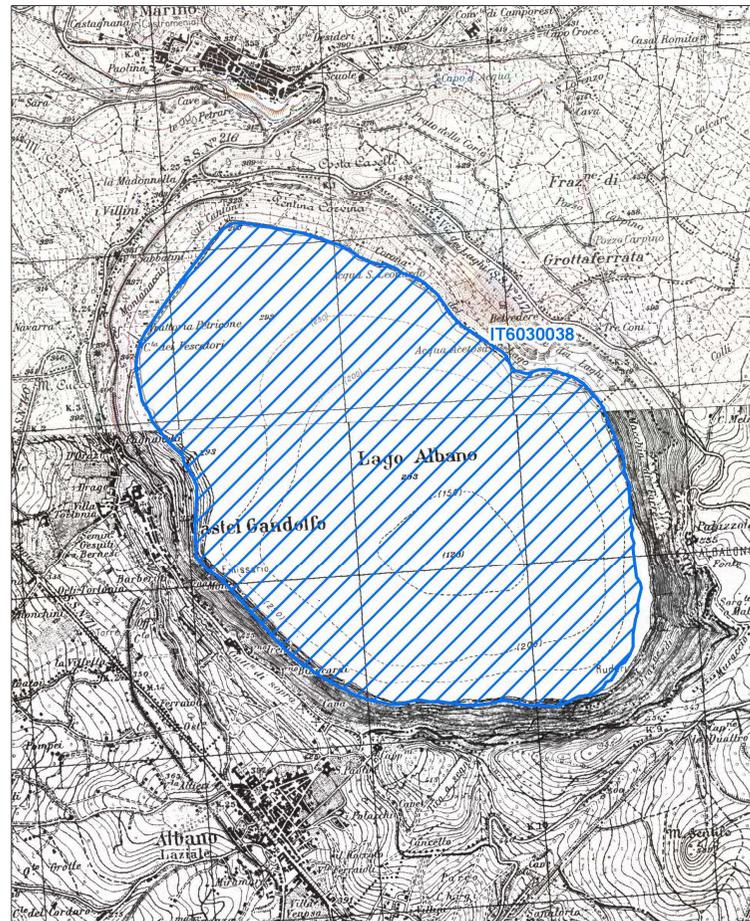


Regione: Lazio

Codice sito: IT6030038

Superficie (ha): 604

Denominazione: Lago di Albano



Data di stampa: 29/11/2010



Scala 1:25'000

Legenda

sito IT6030038

altri siti

Base cartografica: IGM 1:25'000



# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### PAESAGGIO VEGETALE

L'attuale paesaggio vegetale dei Colli Albani è il risultato del susseguirsi e sovrapporsi di alterne vicende geologiche, climatiche ed antropiche che nel corso di un brevissimo lasso di tempo hanno interagito l'una con l'altra, lasciando ogni volta tracce di sé nella vegetazione delle fasi seguenti. Nel territorio in esame, abbiamo le seguenti cenosi forestali.

Leccete miste a *Quercus ilex* e caducifoglie

Queste cenosi forestali si rinvencono principalmente lungo i versanti acclivi delle conche lacustri dei laghi Albano e di Nemi. Esse costituiscono un aspetto di transizione tra le formazioni a prevalenza di sclerofille sempreverdi mediterranee ed i boschi di caducifogli mesofili e submesofili. Allo strato arboreo ed arbustivo partecipano, in rapporti di dominanza localmente diversificati, sclerofille sempreverdi quali: *Quercus ilex*, *Viburnum tinus*, *Arbutus unedo*, *Rosa sempervirens* e caducifoglie quali *Fraxinus ornus*, *Acer obtusatum*, *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer campestre*, *Sorbus domestica*, *Cornus sanguinea*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*. Anche nella componente lianosa ed erbacea coesistono sia specie caratteristiche delle leccete come *Smilax aspera*, che specie dei querceti quali *Hedera helix* e *Tamus communis*.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### PAESAGGIO VEGETALE

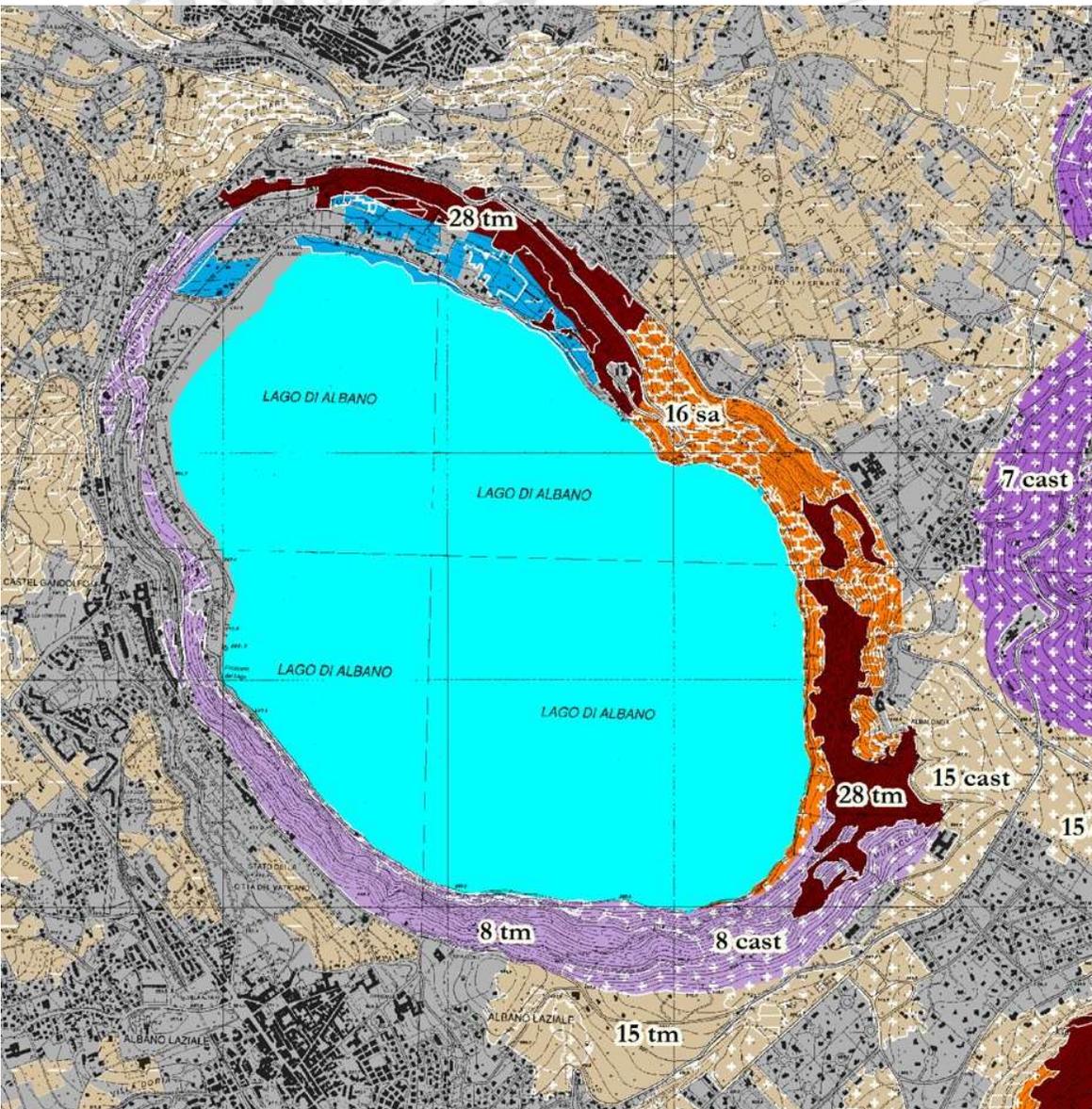
#### Arbusteti

Cespuglieti a *Cytisus scoparius* (ginestra dei carbonai) e cespuglieti a *Spartium junceum* (ginestra odorosa).

I cespuglieti a *Cytisus scoparius* (localmente chiamati "scopiglieti") costituiscono uno stadio di degradazione o di recupero dei boschi misti mesofili del Vulcano Laziale. La ginestra dei carbonai è in effetti una specie dalle ottime capacità **colonizzatrici**. Con altre specie provenienti dalle cenosi arbustive, site al limite del bosco, invade in tempi brevi i prati-pascoli non più utilizzati. Alla composizione della comunità partecipano *Pteridium aquilinum*, *Adenocarpus complicatus*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Salix caprea*.

I cespuglieti a *Spartium junceum*, rappresentano invece una fase di degradazione o di recupero delle cenosi forestali più termofile delle zone collinari dei Colli Albani.

# Figura - Serie di Vegetazione (da Blasi, 2020)



6 Serie dei boschi a farnia, cerro, rovere e carpino bianco dei sedimenti fluvio-lacustri e colluviali delle caldere vulcaniche (Pulmonario apenninae-Carpinenion betuli)

- 6 tm
- 6 arb
- 6 pc
- 6 cast
- 6 mnc
- 6 B-R

7 Serie delle cerrete degli edifici vulcanici (Physospermo verticillati-Quercion cerris)

- 7 tm
- 7 arb
- 7 pc
- 7 cast
- 7 mnc

8 Serie dei boschi misti a carpino nero con tiglio degli edifici vulcanici (Lauro nobilis-Quercenion virgilianae)

- 8 tm
- 8 arb
- 8 rimb
- 8 mnc
- 8 B-R

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Tipologie di interventi di ingegneria naturalistica proposti:

- opere di rivestimento quali: "rinfoltimenti con piantine di specie arbustive mediterranee in vaso o in fitocella" e "rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione zincata e biostuoia tridimensionale";
- opere drenanti quali "canalette in legname e pietrame rinverdita";
- opere stabilizzanti su versante quali "messa a dimora di talee";
- opere consolidanti su versante quale "parete con piloti rivegetata" (su più file parallele).

Specie arbustive previste: Alaterno (*Rhamnus alaternus*), Biancospino (*Crataegus pyracanta*), Corbezzolo (*Arbutus unedo*), Ginestra dei carbonai (*Cytisus scoparius*), Ginestra odorosa (*Spartium junceum*), Corniolo (*Cornus mas*), Ligustro (*Ligustrum spp.*), Prugnolo (*Prunus spinosa*), Pungitopo (*Ruscus aculeatus*), Rosa canina (*Rosa canina*), Elicriso (*Helichrysum italicum*), Sanguinella (*Cornus sanguinea*), Viburno (*Viburnum tinus*).

Approvvigionamento di piante in vaso o in fitocella: vivaio forestale "Reseda", Parco Villa Barattolo - Rocca di Papa (RM).

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

Dimensioni fronte versante: estensione di 20 x 14 m (Ninfeo "Dorico") e 20 x 12 m (Ninfeo "Bergantino").

Soggetto committente: Soprintendenza Archeologica per l'Area Metropolitana di Roma.

Soggetti supervisor: ing. Federico Boccalaro (Ordine degli Ingegneri di Roma) e dott. Roberto Salustri (RESEDA), con il patrocinio di Archeoclub d'Italia, AIPIN e Sigea

Periodo di intervento: dicembre 2022

### Obiettivo:

- proteggere il versante dall'erosione superficiale per la piena agibilità dei monumenti archeologici;
- drenare le acque di ruscellamento sul versante sovrastante i Ninfei;
- innescare una vegetazione paranaturale a recupero dell'ecosistema locale;
- promuovere l'utilizzo delle tecniche di ingegneria naturalistica nei territori di Castel Gandolfo, dei siti archeologici e culturali gestiti dalla Soprintendenza di Roma e Rieti e del Parco Regionale dei Castelli Romani.





Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - «parete con piloti rivegetata» (da F. Boccalaro, 2022)

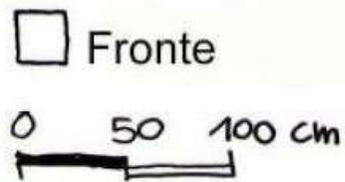
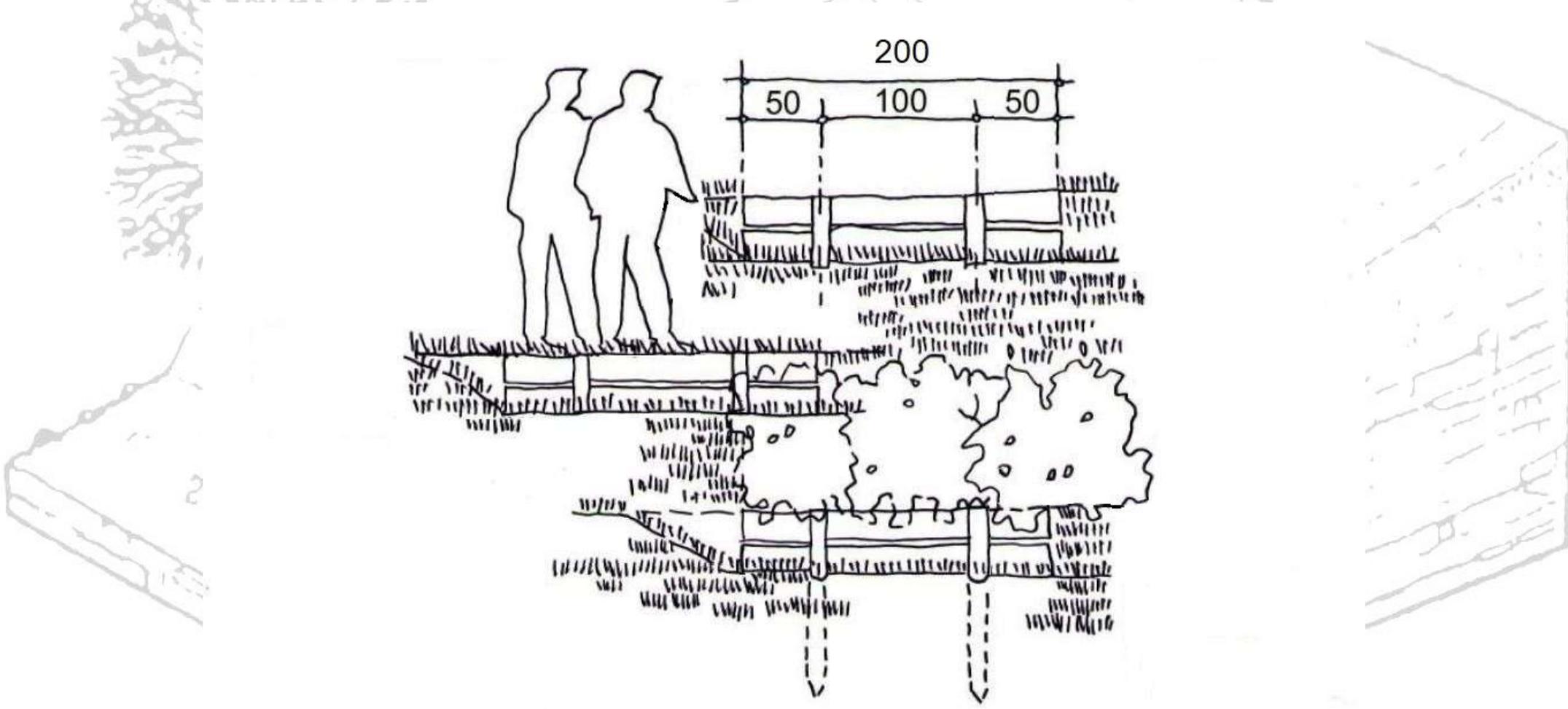
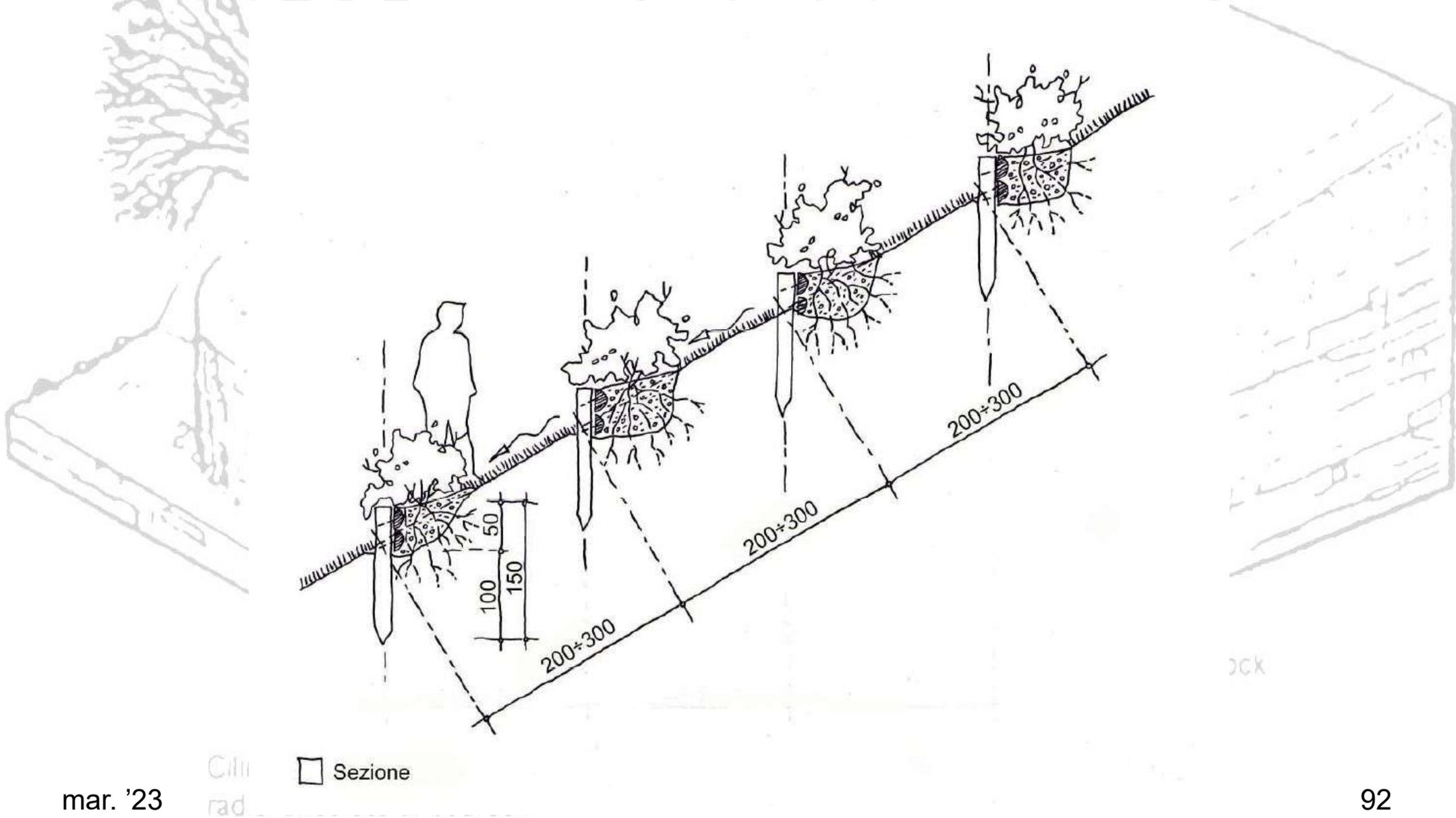


Figura - «parete con piloti rivegetata» (da F. Boccalaro, 2022)



Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - «parete con piloti rivegetata» (da F. Boccalaro, 2022)

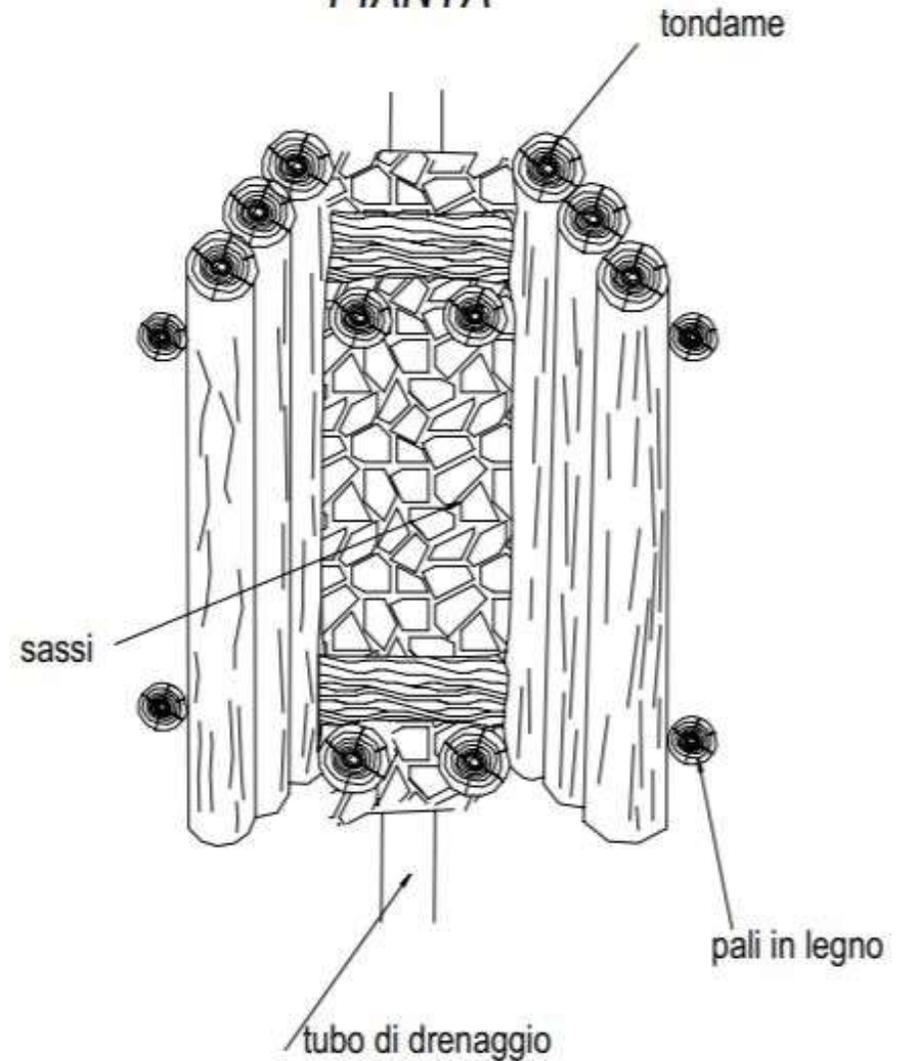
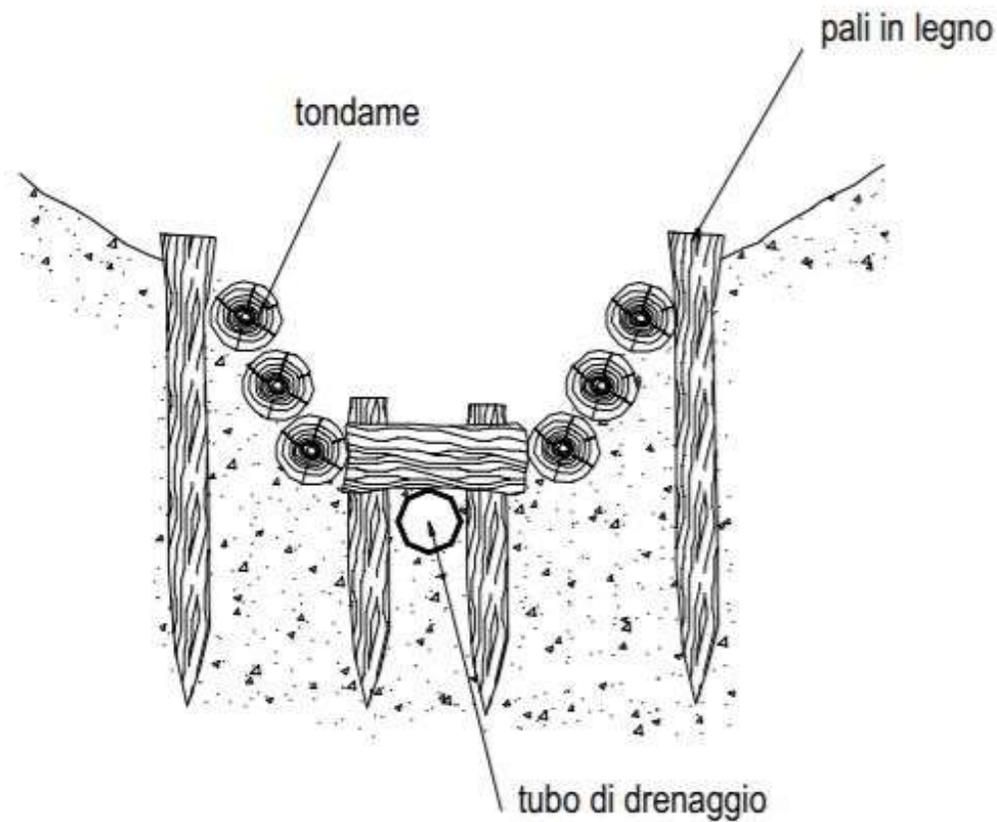


Figura - «canaletta in legname e pietrame» (da F. Boccalaro, 2022)

Canaletta di drenaggio in legname e pietrame

SEZIONE

PIANTA



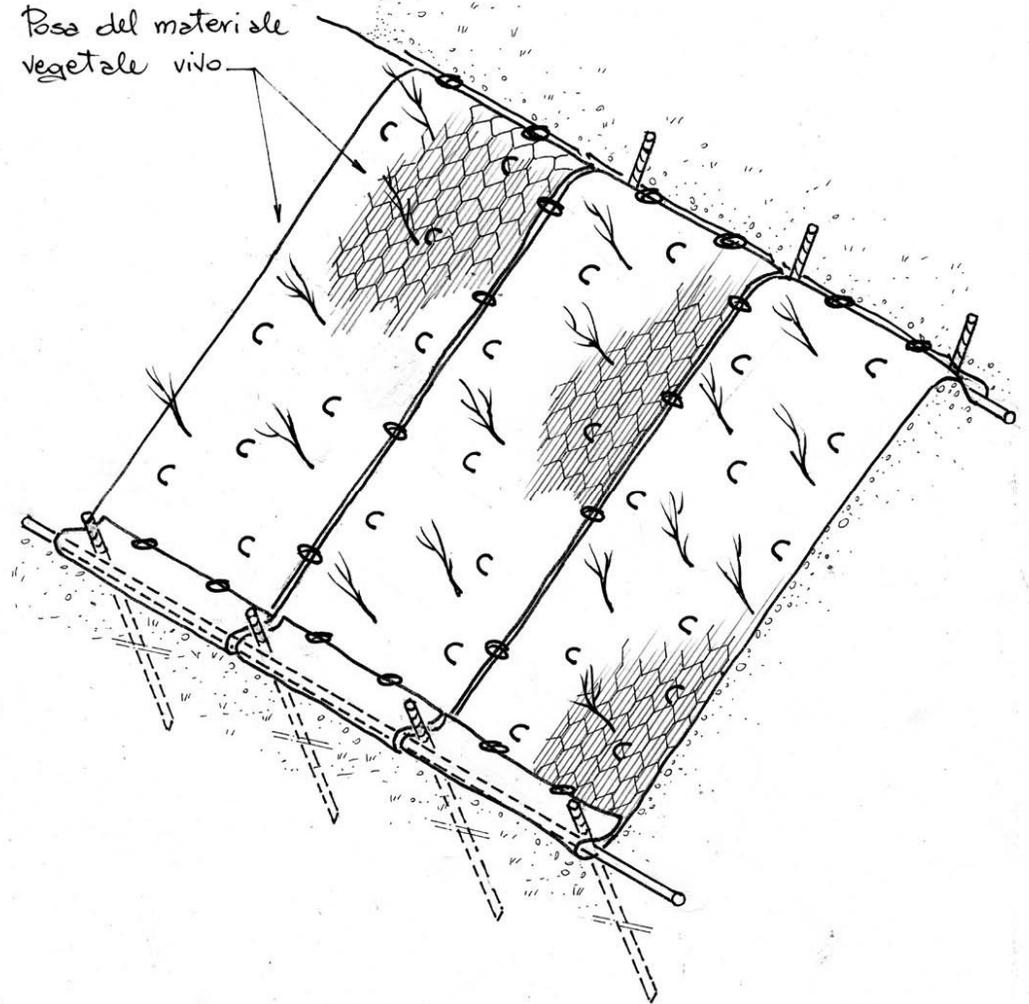
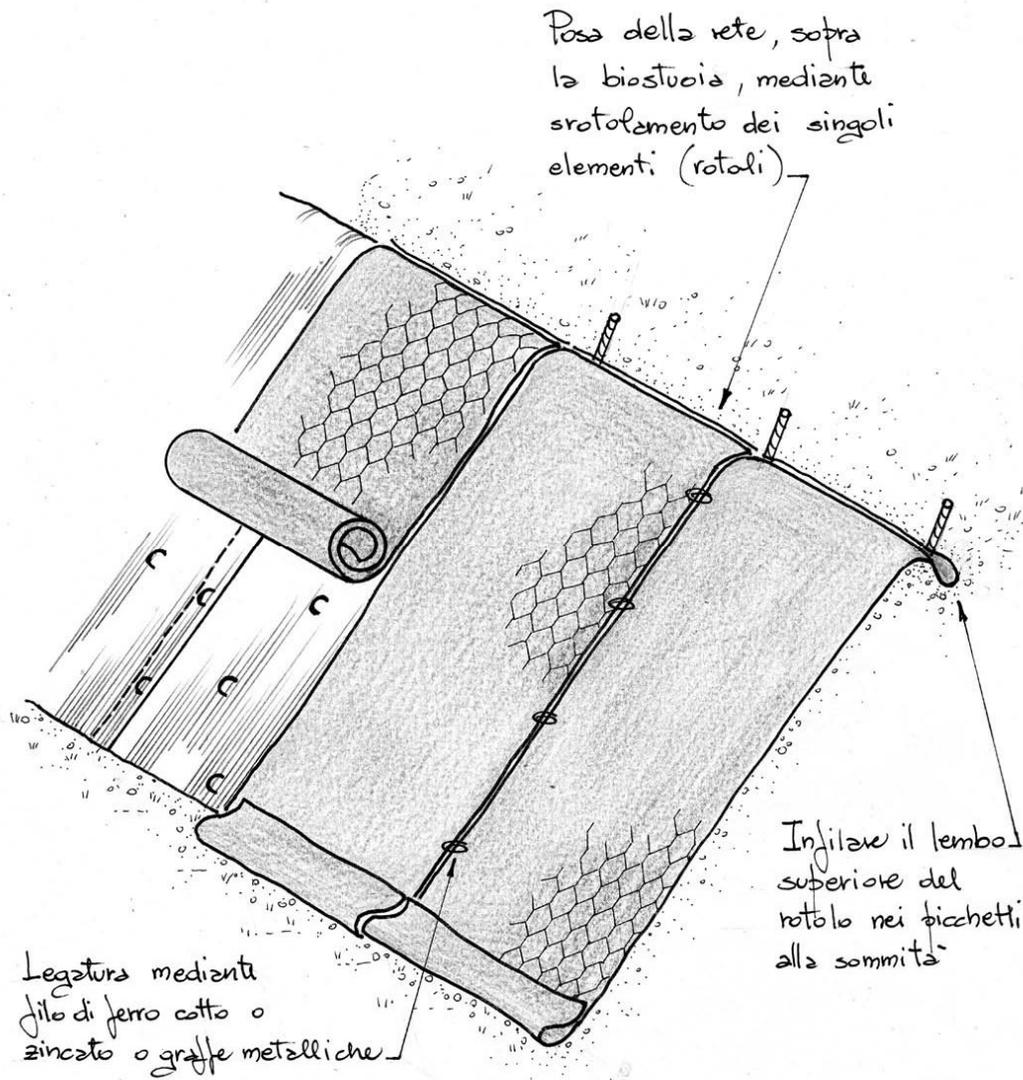
Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura** - «canaletta in legname e pietrame» (da F. Boccalaro, 2022)



# Figura - «Rivestimento vegetativo in rete metallica e biostuoia» (da F. Boccalaro, 2022)



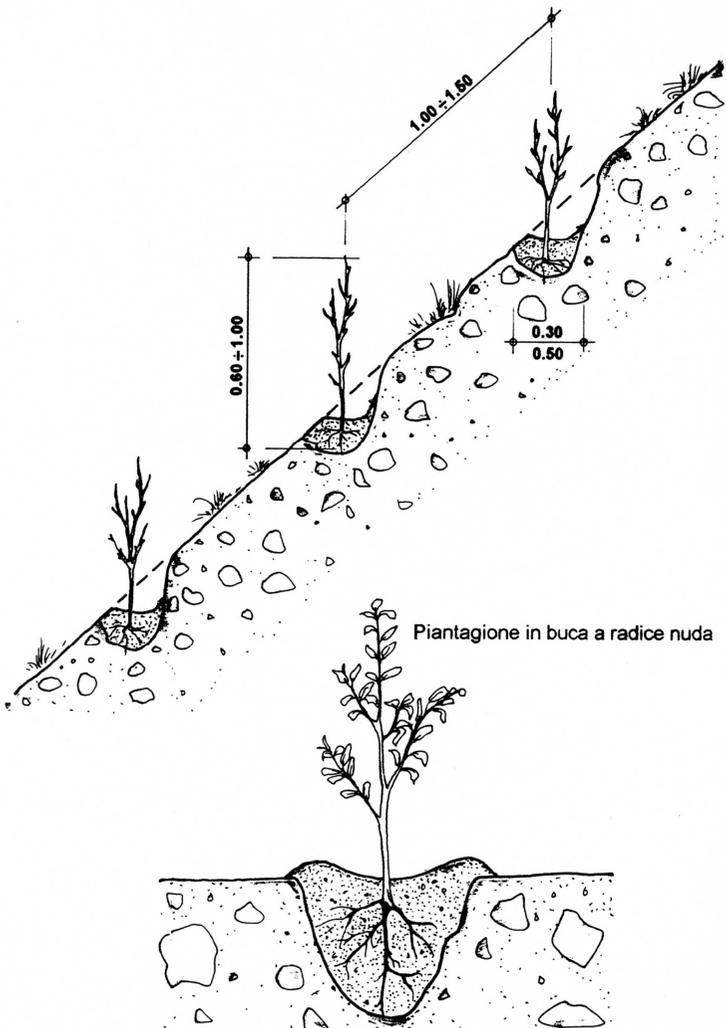
**Figura** - «Rivestimento vegetativo in rete metallica e biostuoia»  
(da F. Boccalaro, 2022)



Suolo che fa da contrafforte  
Zona con effetto arco

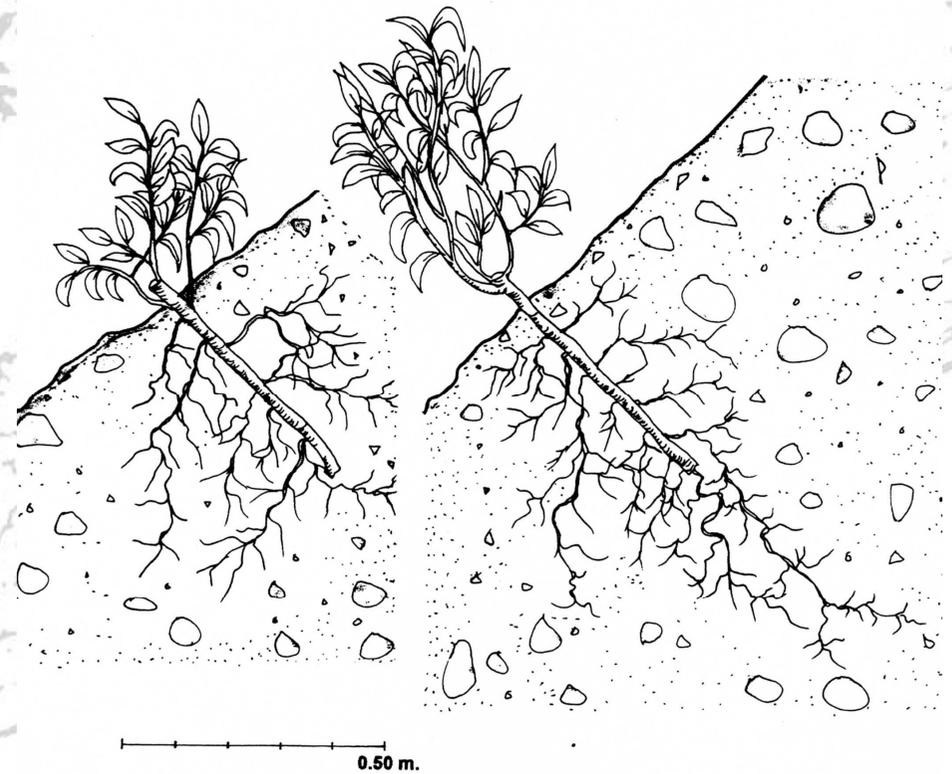
# Figura - «parete con piloti rivegetata» (da F. Boccalaro, 2022)

RIMBOSCHIMENTO E RINFOLTIMENTO  
CON PIANTE A RADICE NUDA



PIANTAGIONE DI TALEE

Talee della *Salix nigricans* dopo due anni



**Figura** - «Messa a dimora di piantine in fitocella» (da F. Boccalaro, 2022)



mar. '23

radici ancorate al bedrock

Federico Boccalaro

99

**Figura** - «Messa a dimora di piantine in fitocella» (da F. Boccalaro, 2022)



mar. '23

radici ancorate al bedrock

Federico Boccalaro

100

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### LISTA DEI MATERIALI DA IMPIEGARE

- materiale vegetale vivo autoctono (talee di salice, ramaglia di specie adatte alla riproduzione vegetativa);
- ramaglia morta;
- tronchi (castagno) scortecciati (L 2-3 m -  $\varnothing$  10÷15 cm);
- filo di ferro zincato o plasticato ( $\varnothing$  2 mm);
- materiale inerte di riporto derivato da scavo in terra (con caratteristiche compatibili per lo sviluppo della componente vegetale);
- materiale inerte litoide costituito da pietrame ( $\varnothing_{\max}$  30 cm);
- rete metallica a doppia torsione;
- barre in acciaio ( $\varnothing$  12 - 24 mm);
- materiale inerte di riporto derivato da scavo in terra (con caratteristiche compatibili per lo sviluppo della componente vegetale);
- bio-feltro, bio/geo-stuoia o bio-rete.

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

N.B.: la scelta di questi materiali e le loro caratteristiche (tipo, origine, grammatura, dimensione delle maglie, ecc.) è di estrema importanza per l'attecchimento della componente vegetale viva e spesso è causa di insuccesso finale: ad una funzione di trattenimento del materiale di riempimento deve associare caratteristiche di **permeabilità agli apparati radicali**; pertanto, deve essere attentamente vagliata e decisa in fase progettuale ed altrettanto attentamente controllata in fase esecutiva.

Cilindro verticale delle  
radici ancorate al bedrock

Federico Boccalaro

102

Suolo che fa da contrafforte

Zona con effetto arco

**Figura - Talee + stuoia + rete metallica** (da F. Boccalaro, 2002)



mar. '23

radici ancorate al bedrock

Federico Boccalaro

# Ingegneria Naturalistica Archeologica

## Realizzazione di interventi ai Ninfei di Castel Gandolfo

### STIMA DEI COSTI DI COSTRUZIONE

Descrizione	U. M.	Quantità "B"	Quantità "D"	Costo u. (€)	Costo t. (€)
"parete con piloti rivegetata"	ml	60	74	58,0	7.770
"rivestimento vegetativo in rete zincata a doppia torsione e biostuoia tridimensionale"	mq	220	80	55,1	16.530
"canaletta in legname e pietrame rinverdita"	ml	40	-	50,0	2.000
<b>Costo totale</b>		<b>17.600 €</b>	<b>8.700 €</b>		<b>26.300 €</b>

[N.B.: il prezzo è riferito al 2021 su una media nazionale e comprende le spese generali (10%), gli oneri per la sicurezza (6%) e l'utile d'impresa (16,5%). Dal prezzo è esclusa la preparazione della superficie del terreno]

# Ingegneria Naturalistica

## Bibliografia

**AA.VV.** Manuale di Ingegneria Naturalistica - vol.1 sistemazioni idrauliche, vol. 2 strade, coste, cave, discariche. *REGIONE LAZIO*. Roma (2002, 2004).

**AA.VV.** Elenco Prezzi materiali e opere di Ingegneria Naturalistica. *REGIONE PIEMONTE*. Torino (1995).

**AA.VV.** Opere e tecniche di Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale. *REGIONE LIGURIA*. Genova (1995).

**AA.VV.** Atlante delle opere di sistemazione dei versanti. *ANPA*. Roma (2002).

**AA.VV.** Linee Guida per Capitolati speciali per interventi di Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde. *MINISTERO DELL'AMBIENTE - AIPIN*. Roma (2006).

# Ingegneria Naturalistica

## Ringraziamenti

Si ringraziano per i consigli e i contributi offerti il dott. Roberto Salustri (RESEDA - Albano), l'ing. **Paolo Cornelini** (AIPIN - Roma), il dott. Sandro Bonacquisti (Università La Sapienza di Roma), il dott. **Florin Florineth** (Università di Vienna), il dott. **Giuliano Sauli** (AIPIN - Trieste) e l'ing. **Hugo Meinhard Schiechtl** (Università di Innsbruck).





GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE

*17 marzo 2023 - Roma*

Ingegneria Naturalistica a Castel  
Gandolfo

Ingegnere Ambientale Federico Boccalaro  
AIPIN-SIGEA socio esperto difesa suolo