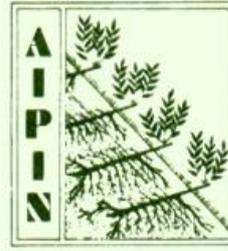




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
E TECNOLOGIE AGRARIE,
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI

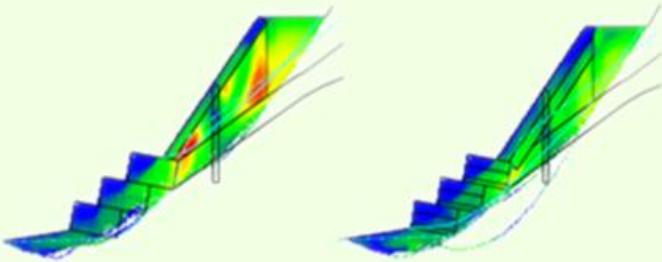


**ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA
INGEGNERIA
NATURALISTICA**



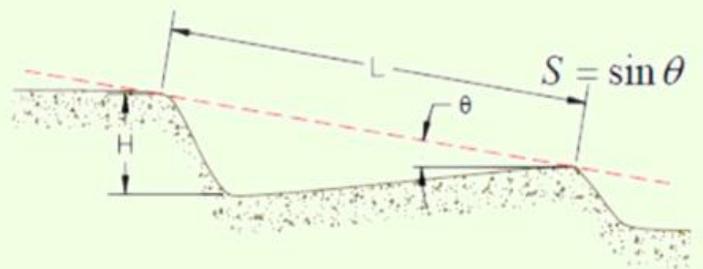
0 anni

25 anni



IN2.0

INNOVAZIONI IN INGEGNERIA NATURALISTICA



COLLANA FIUMI E TERRITORIO

INNOVAZIONI IN INGEGNERIA NATURALISTICA I.N.2.0

A cura di:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali

Federico Preti - Università degli Studi di Firenze e AIPIN

*Rossana Saracino - Università degli Studi di Firenze e Tutor Corso di aggiornamento professionale
“I.N.2.0_Innovazioni in Ingegneria Naturalistica”*

*Andrea Signorile - Università degli Studi di Firenze e Tutor Corso di aggiornamento professionale
“I.N.2.0_Innovazioni in Ingegneria Naturalistica”*

Autori:

L. BORSELLI - Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Mexico

M. CELLURA - Università degli Studi di Palermo

A. CISLAGHI - Università degli Studi di Milano

P. CORNELINI – AIPIN

C. CROCETTI – AIPIN

F. D’ASARO – AIPIN

G. DORONZO – AIPIN

G. F. RICCI - Università degli Studi di Bari

A. FERRARIO – AIPIN

V. FERRO – Università degli Studi di Palermo

F. GENTILE – Università degli Studi di Bari

P. GIACCHINI – AIPIN

F. GIADROSSICH – Università degli Studi di Sassari

V. LATTEO – AIPIN

L. M. FERRARA – AIPIN

G. MENEGAZZI – AIPIN

F. PALMERI – AIPIN

G. PIRRERA – AIPIN

F. PRETI – Università degli Studi di Firenze e AIPIN

R. SANTOLINI – AIPIN

R. SARACINO – Università degli Studi di Firenze

A. SIGNORILE – Università degli Studi di Firenze

F. TECCHIO – Full Service S.r.l.

M. TOGNI - Università degli Studi di Firenze

F. VALLONE – AIPIN

Hanno collaborato:

G. BAIAMONTE - Università degli Studi di Palermo

D. BONI - CNR-IRPI

R. CALVO – Università degli Studi di Palermo

S. R. LA MANTIA - Università degli Studi di Palermo

P. LASSINI – Casa della Agricoltura

I. MURGIA - Università degli Studi di Sassari

S. S. PALERMO – Università degli Studi di Palermo

G. SAULI[†] - AIPIN

M. SCHWARZ - Bern University of Applied Sciences

M. UZIELLI - Università degli Studi di Firenze

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

Coordinamento, redazione ed editing: F. Preti, R. Saracino, A. Signorile

Revisione: K. Begliomini, P. Cornelini, C. Crocetti, G. Pirrera, F. Preti, R. Santolini, R. Saracino, A. Signorile

Supervisione: F. Preti

Immagini copertina: le immagini sono relative all'intervento di sistemazione idraulico-forestale con tecniche di Ingegneria Naturalistica sul torrente Gorgone in Casentino (progetto e direzione lavori DAGRI-UNIFI per conto di Consorzio di Bonifica Alto Valdarno) e ad un esempio di output del software SSAP per l'analisi di stabilità di versante con NBS.

REGIONE TOSCANA



Consiglio Regionale

*“Stampato dalla tipografia
del Consiglio regionale della
Toscana, quale contributo ai
sensi della l.r. 4/2009”.*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
E TECNOLOGIE AGRARIE
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI



**ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA
INGEGNERIA
NATURALISTICA**

SOMMARIO

1	L'INGEGNERIA NATURALISTICA AI TEMPI DI NBS, RIPRESA E RESILIENZA	1
1.1	INGEGNERIA NATURALISTICA: UNA FILOSOFIA PROGETTUALE E TECNICHE CONSOLIDATE PER SOLUZIONI ISPIRATE ALLA NATURA (P. Cornelini, F. Preti, G. Sauli[†])	1
1.1.1	Principi, definizioni e metodi dell'Ingegneria Naturalistica; da dove veniamo, dove siamo e dove stiamo andando ¹	
	Bibliografia Par. 1.1.1	8
1.1.2	Nuove conoscenze	8
	Bibliografia Par. 1.1.2	11
1.1.3	Deontologia Professionale	15
1.2	EVOLUZIONE STORICA DELLE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA (G. Pirrera, L. M. Ferrara)	18
1.2.1	Introduzione: i padri dell'Ingegneria Naturalistica	18
1.2.2	La spinta verso l'I.N. 2.0 e la SWB, Soil & Water Bioengineering	20
1.2.3	Il Riuso di materiali del luogo nella tradizione italiana e austriaca	24
1.2.4	La spinta più naturalistica	27
1.2.5	Le quattro macro-famiglie del riutilizzo nelle tecniche d'Ingegneria Naturalistica	29
1.2.5.1	Riutilizzo di materiali organici di scarto	29
1.2.5.2	Riutilizzo di specie alloctone	32
1.2.5.3	Riuso di rifiuti antropici e di cantiere	33
1.2.5.4	Tecniche ed innovazioni	34
	Bibliografia Par. 1.2	37
1.3	INGEGNERIA NATURALISTICA: NBS PER IL PROGETTO DI PAESAGGIO (F. Vallone)	39
2	LA COMPONENTE VIVA E GLI INERTI DELLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	43
2.1	ANALISI FLORISTICA E VEGETAZIONALE. CRITERI DI SCELTA DELLE SPECIE PER UN INTERVENTO DI I.N. (P. Cornelini, G. Sauli[†])	43
2.1.1	Introduzione	43
2.1.2	Metodologia tipo di analisi botanica	44
2.1.3	Analisi bioclimatica	45
2.1.4	Analisi botanica: flora e vegetazione	45
2.1.4.1	Analisi floristica	46
2.1.4.2	Analisi fitosociologica	47
2.1.5	Serie dinamica della vegetazione	48
2.1.6	Cartografia della vegetazione	50
2.1.7	Il progetto botanico	52

2.1.8	Criteri di scelta delle specie	53
2.1.8.1	Le specie autoctone	54
2.1.8.2	Specie a determinati e stadi della serie di vegetazione	54
2.1.9	Le tipologie vegetazionali di riferimento	55
2.1.9.1	Le formazioni arboree	55
2.1.9.2	Le formazioni arbustive	55
2.1.9.3	Le formazioni erbacee	57
2.1.10	I monitoraggi	59
	Bibliografia Par. 2.1	61
2.2	L'EROSIONE DEL TERRENO E SOLUZIONI TECNICHE (F. Tecchio)	63
2.2.1	Che cos'è l'erosione idrica del terreno	63
2.2.1.1	Fattori incisivi	63
2.2.1.2	Principale causa di dinamica erosiva	63
2.2.1.3	Fattori concorrenziali	63
2.2.2	Equazione universale relativa alla perdita di terreno	64
2.2.3	Azioni di controllo dei processi erosivi	64
2.2.4	Soluzioni superiori per la protezione del terreno contro l'erosione	65
2.2.4.1	Bioreti	65
2.2.4.2	Biostuoie	67
2.2.5	Sistema antierosivo a matrice di fibre legate	68
2.2.5.1	Confronto tra Matrice di Fibre Legate e le tradizionali biostuoie antierosive	68
2.2.6	Idrosemina	69
2.2.6.1	Idrosemina potenziata con mulch	71
2.2.6.2	Idrosemina a spessore	72
2.2.7	ABI-Ammendante Biotico Ingegnerizzato	72
2.3	PRODUZIONE E IMPIEGO DI FIORUME AUTOCTONO PER INERBIMENTI TECNICI (A. Ferrario, P. Lassini)	76
2.3.1	Fiorume autoctono: proprietà e tecniche produttive	76
2.3.2	L'impiego del fiorume nelle opere di Ingegneria Naturalistica	83
	Bibliografia Par. 2.3	88
2.4	TECNOSUOLI E RECUPERO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO (G. Pirrera e L. Ferrara)	89
2.4.1	Premessa	89
2.4.2	Componenti dei Tecnosuoli e Cenni Normativa Italiana	91
2.4.3	Casistica	97
2.4.3.1	Area archeologica «Le Rocche», Pietraperzia (Enna)	97
2.4.3.2	Parco sub-urbano Portella del Cerruolo (Trapani)	99
2.4.3.3	Treebox per deimpermeabilizzazione urbana affidate dal Comune di Palermo ad AIPIN Sicilia	103
2.4.3.4	Parco della salute (Palermo)	104

2.4.3.5	Giardino storico dell'Hotel Excelsior Palace di Taormina (Messina)	107
	Bibliografia Par. 2.4	109
2.5	COMPENDIO DI TECNOLOGIA DEL LEGNO, CON CENNI SU DURABILITÀ E PROPRIETÀ MECCANICHE (M. Togni)	
	111	
2.5.1	Introduzione	111
2.5.2	La materia prima_ il legno	112
2.5.2.1	Anisotropia	112
2.5.2.2	Caratteristiche macroscopiche del legno	112
2.5.2.3	Componenti del fusto legnoso	113
2.5.2.4	Legno e acqua	113
2.5.2.5	Proprietà meccaniche del legno	115
2.5.2.6	Meccanismi di degradamento del legno da attacchi fungini	117
2.5.2.7	Durabilità del legno	120
2.5.2.8	Errori e luoghi comuni sul legno	122
2.5.3	Innovazioni nella progettazione delle opere	124
2.5.3.1	Ispezioni sul costruito	128
	Bibliografia Par. 2.5	130
2.6	BIOTECNICA E BIORIMEDIO IN AREA MEDITERRRANEA (V. Latteo)	132
2.6.1	Specie vegetali coinvolte in area mediterranea	132
2.6.1.1	Database delle specie mediterranee che attivano processi di fitodepurazione	132
2.6.2	Impianti di fitodepurazione complessi	132
	Bibliografia Par. 2.6	135
3	GLI STRUMENTI IMPIEGATI IN INGEGNERIA NATURALISTICA	143
3.1	RINFORZO RADICALE – COME SI MISURA E MODELLI DI STIMA	143
3.1.1	Impiego di vegetazione autoctona negli interventi di Ingegneria Naturalistica e caratteristiche degli apparati radicali (F. Gentile, G. F. Ricci)	143
	Bibliografia Par. 3.1.1	155
3.1.2	Controllo dell'erosione: Idrosemina e Seed Clay Balls (G. Pirrera, L. M. Ferrara)	156
3.1.2.1	Introduzione	156
3.1.2.2	Approcci possibili	158
	Bibliografia Par. 3.1.2	179
3.2	IL RUOLO PROTETTIVO DEL BOSCO E LA GESTIONE SELVICOLTURALE (A. Cislaghi)	181
3.2.1	Le origini	181
3.2.2	L'attualità	182
3.2.3	Funzione protettiva contro le frane superficiali	184

3.2.3.1	Effetti idrologici	184
3.2.3.2	Effetti meccanici	187
3.2.4	Funzione protettiva contro la caduta massi e le valanghe	190
3.2.4.1	Effetto barriera	190
3.2.4.2	Carichi di neve	190
3.2.5	Funzione protettiva contro le alluvioni	191
3.2.5.1	La gestione delle foreste di protezione	191
	Bibliografia Par. 3.2	193
3.3	NUOVE STRUTTURE ANTIEROSIVE, STABILIZZANTI E CONSOLIDANTI	199
3.3.1	Evoluzione delle tecniche consolidanti di Ingegneria Naturalistica (P. Cornelini)	199
3.3.1.1	Introduzione	199
3.3.1.2	La statica	200
3.3.1.3	La palificata viva "Roma"	204
3.3.1.4	La palificata viva latina	206
3.3.1.5	La palificata viva loricata, opera di consolidamento di Ingegneria Naturalistica a struttura metallica	210
	Bibliografia Par. 3.3.1	217
3.3.2	Rinforzo del rinforzo radicale (R^3) (F. Preti)	217
3.3.2.1	Strutture prefabbricate, pieghevoli e trasportabili (Preti)	219
	Bibliografia Par. 3.3.2	224
3.3.3	Le rotofascine modulari (RFM): un esempio di economia circolare nell'Ingegneria Naturalistica (F. D'Asaro, R. Calvo, G. Pirrera, S.S. Palermo, G. Baiamonte)	224
3.3.3.1	Premesse	224
3.3.3.2	Il brevetto di opera di stabilizzazione	226
3.3.3.3	Realizzazione dei prototipi	229
3.3.3.4	Conclusioni	243
	Bibliografia Par. 3.3.3	243
3.4	CENNI SUL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA (G. Menegazzi, F. Palmeri)	245
3.5	IL CRITERIO DELLA MASSIMA APPLICABILITÀ DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA E LA NORMATIVA (G. Doronzo)	247
	Bibliografia Par. 3.5	259
3.6	TRASFERIBILITÀ DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA IN PAESI A BASSO REDDITO: ESPERIENZE NELLE ANDE TROPICALI (C. Crocetti, F. Preti)	263
3.6.1	Trasferibilità dell'Ingegneria Naturalistica nei paesi a basso reddito	263
3.6.2	Trasferibilità dell'Ingegneria Naturalistica in Centro e Sud America	264
3.6.2.1	Analisi di trasferibilità in Centro e Sud America	264

3.6.3	Esperienze nell'area andina tropicale	266
3.6.3.1	Area in esame	269
3.6.3.2	Fase di progettazione	271
3.6.3.3	Fase di costruzione	273
3.6.4	Conclusioni	276
	Bibliografia Par.3.6	279
4	L'INGEGNERIA NATURALISTICA E LE ACQUE	283
4.1	IL DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA (V. Ferro)	283
4.1.1	Introduzione	283
4.1.2	Influenza della vegetazione in alveo	284
4.1.2.1	Studio del comportamento idraulico degli elementi di vegetazione	284
4.1.2.2	Resistenze al moto in presenza di vegetazione	287
4.1.3	Opere in massi	293
4.1.3.1	Briglie in massi	293
4.1.3.2	Rampe in massi	295
	Bibliografia Par. 4.1	302
4.2	DESERTIFICAZIONE 1981-2021 (G. Pirrera, L. M. Ferrara)	307
4.2.1	Generalità	307
4.2.2	Le metodologie di approccio	309
4.2.2.1	GOALS 2030	309
4.2.2.2	MEDALUS (1999)	310
4.2.3	UN DLDD (Desertification Land Degradation & Drought,2007)	312
4.2.4	La segregazione del carbonio	313
4.2.5	Il check europeo	316
4.2.6	Il rischio desertificazione in Sicilia	321
4.2.7	Caso Studio: Parco sub-urbano Portella del Cerriolo (Custonaci, Trapani)	324
4.2.8	Caso Studio: Area archeologica «Le Rocche», Pietraperzia (Enna)	325
4.2.9	Riflessioni e conclusioni dall'Oreto all'Alcantara: una involuzione o una evoluzione?	325
	Bibliografia Par.4.2	327
4.3	AREE UMIDE QUALE COMPENSAZIONE AMBIENTALE PER IL RISCHIO DESERTIFICAZIONE: CASI STUDIO (G. Pirrera)	329
4.3.1	Perché le Nature Based Solutions (NBS) consentono di contrastare la desertificazione con aree umide	329
4.3.2	Generalità sulla depurazione naturale	331
4.3.2.1	Meccanismi di trattamento dei contaminanti	332
4.3.2.2	Tipologie di sistemi di fitodepurazione	333

4.3.2.3	La vegetazione	334
4.3.3	Restauro ecologico e ricostruzione di aree umide a obiettivo multipli: CASI STUDIO	337
4.3.3.1	Conservazione e Capitale Naturale	337
4.3.3.2	Restauro fluviale e fitorimedio	347
4.3.3.3	Ecologia industriale	355
	Bibliografia Par. 4.3	364
5	LA MANUTENZIONE ED IL MONITORAGGIO DELLE OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	366
5.1	MONITORAGGI IN ITALIA SU OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	366
5.1.1	Il monitoraggio della componente viva (P. Cornelini)	366
5.1.1.1	Gli interventi in ambito idraulico	368
5.1.1.2	Gli interventi in ambito di versante	375
5.1.1.3	Risultati conclusivi del monitoraggio	380
5.1.2	Il caso della Gola del Furlo (PU) (P. Giacchini)	383
5.1.2.1	La Riserva Naturale Statale Gola Del Furlo (PU)	383
5.1.2.2	Metodologia	384
5.1.2.3	Il monitoraggio	387
5.1.2.4	Esempio - Palificata Roma	387
5.1.2.5	Esempio - Palificata Roma	393
5.1.2.6	Parametri del monitoraggio	397
5.1.2.7	Conclusioni	401
6	LA PIANIFICAZIONE DEL VERDE ED INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA	403
6.1	ECOSISTEMI E IL VALORE ECOLOGICO DEGLI INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA, ESEMPI DI VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI (R. Santolini)	403
6.1.1	Introduzione	403
6.1.2	Gli ecosistemi	405
6.1.3	Funzioni ecologiche e servizi ecosistemici	406
6.1.4	Il valore e la valutazione	408
6.1.5	Considerazioni conclusive	412
	Bibliografia Par. 6.1	413
6.2	STOCCAGGIO DELLA CO₂ (M. Togni)	416
	Bibliografia Par. 6.2	418
6.3	LIFE CYCLE ASSESSMENT DELLE OPERE A VERDE (M. Cellura, S.R. La Mantia)	419
6.3.1	Introduzione	419
6.3.2	La metodologia LCA	420

6.3.3	La LCA applicata alle opere a verde	421
6.3.3.1	Approcci metodologici	426
6.3.4	Ecoprofili degli interventi di Ingegneria Naturalistica	426
6.3.5	Prospettive e conclusioni	430
	Bibliografia Par. 6.3	431
6.4	I.N. E CAM PER IL VERDE E LA SOSTENIBILITÀ IN AMBITO URBANO (F. Vallone)	433
6.4.1	Criteri Ambientali Minimi (CAM)	433
6.4.1.1	CAM per il verde pubblico	433
7	SOFTWARE DI SUPPORTO AD INTERVENTI DI I.N.	439
7.1	SOSlope e SlideforNET (F. Giadrossich, I. Murgia e M. Schwarz)	439
7.1.1	SOSlope	439
7.1.2	SlideforNET	440
	Bibliografia Par. 7.1	442
7.2	STRUMENTI E SOFTWARE INNOVATIVI PER LA VALUTAZIONE DI STABILITÀ DI VERSANTI VEGETATI : SSAP- Slope Stability Analysis Program (L. Borselli, F. Preti, M. Uzielli, D.Boni)	444
7.2.1	SSAP- Slope Stability Analysis Program (www.ssap.eu)	444
7.2.1.1	Storia e obiettivi del codice SSAP	444
7.2.1.2	Caratteristiche del software SSAP	446
7.2.1.3	Esempi di Applicazioni in Ingegneria Naturalistica: ciglionamenti rinforzati da supporto radicale	451
7.2.1.4	Esempi di Applicazioni in Ingegneria Naturalistica: applicazione in Nature Based Berlinese	456
7.2.1.5	Conclusioni	460
	Bibliografia Par.7.2	461

Bibliografia Par. 3.3.2

Cornelini, P., Preti, F., 2005 – Elementi di geotecnica applicata all’I.N.: aspetti generali, criteri di dimensionamento e verifiche di stabilità, Manuale di I.N. della Regione Lazio, vol. 2, cap. 10

Menegazzi G., Palmeri F., 2013 – Dimensionamento delle opere di ingegneria naturalistica – aspetti innovativi e verifiche preliminari. Assessorato per l’Ambiente Dipartimento Ambiente e Protezione Civile, Regione Lazio

Giambastiani Y.; Approccio multidisciplinare per l’analisi della distribuzione radicale delle piante con metodologie indirette e non distruttive; Università degli Studi di Firenze; 2017

Guastini, E., Preti, F. (2013) – Monitoring of live and woody elements, EGU General Assembly 2013, Wien, Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-12472

Guastini, E., Brucalassi F., Mazzanti L., Preti F., *Innovazioni in Ingegneria Naturalistica*, Sherwood.

Brucalassi, E. Guastini, L. Mazzanti, F. Preti, Novel solutions for soil and river bioengineering: prefabricated and folding frameworks, 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE SOIL BIO- AND ECO-ENGINEERING: THE USE OF VEGETATION TO IMPROVE SLOPE STABILITY Sydney, Australia, 11 – 14 July 2016 SBEE67

<https://www.evintechsrl.it/wooden-blocks-gallery/>

Normativa di riferimento

ISO 898, 2009 – Classi di resistenza per elementi di collegamento. International Organization for Standardization

UNI 11035, 2010 – Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica. Ente Nazionale Italiano di Unificazione

UNI EN 384, 2004 – Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica. Ente Nazionale Italiano di Unificazione

3.3.3 Le rotofascine modulari (RFM): un esempio di economia circolare nell’Ingegneria Naturalistica (F. D’Asaro, R. Calvo, G. Pirrera, S.S. Palermo, G. Baiamonte)

3.3.3.1 Premesse

Si presenta un’idea progettuale nel campo delle opere di Ingegneria Naturalistica (IN) basata su una serie di principi quali:

- 1) il riutilizzo di materiali di scarto e la loro immissione nel ciclo produttivo;
- 2) l'uso di risorse rinnovabili;
- 3) l'ecosostenibilità e l'adeguatezza ambientale dell'opera IN proposta.

Questi punti rappresentano proprio i canoni dell'Economia Circolare (sistema economico che può rigenerarsi da solo garantendo l'ecosostenibilità) che vengono applicati nella realizzazione di un'opera di IN. Ovviamente, non sarà sviluppato il tema economico ma quello costruttivo di un'opera di IN che si inquadra perfettamente nello spirito di questo approccio economico così attuale e diremmo oggi ormai indispensabile per una crescita sostenibile nel rispetto dell'ambiente.

L'elemento base dell'opera proposta è una versione moderna della fascina che, come ben noto, è la raccolta di rami di piccola dimensione, di origine antichissima. L'intervento descrive l'idea posta a base del progetto di manufatto e la susseguente realizzazione di prototipi dell'opera IN brevettata dall'Università di Palermo.

Il processo realizzativo è coerente con le politiche economiche dell'Unione Europea, per le quali l'economia è circolare quando un sistema conserva il più a lungo possibile il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse economiche, implementando il riutilizzo, la riparazione, la rigenerazione o il riciclaggio dei prodotti e riducendo di conseguenza la produzione di rifiuti.

Coerente anche con *“Il Green Deal europeo”* che vuole tendere a costruire un modello economico che oltre ad essere sostenibile, crei opportunità e riduca l'inquinamento climatico. È parte di questi obiettivi una *“politica dei prodotti sostenibili”* che riduca in modo significativo i rifiuti e laddove non sia possibile, ne recuperi il valore economico, azzerandone o minimizzandone l'impatto sull'ambiente e i cambiamenti climatici.

Un approccio questo che rispetta inoltre il principio DNSH (*Do No Significant Harm*) previsto dal Regolamento (UE) 2020/852, del 18 giugno 2020, relativo all'istituzione di un quadro (Regolamento Tassonomia) che favorisce e definisce *“investimento sostenibile”* le attività economiche che contribuiscono a raggiungere un obiettivo ambientale e/o un obiettivo sociale, a condizione però che tali investimenti *“non arrechino un danno significativo”*.

Per il manufatto proposto si tiene conto del ciclo di vita dei sarmenti e dei servizi forniti dalle attività vitivinicole senza arrecare un danno significativo ai sei obiettivi ambientali contemplati nel regolamento Tassonomia, ovvero: a) alla mitigazione dei cambiamenti climatici; b) all'adattamento ai cambiamenti climatici; c) all'uso sostenibile e alla protezione delle acque e delle risorse marine; d) all'economia circolare, compresi la prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti; e) alla prevenzione e alla riduzione dell'inquinamento dell'aria, dell'acqua o del suolo; f) alla protezione e al ripristino della biodiversità e degli ecosistemi.

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

Quindi utile e soprattutto DNSH in coerenza per l'utilizzo dell'Ingegneria Naturalistica come "Investimento sostenibile" per le misure del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) dei Paesi dell'Unione Europea.

È dunque questo il contesto in cui vanno lette ed interpretate le norme europee ed italiane sui sottoprodotti dell'economia circolare.

3.3.3.2 Il brevetto di opera di stabilizzazione

Il brevetto dell'opera IN di stabilizzazione, più avanti descritto, riguarda essenzialmente il metodo e i materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione dell'opera stessa. Più precisamente viene avanzata una tecnica innovativa che prevede la formazione di elementi modulari costruttivi, realizzati con materiali organici di scarto a basso costo, ed il sistema di montaggio per la formazione dell'opera. La metodologia costruttiva e l'ingegnerizzazione del processo è oggetto del brevetto di invenzione industriale n. 102017000141369 del 27/02/2020 depositato dall'Università degli Studi di Palermo.

L'idea base

La ricerca sul riuso di materiali organici di scarto nel campo dell'Ingegneria Naturalistica, effettuata nell'ambito delle attività dell'insegnamento "Tecniche di Ingegneria Naturalistica" (Prof. F. D'Asaro - 2007/2017, Dipartimento SAAF dell'Università di Palermo), ha portato alla messa a punto della tecnica di costruzione per moduli di una fascinata (*Calvo, 2018a*).

L'idea di base del brevetto consiste nel recupero di materiali organici di scarto delle lavorazioni agricole che, attraverso il riciclo nel manufatto di IN, individuano una nuova destinazione d'uso, non interrompendo il loro ciclo energetico e produttivo. Nel contempo, biomasse spiaggiate, opportunamente trattate, sono destinate alla costituzione del substrato di coltivazione per la crescita di specie autoctone nel corpo dell'opera. I residui di potatura della vite, ovvero i sarmenti, e *Posidonia oceanica* spiaggiate (Figura 3.63) costituiscono le due biomasse impiegate nell'invenzione che, rappresentando rispettivamente uno scarto di produzione agricola (sarmenti) ed un rifiuto solido (*P. oceanica*), inquadrano il loro impiego:

- in un uso efficiente delle risorse (riuso sostenibile);
- nel risparmio economico ed energetico, nel pieno rispetto dell'ambiente.

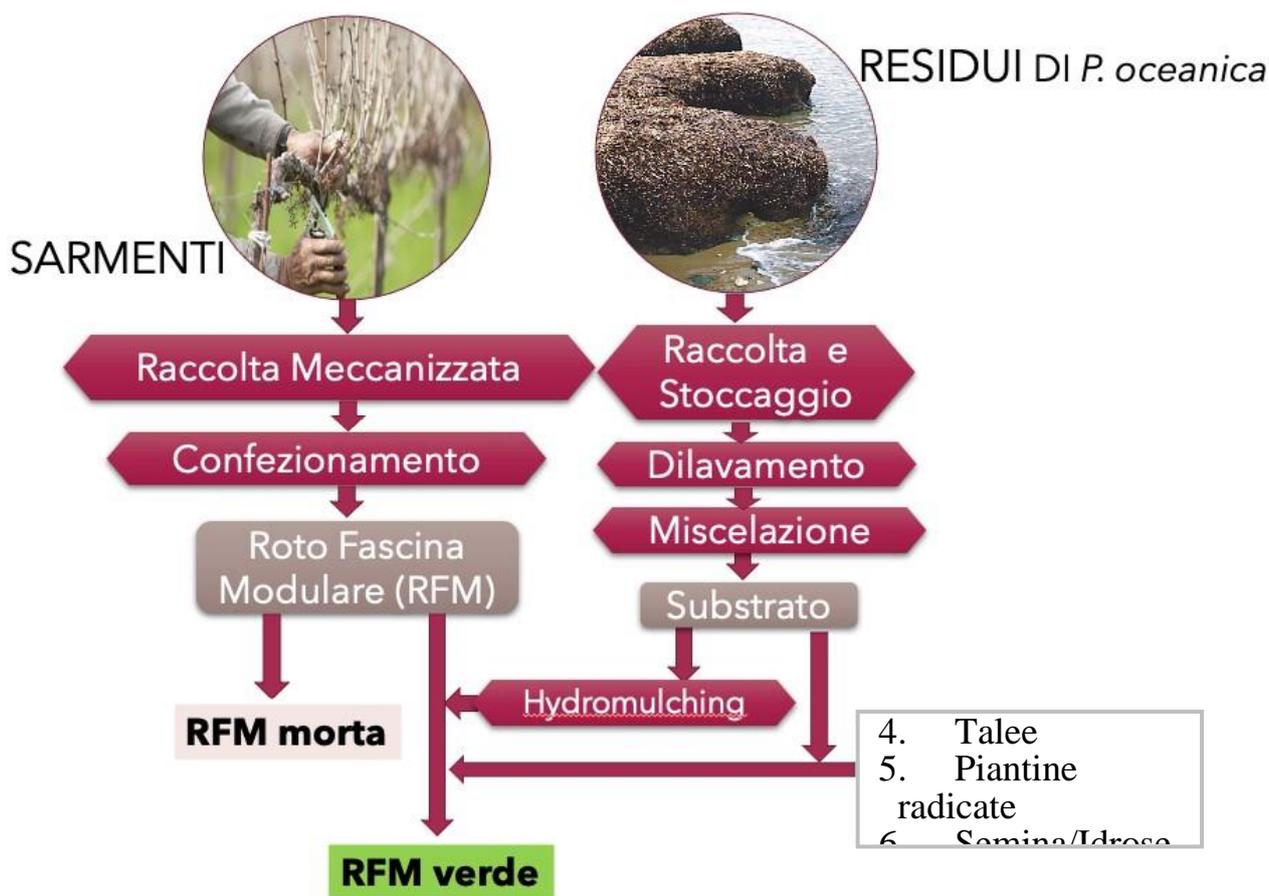


Figura 3.63 Idea base per la costituzione delle Roto Fascine Modulari (RFM).

L'elemento base dell'opera (modulo) è una fascina di sarmenti assemblata meccanicamente con macchine agricole specializzate ed attualmente in commercio. L'assemblaggio meccanico dei moduli, che prendono il nome di rotofascine modulari (RFM), comporta il miglioramento del processo di produzione, rispetto alle opere tradizionali (fascine), traducendosi in un aumento della produttività e ad un contenimento dei costi e dei tempi di costruzione, rispetto a manufatti alternativi di pari finalità. Il nuovo prodotto, realizzato con materiali di scarto locali e rinnovabili, risponde alla crescente richiesta del mercato in tema di difesa e salvaguardia del territorio, contro un quadro di offerta di analoghi manufatti di importazione e di costo più elevato (ed es. biorulli in fibra di cocco, etc.).

I sarmenti come materiale da costruzione dell'opera

Il materiale di scarto utilizzato per la realizzazione dei moduli di fascine sono i residui di potatura della vite o, sarmenti. Il materiale presenta vantaggiosamente tutti i caratteri di eco-compatibilità: ha un costo praticamente nullo, ed è un materiale rinnovabile ogni anno e di facile reperibilità nel territorio nazionale. Il riuso di questo materiale ligneo, in alternativa alla sua bruciatura, o all'interramento o al suo conferimento in discarica, costituisce un notevole vantaggio sia dal punto di

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

vista ecologico che economico. Analisi sulle caratteristiche meccaniche dei sarmenti, volte a testare resistenza e durabilità del materiale, hanno mostrato valori delle tensioni di rottura variabili da 35 a 55 MPa in dipendenza della cultivar.

Fondamentale per la produzione del manufatto è la grande disponibilità territoriale di tale materiale soprattutto in Sicilia, ma anche nella più estesa area europea e mediterranea.

In particolare, nel panorama vitivinicolo nazionale la Sicilia gioca da sempre un ruolo fondamentale, specie in termini quantitativi, essendo la regione con la maggior superficie vitata del paese, e con una conseguente alta produzione di biomassa annuale.

Uso dei residui spiaggiati di *Posidonia oceanica* come substrato di coltivazione

I residui di *P. oceanica*, preventivamente dilavati, saranno utilizzati, secondo brevetto, per costituire il substrato di coltivazione dei moduli di sarmenti, in sostituzione del terreno vegetale. I moduli (RFM), confezionati a bassa densità, consentono infatti il loro riempimento con un substrato di coltivazione preseminato costituito da una miscela di *P. oceanica* spiaggiata, residui vegetali organici compostati e una miscela di semi autoctoni.

Lo spiaggiamento dei residui di *P. oceanica* è un fenomeno naturale che annualmente si rileva in tutti i paesi bagnati dal Mar Mediterraneo e rappresenta pertanto, una elevata fonte rinnovabile di biomassa. L'uso delle spiagge a scopo turistico attualmente comporta la rimozione di questi residui, percepiti negativamente dai bagnanti e dagli stabilimenti balneari a causa dei possibili fenomeni degradativi. La loro rimozione, quindi, comporta quindi un triplice vantaggio: la fruizione della spiaggia, la risoluzione del problema dello smaltimento dei residui e la creazione di nuovi prodotti locali ed a basso costo, riutilizzabili nel campo del risanamento ambientale.

La formazione di uno strato di terreno "sintetico" fertile utile per l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione all'interno delle RFM, preserva al contempo le risorse naturali non rinnovabili, in un territorio colpito dal crescente fenomeno della desertificazione.

Inoltre, l'elevato grado di porosità dei residui riduce il fenomeno dell'asfissia radicale, consentendo un buon drenaggio (*Baiamonte et al, 2019*) e creando le condizioni ottimali per l'attecchimento della vegetazione (*Calvo, 2018b*).

Costituzione della Fascinata

L'opera lineare di IN sarà realizzata collegando i moduli RFM con un sistema di montaggio che renderà solidale la struttura. Questo consentirà alla fascinata risultante, nella fase iniziale di pre-inverdimento, di sostenere la spinta delle terre del riempimento di monte. Il collegamento avverrà con cavi tessili o metallici passanti longitudinalmente all'interno o esternamente alle RFM ed in fase di montaggio sarà possibile una lieve precompressione per aumentare la coesione degli elementi. La

fascinata, così collegata e vincolata su punti discreti al terreno, aumenterà il proprio grado di resistenza meccanica e di reazione alla spinta da tergo, aumentando la propria strutturalità (Figura 3.64).

Uno schema di calcolo possibile potrebbe essere quello della fune su più appoggi (catenaria) ribaltando il piano di azione delle forze di 90° .

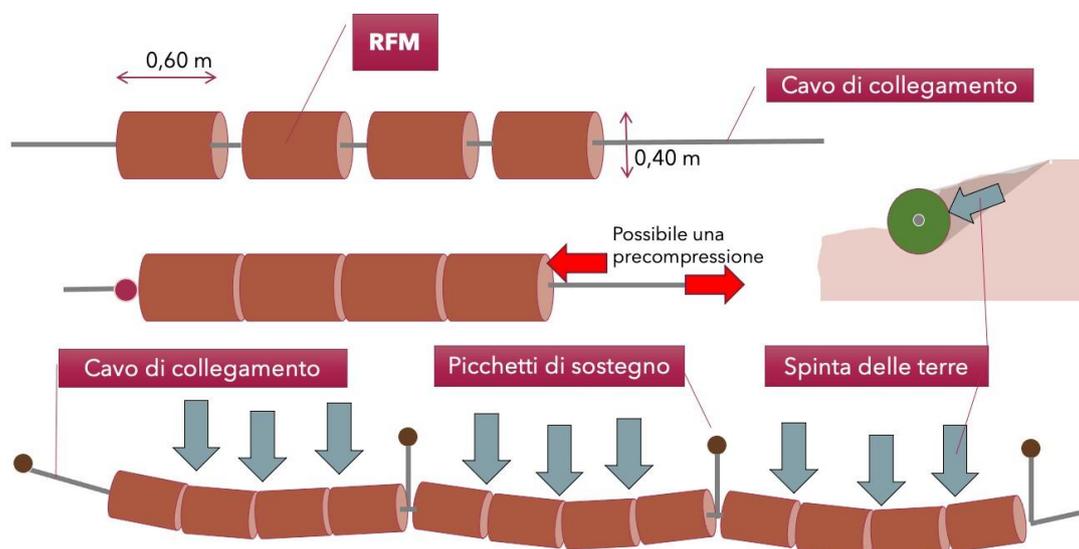


Figura 3.64 Schema fascinata costituita da RFM.

3.3.3.3 Realizzazione dei prototipi

Progetto Jump-Poc Mise 2020

Con DR 649 del 30/10/2020 della Scuola Superiore Sant'Anna, della Scuola Normale Superiore di Pisa, e dell'Università di Palermo, veniva pubblicato avviso di manifestazione di interesse rivolto al personale docente e ricercatore strutturato presso i tre Atenei, finalizzato all'attuazione di iniziative di Proof of Concept (PoC) nell'ambito del progetto JUMP (*Joint Universities' program for PoC*), finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico. Dal momento che la nuova tecnologia era stata soltanto formulata per via teorica, la proposta di progetto RiVite (Università di Palermo, RS G. Baiamonte), accolta in data 9/1/2021, si mostrò subito una valida occasione per l'auspicabile incremento del TRL (*Technology Readiness Level*) che, all'epoca della concessione del brevetto (n. 102017000141369 del 31/8/2021, inventori R. Calvo, F. D'Asaro, G. Baiamonte), era pari a 2. La realizzazione delle opere sopra descritte ha infatti consentito il raggiungimento del TRL 5, con la *tecnologia dell'idea brevettuale che si è vista convalidata in campo*. L'ulteriore incremento di sviluppo tecnologico che si attende a fine Progetto, previsto a giugno 2022, condurrebbe a TRL 7 (*Dimostrazione di un prototipo di sistema in ambiente operativo*).

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

Il progetto RiVite finanziato dal MISE prevede quindi la progettazione dell'impianto sperimentale di prototipi dell'opera di IN, in linea con l'idea brevettuale, la sua realizzazione e il successivo monitoraggio al fine di evidenziarne l'efficacia.

Il team di lavoro è composto dai proponenti e dall'impresa co-finanziatrice Jonica 2001 Soc. Coop. ARL, con sede a Giarre (CT), che ha eseguito i lavori.

Ambiente ed area di intervento

I prototipi di opera di IN, sono stati realizzati in due aree limitrofe al Parco Regionale dell'Etna, aventi caratteristiche pedoclimatiche alquanto differenti (Figura 3.65).

Il primo sito oggetto di intervento, denominato A nel progetto, è ubicato nel comune di Nicolosi ad una quota di circa 670 m s.l.m. La temperatura media registrata è di circa 14°C, la temperatura del mese più freddo (febbraio) è di 3,4°C, la temperatura del mese più caldo (luglio) è di 30,2 °C. La piovosità media annuale è di circa 580 mm, con precipitazioni concentrate prevalentemente in inverno. Il mese più piovoso è gennaio con 83 mm. Per quanto riguarda il contesto territoriale, il sito si trova nelle vicinanze del centro abitato di Nicolosi, i terreni limitrofi sono per la maggior parte inutilizzati, mentre i terreni coltivati circostanti presentano come coltura in atto la vite e l'olivo. Inoltre, sull'area in oggetto è presente un vincolo idrogeologico. Il suolo presente nell'area risulta essere costituito essenzialmente da ghiaie e conglomerati a matrice sabbiosa, debolmente cementate, di colore giallastro, con sporadiche intercalazioni di sabbie e argille a stratificazione obliqua.

La vegetazione presente è tipica della macchia mediterranea e nello specifico vi sono anche diversi endemismi dell'Etna.

Le specie identificate nell'area sono: *Silene vulgaris* (Moench) Garcke, *Isatis tinctoria* L. subsp. *tinctoria*, *Achillea ligustica* All., *Echium vulgare* L. subsp. *pustulatum* (Sm.) Bonnier & Layens, *Centranthus ruber* (L.) DC. subsp. *ruber*, *Vicia villosa* Roth, *Linaria purpurea* (L.) Mill., *Micromeria graeca* (L.) Benth. ex Rchb., *Lupinus angustifolius* L., *Scrophularia canina* L., *Rumex scutatus* L. subsp. *aetnensis* (C. Presl) Cif. & Giacom., *Linaria multicaulis* (L.) Mill. subsp. *aetnensis* Giardina & Zizza, *Oloptum miliaceum* (L.) Röser & H.R. Hamasha, *Dactylis glomerata* L. *hispanica* (Roth) Nyman, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., *Helichrysum italicum* (Roth) G.Don, *Euphorbia ceratocarpa* Ten., *Celtis australis* L., quercus, *Quercus coccifera* L., *Pistacea terebinthus* L., *Genista aetnensis* (Raf. ex Biv.) DC.

La seconda area oggetto d'intervento, denominata B, è ubicata nel comune di Giarre ad una quota di circa 320 m s.l.m. La temperatura media registrata è di circa 16°C, la temperatura media minima del mese più freddo (febbraio) è di 4.9 °C, la temperatura media massima del mese più caldo (agosto) è di 27,7 °C. La piovosità media annuale è di circa 1039 mm, con precipitazioni concentrate nel periodo autunnale. Il mese più piovoso è ottobre con 153 mm. Per quanto riguarda il contesto territoriale, il

sito si trova nelle vicinanze del centro abitato di San Giovanni, i terreni limitrofi sono per la maggior parte coltivati con colture arboree da frutto, nel terreno oggetto di intervento la coltura prevalente è l'avocado. Il terreno originatosi dalla disgregazione delle rocce vulcaniche di tipo basaltico o andesitico si presenta ricco di scheletro, sciolto, molto permeabile, di colore bruno più o meno scuro. Per quanto concerne la vegetazione, nell'area circostante è presente la vegetazione tipica del Parco dell'Etna.



Figura 3.65 a) Localizzazione siti di intervento; b) sito A (Nicolosi, CT), c) sito B (Giarre, CT).

Raccolta meccanizzata e costituzione delle RFM

Secondo le linee di Brevetto gli elementi modulari che serviranno alla costruzione dell'opera di IN avranno origine dalla raccolta meccanizzata dei sarmenti. Nel progetto RiVite è stata utilizzata la rotoimballatrice per sarmenti QUICKPOWER 1230 della CAEB International operante su filari maggiori di 160 cm, capace di compiere l'intero ciclo di lavorazione:

- carico dei sarmenti in macchina (sino a 30 mm di diametro);
- legatura della balla con spago in fibra naturale;
- scarico automatico dal portello posteriore in pochi minuti (Figura 3.66).



Figura 3.66 a) Raccolta sarmenti e produzione RFM con rotoimballatrice CAEB, b) pesa delle RFM, c) RFM a bassa densità (100 kg/m³).

Le dimensioni della balla prodotta sono: 40 cm di diametro per un'altezza di 60 cm.

La macchina, trainata da un trattore MARS Pasquali 80.8, esegue la raccolta lungo filari di sesto 200x80 cm dove i residui di potatura vanno preventivamente disposti in senso perpendicolare alla direzione di moto della macchina. I sarmenti raccolti derivano da 3 cultivar tipiche dell'area etnea: Nerello mascalese (20 anni), Nerello cappuccio (16 anni), Carricante (4 anni).

L'imballaggio meccanizzato consente di aumentare notevolmente la densità apparente delle fascine che passa dai 40-80 Kg/m³ della fascina tradizionale ai 100-300 Kg/m³ della rotoballa (Tab. 3.3).

Agendo su un dispositivo che consente la regolazione della compressione nella camera di avvolgimento della rotoimballatrice, è possibile variare la densità apparente delle rotoballe appena raccolte (umide), come segue:

Tab. 3.3 Tabella delle Densità.

Compressione	Densità apparente [Kg/m ³]	Peso rotoballa [Kg]
max	300	24,0
90%	281	22,0
50%	182	14,6
min	96	7,7

Tale possibilità consentirà di scegliere la densità più opportuna per effettuare un efficiente riempimento con materiale terroso che faccia da substrato di coltivazione per il rinverdimento della rotoballa. Le caratteristiche di produzione delle RFM rilevate durante la campagna di raccolta 2020, sono riportate in Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Dati di produzione delle RFM.

Velocità di raccolta [RFM/ora]	Produzione specificata [RFM/ha]	Peso medio RFM umide [Kg]	Peso medio RFM secche [Kg]
14	48	20 (Nerello) 25 (Carricante)	10 (Nerello) 12 (Carricante)

Subito dopo la raccolta il processo costruttivo delle opere prevede lo stoccaggio temporaneo delle RFM e la realizzazione del sistema di collegamento degli stessi moduli. Dall'osservazione che le RFM tendono ad aprirsi e scompaginarsi con il procedere dell'essiccamento naturale e con il deterioramento del filo di juta, è scaturita la necessità di cerchiare le rotoballe con filo di ferro. Solo con questo provvedimento sarà possibile la successiva movimentazione e le operazioni di carico/scarico senza danneggiare i moduli. La predisposizione di due anelli disposti sul cerchiaggio su due punti diametralmente opposti che consente il passaggio di un cavo di collegamento, permette di realizzare un efficace sistema di giunzione delle RFM. Questa operazione di cerchiaggio determina la costituzione definitiva dell'elemento modulare. Il sistema permette collegamenti sia longitudinali (tra le RFM) che trasversali (dalle file di RFM a punti di bloccaggio intermedi) che tra file di RFM sovrapposte. I cavi di collegamento saranno fissati alle due estremità della fascinata (fila di RFM) o in punti intermedi a picchetti di tenuta tramite tendifili o arriatoi.

I prototipi di fascinata

Sono stati predisposti 4 prototipi che si diversificano per la struttura, la messa in opera e le modalità di collegamento delle RFM riproducendo diverse caratteristiche statiche dell'opera lineare IN di tipo stabilizzante. È stata sempre mantenuta un'altezza di opera inferiore al metro. Le due tipologie, denominate A1 e A2, sono state localizzate a monte dell'Azienda Serafica in Contrada Monpiliari a sud di Nicolosi, a quota 685 m s.l.m.. Le altre due tipologie, denominate B1 e B2, sono state disposte all'interno del Vivaio Emmanuele sito in Contrada Paoli (Giarre) a sud est dell'abitato di S. Alfio, a quota 320 m s.l.m. Entrambe i siti sono limitrofi alle aree protette del Parco Regionale dell'Etna. I prototipi A1 ed A2, disposti sullo stesso allineamento, lungo complessivamente 60 m, a bordo del

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

vigneto esistente, sono stati messi a protezione del piede di uno scavo di sbancamento di un versante acclive che ha permesso il recupero di un nuovo filare. Funzione statica specifica dei due prototipi è quella del sostegno e della stabilizzazione del piano di scavo. Il prototipo A1, lungo 30 m, di altezza complessiva fuori terra 80 cm, consiste in una palizzata con traversi di rinforzo e parete di chiusura formata da due file sovrapposte di RFM non collegate (Figura 3.67). La palizzata è costituita da picchetti di castagno di altezza 1 m fuori terra posti a distanza di 60 cm (un palo per RFM) collegati da un corrente a mezza altezza. I traversi, disposti a 50°, distano tra di loro 1,80 m. In questo schema le RFM non hanno alcuna funzione statica.

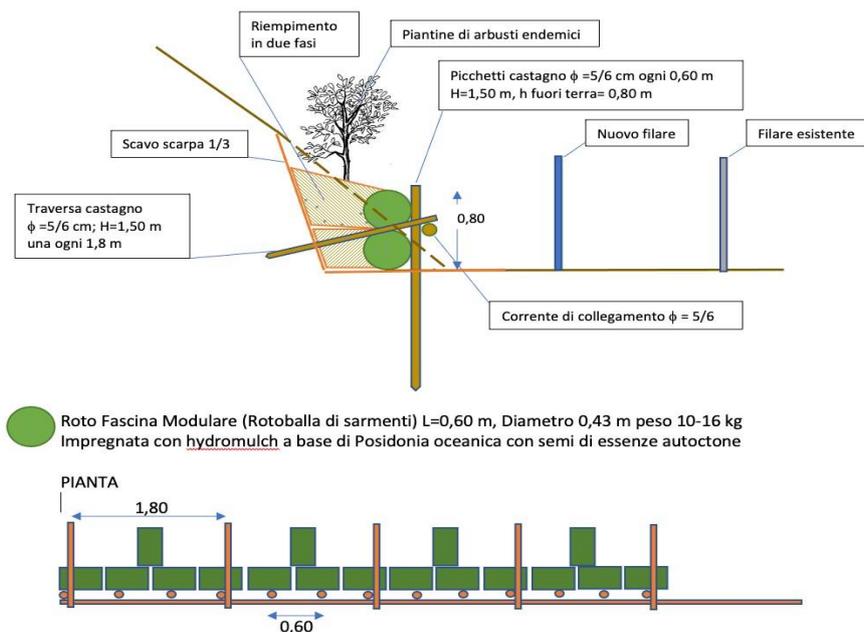


Figura 3.67 Schema di sezione tipo e pianta prototipo A1.

Il prototipo A2 prevede invece una piena funzione statica della fascinata costituita da due file sovrapposte di RFM (Figura 3.68). Le singole file sono collegate da due cavi di collegamento longitudinali, tirantati e fissati agli estremi e in punti intermedi dell'opera a picchetti metallici ad elica per vigneto. Il paramento frontale dell'opera è rinforzato da un cavo metallico che lega le due file sovrapposte con un andamento a zig zag. La struttura nel suo insieme reagisce alla spinta delle terre con il comportamento di una catenaria vincolata a punti discreti.

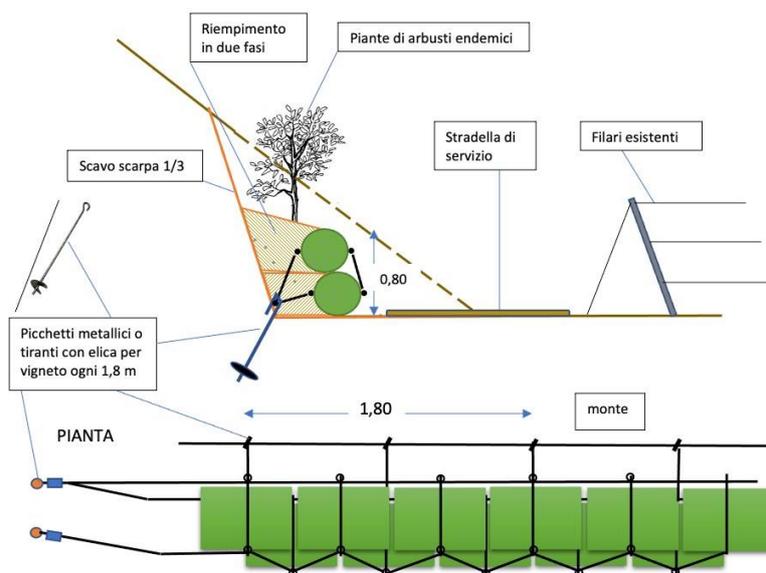


Figura 3.68 Schema di sezione tipo e pianta prototipo A2.

I prototipi B1 e B2, di minore estensione (4,2 m e 5,4 m), sono stati disposti lungo il ciglio superiore di un terrazzamento in corrispondenza di un muro di contenimento in pietra che ha ceduto in più punti. L'intervento è quindi di "sarcitura" del muro esistente ricostituendo due tratti mancanti.

Il prototipo B1 consiste in due gradoni realizzati da due fascinate di RFM a doppia altezza chiuse da rete metallica a maglia sciolta fissata a terra da picchetti metallici (Figura 3.69). I gabbioni risultanti sono sostenuti a valle da picchetti metallici 1 m fuori terra, posti a distanza di 0,60 m. Lo schema statico è un misto tra quello della terra armata e quello della gabbionata. Il dislivello complessivo dell'opera raggiunge 1,70 m per una larghezza dei gradoni pari a circa 2 m.

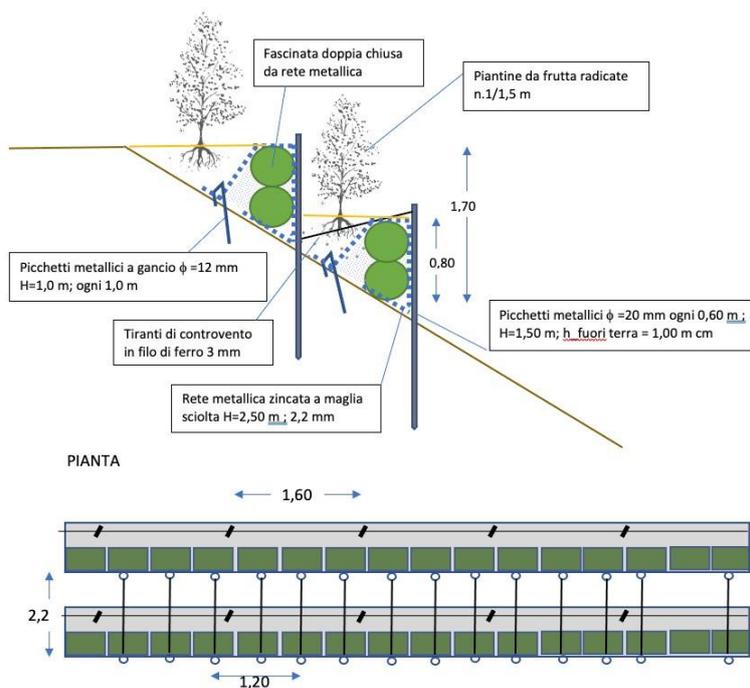


Figura 3.69 Schema di sezione tipo e pianta prototipo B1.

Il prototipo B2 si prefigura come una gradonata costituita da tre distinte file di RFM poste a distanza di 1,7 m lungo la pendice (Figura 3.70). Ciascuna fila viene collegata da due cavi correnti laterali vincolati a picchetti metallici agli estremi ed in punti intermedi. Il dislivello complessivo dell'opera raggiunge 1,5 m per una larghezza totale di circa 6 m.

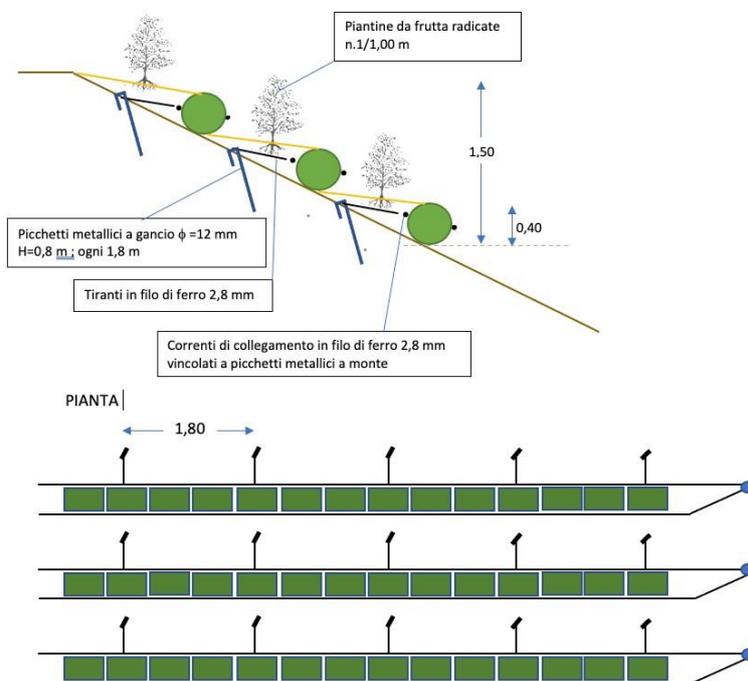


Figura 3.70 Schema di sezione tipo e pianta prototipo B2.

Previo intasamento delle roto fascine con una miscela di residui di *P. oceanica* spiaggiata e sostanza organica, tutti i prototipi saranno rinverditati sia in corrispondenza della fascinata di RFM che sul riempimento a tergo dell'opera.

Il piano sperimentale (Tab. 3.5) prevede quattro tipologie strutturali (A1, A2, B1, B2) due tratti di controllo (senza trattamento) o "bianchi" (A1.0, A2.0) e 9 tesi riguardanti il trattamento della fascinata. Due tesi sono distinte per la tipologia A1 (A1.1, A1.2), tre tesi per la tipologia A2 (A2.1, A2.2, A2.3), due tesi per la tipologia B1 (B1.1, B1.2) e due tesi per la tipologia B2 (B2.1, B2.2). La sperimentazione mira principalmente alla distinzione tra la semina naturalistica fatta con miscuglio di semi di piante autoctone e semina fatta con semi commerciali. Per la piantumazione del piano di riempimento dei prototipi A è previsto l'uso della vite e dello scornabecco che rappresentano una forte cucitura ambientale e paesaggistica tra l'opera e l'area produttiva. Nei prototipi B i piani di riempimento saranno piantumati con piante da frutto in armonia con la destinazione dell'area (vivaio).

Tab. 3.5 Piano sperimentale.

Azienda	Prototipi sito A (Serafica - Nicolosi)								Prototipi sito B (Vivai Emmanuele-Giarre)							
Codice prototipo	A1.0	A1.1		A1.2	A2.1	A2.2	A2.3		A2.0	B1.1	B1.2		B2.1	B2.2		
Lunghezza [m]	6	12		12	6	6	12		5	2,1	2,1		2,7	2,7		
Nella fascinata	Bianco	Semina Starter commerciale		Semina naturalistica 0	Semina naturalistica 1	Semina naturalistica 2	Semina Starter commerciale		Bianco	Semina Starter commerciale	Aromatiche (piantine in)		Semina Starter commerciale	Aromatiche (piantine in vassoio)		
Sul riempimento	Bianco	Vite ad alberello	Scornabecco	Scornabecco	Scornabecco	Scornabecco	Vite ad alberello	Scornabecco	Bianco	Melograno	More	Noce	More	Noce	Melograno	Melograno
n. piante		6	6	15	8	8	6	6		6	3	1	9	1	3	3

Prototipo A1

Preliminarmente alla realizzazione del prototipo A1 è stato effettuato lo scavo a parete verticale, con mezzo meccanico al piede della pendice per ricavare lo spazio per un nuovo filare di viti (Figura 3.71). Quindi, le fasi costruttive sono state le seguenti:

- infissione dei pali (castagno $\phi = 10$ cm) di sostegno frontale di altezza fuori terra 1 m, e interdistanza 0,60 m a mezzo di battipalo
- infissione dei trasversi e fissaggio del corrente di collegamento dei pali;
- posa della 1° fila di RFM non collegate
- 1° riempimento a tergo della 1° fila
- posa della 2° fila di RFM non collegate
- 2° riempimento a tergo della 2° fila



Figura 3.71 Messa in opera prototipo A1; a) scavo, b) realizzazione palizzata, c) opera finita.

Prototipo A2

Anche per il prototipo A2, posto in prosecuzione dell'A1, è stato effettuato uno scavo a parete verticale per ricavare lo spazio della stradella di servizio al vigneto (Figura 3.72). Successivamente le fasi costruttive sono state le seguenti:

- predisposizione di picchetti metallici ad elica alle estremità del prototipo e in posizione intermedia, al piede dello scavo; passaggio di un cavo di collegamento tra i picchetti (cavo di sostegno);
- posa della 1° fila di RFM e loro collegamento longitudinale (con due cavi); i cavi di collegamento sono stati fissati ai picchetti di estremità e trasversalmente al cavo di sostegno ogni 4 moduli; predisposizione di spezzoni di filo di ferro fissati al cavo di sostegno per il successivo fissaggio ai cavi di collegamento della 2° fila di RFM;
- riempimento a tergo della 1° fila;
- posa della 2° fila di RFM e loro collegamento longitudinale e trasversale al cavo di sostegno;
- collegamento frontale delle due file sovrapposte con cavo passante a zig-zag;
- riempimento a tergo 2° fila.



Figura 3.72 Messa in opera Prototipo A2; a) allineamento e collegamento fascinata, b) tensionamento cavi, c) riempimento a tergo, d) opera ultimata.

Prototipo B1

Alla pulitura dell'area di intervento, sono seguite le fasi costruttive seguenti (Figura 3.73):

- infissione picchetti metallici di sostegno frontale ($h = 1$ m fuori terra) della fascinata di valle a due file sovrapposte;
- posa della rete metallica a maglie sciolte contro i picchetti di sostegno;
- disposizione di 1° e 2° fila di RFM sovrapposta;
- chiusura e picchettamento della rete;
- infissione di picchetti metallici di sostegno frontale ($h = 1$ m fuori terra) della fascinata di monte a due file sovrapposte; tirantaggio delle teste dei picchetti di valle al piede dei picchetti di monte;
- riempimento a tergo della fascinata di valle;
- realizzazione della fascinata a due file sovrapposte di monte secondo la procedura su descritta;
- riempimento a tergo della fascinata di monte.



Figura 3.73 Messa in opera Prototipo B1; a) infissione picchetti di sostegno, b) posa delle RFM nella rete, c) chiusura del sacco d) tiranti dei picchetti di valle e riempimento, e) posa fascinata di monte, f) opera finita.

Prototipo B2

Dopo la pulitura dell'area di intervento (Figura 3.74) si è proceduto con:

- la messa in opera di tre file di RFM poste a distanza di 3 m; ciascuna fila (fascinata) è connessa da cavi di collegamento (n.2) vincolati ai due estremi ed in punti intermedi; nel complesso viene costituita una gradonata;
- il riempimento a tergo delle 3 fascinate.



Figura 3.74 Messa in opera prototipo B2; a) posa dei primi due gradini, b) dettaglio dei cavi di collegamento e dell'ancoraggio, c) opera finita

Tempi di realizzazione

Le squadre, costituite da 2 o 3 operai, hanno realizzato i 4 prototipi nell'arco di quattro giornate con il materiale occorrente a piè d'opera. Non è computata la fase di riempimento delle RFM con substrato di coltivazione, di semina e piantumazione. I tempi per metro di opera sono riportati in Tab. 3.6.

Tab. 3.6 Tempi di realizzazione per metro d'opera [ore/m]

	A1	A2	B1	B2
Operai	0,210	0,517	1,309	0,555

Escavatore	0,071	0,027	-	-
Battipalo/mototrivella	0,025	0,017	-	-

Analisi floristica

L'analisi paesaggistica dei due siti pilota A (a monte dell'Azienda Vitivinicola Serafica) e B (all'interno dei Vivai Emmanuele), pur appartenendo entrambi all'ambito dei versanti etnei e quindi con terreni lavici, da un punto di vista vegetazionale sono diversi e comunque limitrofi alle aree protette del Parco Regionale dell'Etna. La prima in Contrada Monpilieri a sud di Nicolosi, a quota 685 m s.l.m., mentre la seconda in Contrada Paoli, nel Comune di Giarre a sud est dell'abitato di S. Alfio, a quota 320 m s.l.m.

Il sito A, quello dell'Azienda vitivinicola Serafica, è prettamente vocato alla produzione ma a margine e sottostante una scarpata in piena colata dove la vegetazione ha ormai acquisito elementi di spontaneità vegetazionale sia di varie specie erbacee, anche di interesse floristico, che di specie arbustive storicizzate (come il fico d'india, *Opuntia ficus-indica* L. Mill.) e di interesse naturalistico come le euforie e, soprattutto, lo scornabecco (*Pistacia terebinthus* L.). Questa specie è il portainnesto del pistacchio, autopropagatosi o rinselvaticitosi dagli alberi di pistacchio abbandonati dalla coltivazione a seguito della colata.

Il sito B della Vivai Emmanuele, si presenta invece con terrazze molto ampie, la cui produttività è legata al settore vivaistico e alla produzione da alberi da frutta, strutturate per il consolidamento con il riutilizzo del pietrame lavico come elemento costruttivo.

Le specie da utilizzare devono quindi tener conto del comune denominatore lavico, e quindi di specie non solo appartenenti al territorio, ma anche di provenienza locale e certificate come derivanti da germoplasma locale. Ma un altro elemento di connessione non solo paesaggistica da tenere in considerazione è proprio la genesi materica dei biorulli (in pratica un'evoluzione meccanizzata di un modello già utilizzato proprio a Custonaci da cui proveniva la *Posidonia oceanica* spiaggiata): i sarmenti delle fascine derivano infatti dalla vite, per cui è da ipotizzare proprio l'uso proprio della vite, *Vitis vinifera* L. come specie d'impianto.

I biorulli installati nel sito A (Azienda vitivinicola Serafica) sono un elemento di consolidamento e stabilizzazione ma di cerniera tra i filari di vite e la scarpata. Affascina subito, quindi, l'uso dello scornabecco e della vite, entrambi con portamento non finalizzato alla produzione, "in forma *wild*" in modo che la vite sia strisciante e lo scornabecco abbia un portamento naturale, per un collegamento tra il paesaggio produttivo e quello naturalistico. Si avrebbe una garanzia per il ricoprimento già ad un anno avendo il rinverdimento condizioni favorite perché la vite è un rampicante portentoso. In un

secondo momento l'Azienda Serafica potrebbe optare per una produttività delle due specie coltivandole ad alberello dopo l'innesto e le potature appropriate.

Anche per il sito B della Vivai Emmanuele potrebbe utilizzarsi la stessa opzione, ma con l'alternativa del pistacchio (al posto dello scornabecco che ne è porta innesto) e la vite si può mettere a dimora già innestata per avere produzioni di pistacchi e di uva. In alternativa la specie arborea da frutto potrebbe essere quella del melograno (*Punica granatum* L. 1753) o del noce (*Juglans regia* L. 1753) in modo da ben consolidare la pendice e, come arbustive le more (*Rubus* L. 1753) o il rosmarino (*Rosmarinus officinalis* L. 1753) preferibilmente ricadente.

Naturalmente le erbacee, derivanti dalla raccolta del fiorume negli stessi ambiti dei siti, determinano la scelta delle specie da mettere a dimora per le tecniche complementari delle semine e idrosemine.

La finalità divulgativa del progetto consiglia una cartellonistica tecnica nei due siti con l'Elenco floristico dei due siti e i cartellini botanici delle specie d'impianto.

3.3.3.4 Conclusioni

Il lavoro descrive il brevetto depositato dall'Università degli Studi di Palermo riguardante un'opera innovativa IN di stabilizzazione dei versanti. L'opera di IN è realizzata con materiali generalmente di scarto: i) i sarmenti della vite, che danno vita alle cosiddette rotofascine modulari (RFM), elementi base dell'opera e ii) la *P. oceanica* spiaggiata, che è un componente del substrato di crescita. Il Progetto *Jump-Poc*, finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, ha poi consentito di realizzare l'idea brevettuale e la costituzione di quattro differenti prototipi, che si distinguono per modalità di collegamento delle RFM e nell'inverdimento, in due diversi siti in prossimità del Parco dell'Etna.

La tipologia di opera, sicuramente ad alto valore ecologico per l'ecocompatibilità dei materiali e per l'uso efficiente delle risorse, ben si inquadra nella missione ambientale del recente PNRR. Peraltro, l'uso delle tecniche esposte in aree coltivate a vigneto mostrerebbe il segno della caratteristica produttiva della stessa area (i sarmenti) compensando il degrado indotto dalle lavorazioni e soprattutto dalle problematiche di tipo erosivo dovute alla costituzione di un nuovo impianto (scavi, decespugliamenti, movimenti di terra, etc.).

Bibliografia Par. 3.3.3

BAIAMONTE G., D'ASARO F., CALVO R. 2019. Gravity-driven infiltration and subsidence phenomena in *Posidonia oceanica* residues. *J Hydrol E – ASCE*, 24(6), 04019016.

CALVO, R. 2018a. Reutilización de residuos de poda de la vid y de *Posidonia oceanica* en las obras de Bioingeniería del paisaje. 1-95. Ph.D. Thesis. University of Palermo.

I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

CALVO, R. 2018b. Thermal insulation role and possible exploitation of *Posidonia oceanica* detritus in the Mediterranean area. *Boccone*, 28, 321.