

MANUALE TECNICO

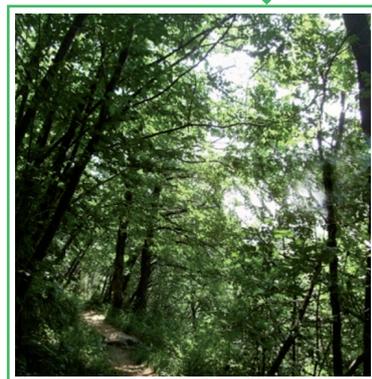
# IL RECUPERO NATURALISTICO DELLE CAVE DI CALCARE.

Il bacino estrattivo del Botticino (Brescia)

Federica Gilardelli, Rodolfo Gentili, Sergio Sgorbati, Sandra Citterio

Con contributi tematici a cura di:

Pierangelo Barossi, Roberta Ceriani, Andrea Ferrario, Sergio Savoldi





## Prefazione



Lo studio raccolto in questa pubblicazione contiene i risultati dell'attività di ricerca svolta dal Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del territorio e di Scienze della Terra dell'Università di Milano Bicocca sulla base dell'accordo sottoscritto con la Provincia di Brescia ed il Comune di Nuvolento, in base al quale si è potuta estendere la ricerca avviata contestualmente ai lavori di predisposizione dello Studio di Impatto Ambientale delle cave del bacino del Botticino il cui iter è prossimo alla conclusione.

Caratterizzato dall'attività pluriennale di sperimentazione in campo di modalità e metodi di rinaturazione delle cave di monte dismesse, il lavoro reca un contributo specialistico sul tema, mai sufficientemente approfondito e dibattuto, del recupero delle aree estrattive dismesse con un focus diretto sulle cave del Botticino.

È opinione ormai consolidata e metodo sancito dagli strumenti di programmazione vigente che gli interventi di recupero delle cave dismesse debbano prevedere, con la partecipazione di tutti i soggetti interessati, modalità che vadano oltre la mera cancellazione delle tracce dell'attività umana e della stratificazione dei segni e degli spazi vissuti e che tendano invece al raggiungimento di alcuni obiettivi principali, che possono essere sinteticamente indicati:

- nella sistemazione idrogeologica delle aree e dei fronti di abbandono definitivo e, dove possibile, nella loro rinaturalizzazione;
- nel recupero delle testimonianze storiche più significative dei processi di estrazione e trasformazione dei materiali;
- nella restituzione alle Comunità locali delle aree dismesse di effettivo interesse pubblico per una pluralità di usi collettivi, e nel riutilizzo delle restanti per le attività di valorizzazione dei prodotti di cava.

Il contributo scientifico raccolto in questa pubblicazione si sostanzia in linee guida ed indirizzi tecnici per il recupero naturalistico delle cave di calcare dismesse (quando previsto dagli strumenti attuativi della pianificazione vigente) con indicazioni che vanno oltre la semplice mitigazione dell'impatto visivo tramite misure meramente tecnico-ingegneristiche.

Vengono proposte tecniche di rinaturazione applicabili alle cave dell'intero bacino, che possano accelerare le dinamiche delle comunità vegetali ed animali, verso il graduale sviluppo di un ecosistema in grado di auto-sostenersi nel lungo periodo, coerente con l'ambiente circostante e che migliori la qualità del paesaggio.

Gli esiti della ricerca, che delinea modalità e tecniche adottabili in maniera uniforme per tutto il bacino del Botticino, risulteranno di sicura utilità per la Provincia, gli Enti locali e per gli operatori del marmo il cui duro lavoro è purtroppo anche storia di sangue e di sacrifici di vite umane: mi permetto perciò di proporre che questa pubblicazione sia idealmente dedicata alla memoria di quanti hanno dato la propria vita per il lavoro nelle cave.

*L'Assessore alla Tutela dell'Ambiente,  
Ecologia, Attività Estrattive ed Energia  
dott. Stefano Dotti*



# Indice

<b>Prefazione</b>	1
<b>PARTE I</b>	7
<b>1 Introduzione</b>	9
1.1 Il recupero naturalistico delle cave di calcare	9
Box – La tutela della biodiversità e della connettività ecologica nel recupero delle cave	11
<b>2 Caratterizzazione territoriale: l'area estrattiva del Botticino</b>	12
2.1 Cenni storici sull'attività estrattiva del Botticino	13
2.1.1 Dall'epoca romana ai nostri giorni	13
2.1.2 L'attività estrattiva oggi	16
2.2 Inquadramento ambientale	17
2.2.1 Geologia e geomorfologia	17
2.2.2 Idrologia	19
2.2.3 Pedologia	20
2.2.4 Clima	22
2.2.5 Vegetazione	23
2.3 Piano Cave Provinciale	26
2.3.1 Giacimento sfruttabile e ATE	26
2.3.2 Il recupero naturalistico delle cave dismesse	27
Box – Scelte alternative al recupero naturalistico delle cave dismesse	29
<b>PARTE II</b>	31
<b>3 Linee teoriche del recupero tecnico delle cave del Botticino</b>	33
3.1 Gli impatti sulla componente biotica da considerare per il recupero	33
3.2 Successione spontanea o recupero tecnico?	38
3.2.1 Criticità ed opportunità del recupero tecnico	40
3.3 Progettazione del recupero tecnico	42
3.4 Fasi del recupero tecnico	43
3.4.1 Fase 1 Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti (a cura di S. Savoldi)	44
3.4.2 Fase 2 Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato	45
3.4.3 Fase 3 Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi	50
3.4.4 Fase 4 Impianto della vegetazione	55
Box – Dinamiche vegetazionali nelle cave di calcare	56
<b>4 Linee pratiche del recupero tecnico delle cave del Botticino</b>	58
4.1 Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti (a cura di S. Savoldi)	58
4.2 Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato	60
4.2.1 Materiale pedogenizzato	60
4.2.2 Materiale non pedogenizzato	62
4.2.3 Regimazione idraulica (a cura di S. Savoldi)	67
4.3 Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi	68
4.3.1 Specie vegetali	68
4.3.2 Fitocenosi	78
4.4 Impianto della vegetazione	80
Box – Recupero a fini faunistici	88
<b>5 Monitoraggio e gestione</b>	90
5.1 Monitoraggio	90
5.2 Gestione	93
Box – Primi risultati di un esperimento di rinaturazione nella cava ex-Sgotti (ATE o13)	96



<b>PARTE III</b>	101
<b>6 Schede operative</b>	101
SCHEDA OPERATIVA 1 – Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti	102
SCHEDA OPERATIVA 2 – Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato	104
SCHEDA OPERATIVA 3 – Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi	106
SCHEDA OPERATIVA 4 – Impianto della vegetazione	108
SCHEDA OPERATIVA 5 – Messa a dimora di alberi ed arbusti	110
SCHEDA OPERATIVA 6 – Raccolta, caratterizzazione ed idrosemina del fiorume	112
SCHEDA OPERATIVA 7 – Idrosemina di sementi certificate	114
SCHEDA OPERATIVA 8 – Monitoraggio	115
SCHEDA OPERATIVA 9 – Interventi correttivi	118
<b>Appendice</b>	
<b>Le regole per le cave: l'attività estrattiva tra produzione, pianificazione territoriale e tutela ambientale</b>	120
<b>Bibliografia essenziale citata</b>	127
<b>Ringraziamenti</b>	132



# parte 1



# 1 Introduzione

Il recupero naturalistico di aree degradate da attività antropiche è considerato in tutto il mondo un'opportunità per promuovere il restauro (restoration) e la conservazione della natura (es. Prach 2003). L'obiettivo principale del recupero consiste nella creazione di un ecosistema autosufficiente, resiliente a perturbazioni e che non necessiti di una consistente e continua manutenzione (SER 2004). Tale esigenza è particolarmente forte nei casi in cui i siti da recuperare siano situati vicino a zone di particolare valore naturalistico (es. aree protette) o vi sia la necessità di assicurare aree verdi prossime ai centri abitati. Soprattutto in tali casi si richiede la collaborazione tra esperti ed operatori con differenti competenze e ruoli: ecologi, paesaggisti, ingegneri, responsabili politici, operatori economici, stakeholders e comunità locali (Milgrom 2008).

Il presente manuale ha lo scopo di fornire delle linee guida e degli indirizzi tecnici per il recupero naturalistico delle cave di calcare, che vada oltre la semplice mitigazione dell'impatto visivo tramite misure meramente tecnico-ingegneristiche. Si vogliono, invece, proporre delle tecniche di rinaturazione che, sulla base di un'approfondita conoscenza delle caratteristiche ambientali durante e a fine coltivazione delle cave, possano accelerare le dinamiche delle comunità vegetali ed animali, verso il graduale sviluppo di un ecosistema naturale in grado di auto-sostenersi nel lungo periodo, coerente con l'ambiente circostante e che migliori la qualità del paesaggio.

In particolare, le indicazioni tecnico-scientifiche che vengono proposte nel presente manuale sono frutto di una sperimentazione effettuata nelle cave di calcare del bacino estrattivo del Botticino, sfruttate per l'estrazione della pietra ornamentale.

## 1.1 Il recupero naturalistico delle cave di calcare

Tra le diverse tipologie di recupero delle cave di versante di calcare, il recupero naturalistico rappresenta una vera e propria sfida. In genere, le dinamiche spontanee di rivegetazione (successioni vegetazionali) nelle aree di cava dismesse sono molto lente ed alterate a causa delle condizioni ambientali limitanti, quali: bassa fertilità del substrato e disponibilità idrica, pH elevato, fenomeni di riflessione della roccia calcarea affiorante che accrescono l'evapotraspirazione per le specie vegetali e il grado di aridità ambientale. L'accelerazione delle dinamiche naturali tramite interventi di recupero dovrebbe favorire, laddove possibile, i processi interrotti dall'attività estrattiva, tenendo comunque presente che:

- a) la ricreazione di habitat naturali più o meno complessi in aree fortemente disturbate non è mai un processo semplice ed il recupero delle cave di calcare è una sfida anche maggiore, in quanto il punto di partenza è di solito un substrato per lo più privo di vegetazione e con caratteristiche chimico-fisiche sfavorevoli (Tischew & Kirmer 2007);
- b) potrebbe non essere possibile ripristinare gli ecosistemi presenti prima dell'inizio dello sfruttamento, a causa della profonda alterazione delle dinamiche naturali e delle condizioni ambientali durante la fase estrattiva (Schultz & Wiegleb 2000).

Pertanto, il recupero, oltre che richiedere un approccio tecnico, multidisciplinare e sistemico, dovrebbe essere basato su uno studio scientifico che evidenzii le condizioni locali e le peculiarità della cava da ripristinare. In particolare, dovrebbero essere identificati tutti i fattori limitanti lo sviluppo della vegetazione, quali (Tropek et al. 2010):

- fattori abiotici: es. macro e micro-clima, geomorfologia, geologia, acque superficiali e sotterranee, pedologia;
- fattori biotici: es. funzioni e processi ecologici, stress e produttività, composizione floristica e comunità vegetali, livelli di biodiversità, nonché adattamenti e capacità di dispersione delle piante;
- caratteristiche del paesaggio;
- fattori antropici: es. uso del territorio attuale e previsto, pianificazione urbana, vincoli eventualmente presenti, aspetti economici.

Solo sulla base di tali conoscenze sarà possibile valutare se gli interventi antropici finalizzati al recupero possano avere successo o siano addirittura necessari. Tecniche di recupero diversificate potrebbero essere richieste anche all'interno della stessa cava, vista l'elevata eterogeneità geomorfologica, sia su piccola scala sia su larga scala, che caratterizza tali ambienti (es. Carò & Im 2012). In particolare, il recupero della cava, quando possibile e sulla base degli interventi progettati, dovrebbe essere opportunamente differenziato a seconda della superficie geomorfologica da ripristinare (rupi artificiali/alzate dei gradoni, accumuli, piattaforme/piazzali) e dei rispettivi fattori limitanti (Fig. 1).

**Fig. 1** Principali superfici geomorfologiche nelle cave di calcare del Botticino (ATE 03): rupi artificiali/alzate dei gradoni, accumuli e piattaforme.  
Foto: F. Gilardelli



## La tutela della biodiversità e della connettività ecologica nel recupero delle cave

La tutela della biodiversità, che rappresenta uno degli obiettivi principali di molte strategie globali e locali ispirate ai principi dello sviluppo sostenibile, rappresenta un argomento trasversale ai progetti di recupero ambientale. Gli impatti notevoli legati all'attività estrattiva e, soprattutto, alla profonda degradazione (e talora rimozione) degli ecosistemi, determinano un impoverimento degli stessi su scala locale, dovuto alla frammentazione e perdita di intere popolazioni di specie vegetali e animali. Tuttavia, le cave, una volta dismesse, presentano una grande potenzialità di ricolonizzazione per le specie che si sono rarefatte o che sono localmente estinte. Nelle cave dismesse, la ricreazione di habitat naturali idonei per la flora e la fauna locali quali boschi, prati e zone umide, consentirebbe infatti di aumentare e ripristinare, in toto o in parte, le qualità intrinseche del paesaggio e degli ambienti locali, compromessi dalle attività estrattive; inoltre, permetterebbe d'incrementare i livelli di biodiversità floristica e faunistica, anche permettendo la diffusione assistita di specie selvatiche di valore estetico, rare e/o protette (Fig A). In tal modo, gli habitat recuperati potrebbero assumere, col tempo, un notevole livello di naturalità.

Nei luoghi dove l'attività estrattiva è iniziata in tempi storici, come nel bacino del Botticino, le cave dismesse presentano anche un notevole potenziale per il miglioramento delle reti ecologiche su scala locale (es. Rete Ecologica Regionale). Tale potenziale, se sfruttato in modo adeguato, potrebbe portare alla creazione di nuovi elementi strutturali e di connessione tra gli habitat naturali pre-esistenti esterni all'area estrattiva (es. core areas, stepping stones, corridoi ecologici), rivestendo un ruolo fondamentale per la connettività

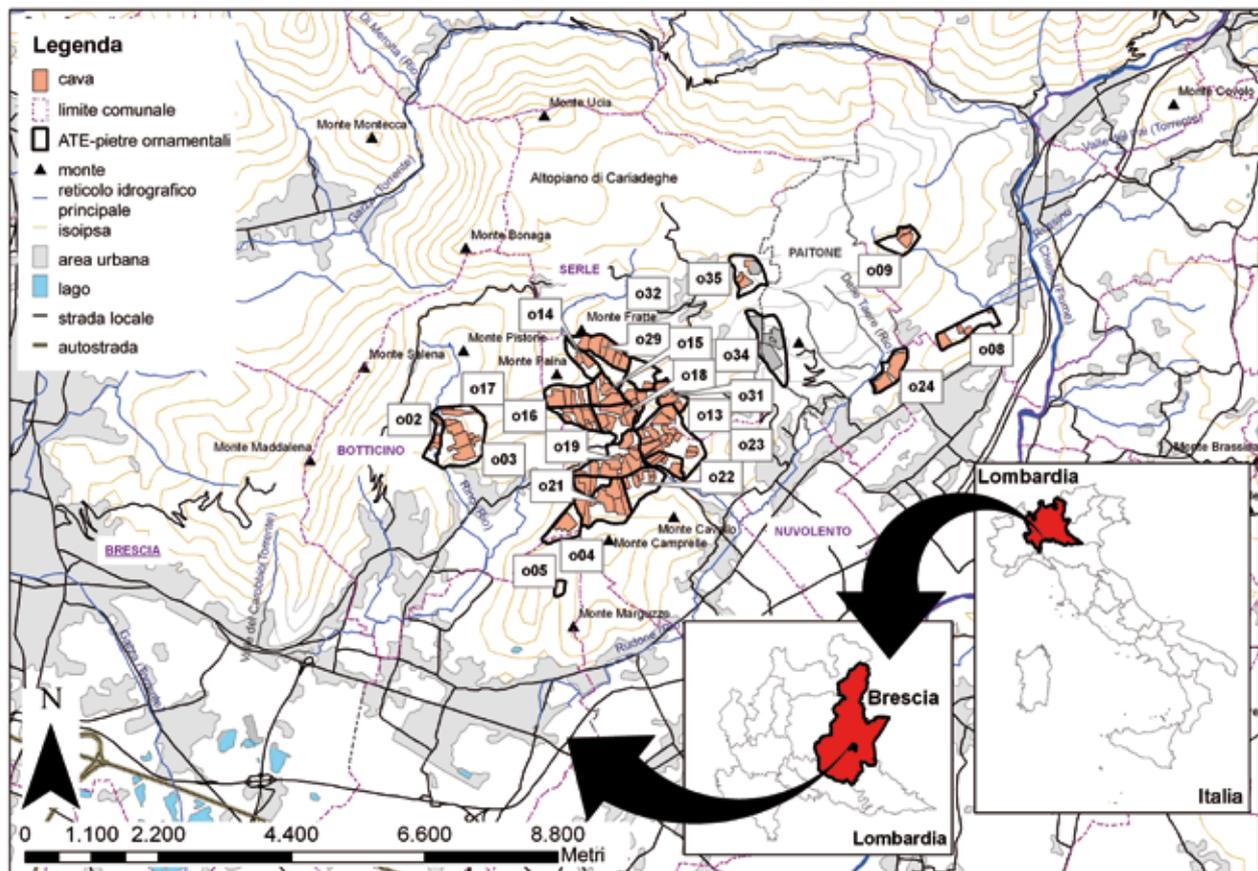


Fig. A Dictamnus albus nel PLIS Parco delle Colline di Brescia in prossimità del bacino estrattivo del Botticino. Foto: F. Gilardelli

delle popolazioni animali e vegetali in zone intensamente interessate dalle attività antropiche. Il recupero delle cave cessate rappresenta quindi un'importante strategia che consente di coniugare le esigenze di pianificazione territoriale con quelle di conservazione della biodiversità, dal livello di specie sino a quello di paesaggio, consentendo un miglioramento del mosaico ambientale. Nell'area del Botticino, tra gli ambienti che potrebbero essere favoriti da un eventuale recupero vi sono i prati aridi e semi aridi, solitamente ricchi in specie di pregio quali numerose specie di Orchidaceae ed altre specie rare e/o protette: Ophris apifera, O. insectifera, Orchis morio, O. tridentata.

## 2 Caratterizzazione territoriale: l'area estrattiva del Botticino

Il bacino estrattivo del Botticino è il secondo più grande bacino italiano dopo quello di Carrara (Toscana; cfr. Gentili et al. 2011), interessando i territori comunali di Botticino, Gavardo, Nuvolento, Nuvolera, Paitone, Prevalle, Rezzato e Serle. Compreso nella zona collinare a nord-est della città di Brescia che collega le Alpi e l'alta Pianura Padana (185-665 m s.l.m.), è delimitato a est e a sud dal fiume Chiese, a nord dai torrenti Garza e Vrenda e ad ovest dalle montagne che, iniziando dal Monte Ucia (1168 m), proseguono verso sud-ovest, attraverso il Monte Salena (862 m) ed il Monte Maddalena (Fig. 2).



**Fig. 2** Localizzazione geografica del bacino estrattivo del Botticino (scala di riferimento: 1:50000; dati da: Geoportale della Lombardia; database Ufficio Autorizzazioni Cave, Provincia di Brescia)

Secondo il Piano Cave della Provincia di Brescia per il settore di argilla, pietre ornamentali e calcari (D.C.R. n. VI/120 del 21.12.2000, come modificata dalla D.C.R. n. VIII/582 del 19.03.2008), il bacino estrattivo comprende 22 ATE (sui 36 situati sul territorio provinciale) e può essere suddiviso in tre principali sottobacini:

- a) il sottobacino occidentale, che comprende 2 ATE nel Comune di Botticino;
- b) il sottobacino centrale della valle di Nuvolera, che comprende 15 ATE nei Comuni di Botticino, Nuvolera, Nuvolento, Rezzato e Serle;
- c) il sottobacino orientale, che comprende 2 ATE nei Comuni di Paitone e Serle e 3 ATE nei Comuni di Gavardo e Prevalle.

La pietra estratta nel bacino del Botticino è nota in tutto il mondo soprattutto come pietra strutturale e ornamentale e viene esportata principalmente in India, Giappone, USA e Emirati Arabi Uniti. A seconda delle caratteristiche tecniche locali, la roccia estratta viene sottoposta a diversi trattamenti (es. frantumazione, macinazione, polverizzazione) ed impiegata anche:

- a) come materia prima per la produzione di calcestruzzo, cemento, malta e gesso;
- b) come calce per l'agricoltura;
- c) come materia prima per la preparazione di fondi stradali;
- d) nella raffinazione dei metalli;
- e) nell'industria chimica e alimentare (es. mangimi per animali).

## 2.1 Cenni storici sull'attività estrattiva del Botticino

L'estrazione della pietra del Botticino è un'attività radicata sul territorio, tanto che le prime testimonianze risalgono al I secolo d.C., come mostrato dalle evidenze archeologiche del centro monumentale di Brixia e da quelle sulle pendici orientali del Monte Trinità. Oggi, le cave sono riconosciute come parte integrante del patrimonio culturale locale e possono essere osservate da un itinerario turistico-etnografico noto come "La Via del Marmo".

### 2.1.1 Dall'epoca romana ai nostri giorni

In epoca romana, il Botticino era largamente usato per la costruzione di edifici nella città di Brescia (es. Tempio di Vespasiano, Teatro, Foro, Terme) per la sua facile reperibilità e le buone proprietà tecniche ed estetiche (Clerici & Meda 2005). Dopo la caduta dell'Impero Romano, lo sfruttamento del giacimento diminuì fino al Medioevo: molte cave vennero chiuse e le pietre impiegate negli edifici bresciani delle epoche precedenti vennero reimpiegate per la costruzione di nuovi edifici. Durante il Rinascimento, grazie al ritrovato fascino per l'antichità, crebbe l'attenzione verso la conservazione dell'eredità romana e l'attività estrattiva incrementò nuovamente (Savoldi et al. 2011a). Nella seconda metà del sedicesimo secolo, l'arte degli scalpellini di Rezzato (noti come picaprede o lapicidi) cominciò ad essere richiesta per edifici civili e militari anche al di fuori della Provincia di Brescia, come per la Porta di San Giorgio della fortezza di Orzinuovi, realizzata tra il 1544 e il 1548. Nel corso del XVIII secolo, a causa della caduta della Serenissima (Repubblica Veneta) e del passaggio alla Repubblica Cisalpina, l'estrazione del Botticino subì un nuovo arresto (Beluffi & Bettinzoli 2010).

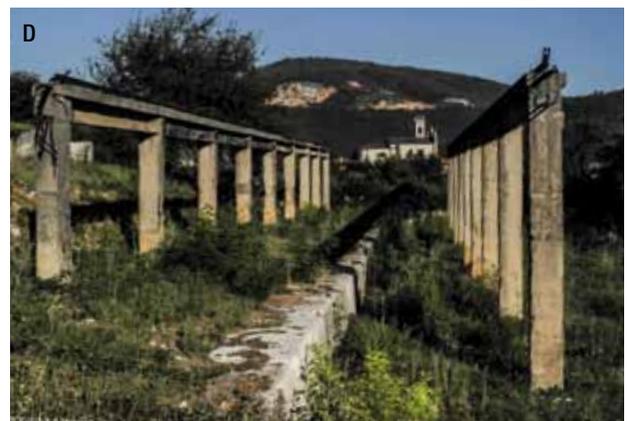
Con l'avvento del Neoclassicismo nel corso del XIX secolo, l'attività estrattiva aumentò nuovamente fino a raggiungere un picco di produzione a seguito della commessa del Monumento a Vittorio Emanuele II a Roma (noto anche come Vittoriano o Altare della Patria, inaugurato il 4 giugno 1911), che richiese l'uso di 10.000 m<sup>3</sup> del marmo del Botticino (dati da: Museo del Marmo di Botticino).



**Fig. 3** *Principali tecniche tradizionali di estrazione nel bacino del Botticino (Museo del Marmo, Botticino):*  
**A)** Isolamento dei blocchi dalla roccia in posto tramite cunei, leve e martelli **B)** taglio in situ dei blocchi tramite telai in legno e sabbia, **C)** trasporto a valle del blocco (lizzatura)  
**D)** trasporto di blocchi verso i centri di lavorazione a valle tramite carretti trainati dai buoi.  
Foto: F. Gilardelli

In questo periodo, l'attività estrattiva, che usava ancora tecniche tradizionali (Fig. 3), assunse un carattere di tipo industriale.

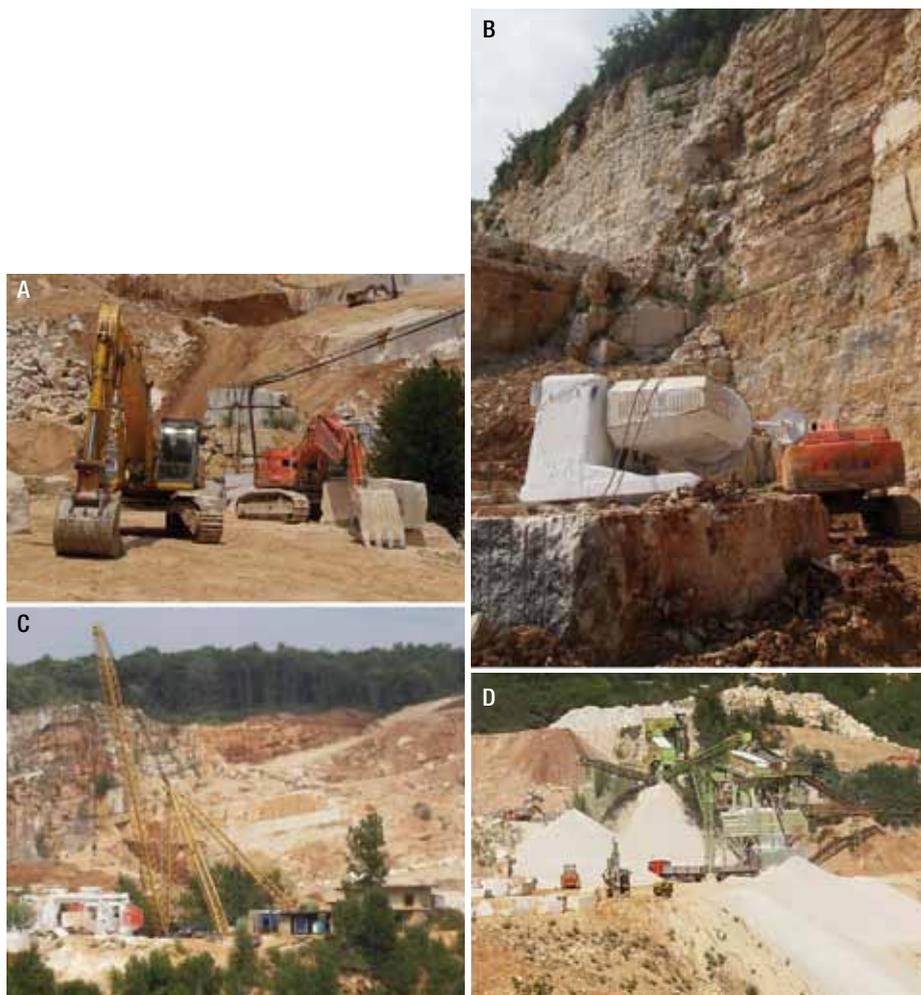
Durante il XX secolo, ad eccezione di alcune fasi di recessione nel settore estrattivo legate alle due guerre mondiali, l'attività estrattiva aumentò ed il Botticino iniziò ad essere apprezzato come elemento ornamentale e strutturale anche fuori dall'Italia, tanto da essere impiegato per il Palazzo delle Nazioni a Ginevra tra il 1931 e il 1937. La crescente richiesta del Botticino, che raggiunse il picco nel 1983 (903.000 t), portò all'introduzione di nuove tecniche estrattive, quali l'esplosivo, il filo elicoidale ed il carroponte (Fig. 4), alla nascita delle prime organizzazioni di cavaatori (cooperative) ed all'apertura di una nuova area estrattiva: la Valle Nuvolera, tra i Comuni di Nuvolento, Nuvolera e Serle.



**Fig. 4** Innovazioni tecnologiche introdotte dal XX secolo nel bacino del Botticino: **A)** martelli pneumatici, **B)** filo elicoidale, **C)** piede, **D)** carroponte, **E)** locomotiva per trasporto merci. Foto: F. Gilardelli (A, B, C), C. Serena (D, E)

**Fig. 5** Macchinari attualmente utilizzati nel bacino del Botticino:

- A)** escavatori,
  - B)** derrick,
  - C)** taglio con il filo diamantato,
  - D)** impianto di frantumazione.
- Foto: F. Gilardelli



### 2.1.2 L'attività estrattiva oggi

Oggi, l'introduzione di tecniche di estrazione più avanzate quali il filo diamantato, il derrick ed i mezzi cingolati (Fig. 5) ha permesso di incrementare notevolmente i quantitativi estratti di materiale lapideo.

Nel bacino del Botticino sono state raggiunte 3,2 milioni di tonnellate di pietra estratta nel 2008, attualmente in diminuzione a causa della crisi economica globale (Tabella 1).

		Produzione totale (t)					
	Tipo di materiale	Botticino	Nuvolera	Nuolento	Paitone	Serle	Totale
2006	Ornamentale	179.265	183.813	38.232	73.225	13.103	487.638
	Pietrisco	328.693	787.165	189.528	425.038	319.174	2.049.598
2007	Ornamentale	180.367	181.780	58.866	78.886	9.016	508.915
	Pietrisco	556.253	719.850	291.815	495.431	503.401	2.566.750
2008	Ornamentale	168.350	140.673	50.090	64.710	6.782	430.605
	Pietrisco	397.751	1.032.020	307.642	597.302	460.226	2.794.941
2009	Ornamentale	138.477	98.511	48.713	45.604	5.574	336.879
	Pietrisco	235.982	859.320	125.543	423.978	312.844	1.957.667
2010	Ornamentale	150.218	105.215	45.129	48.193	6.053	354.808
	Pietrisco	312.741	946.920	86.821	367.159	274.848	1.988.489

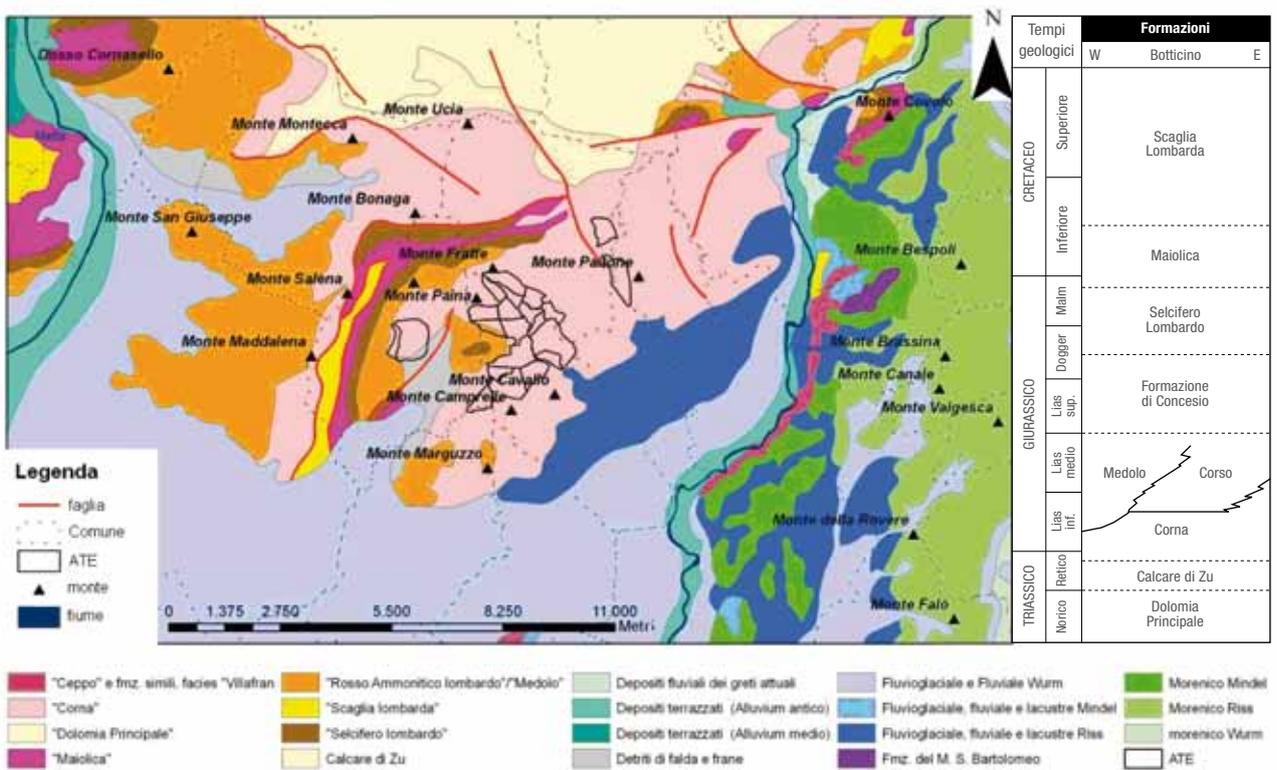
**Tabella 1** Produzione totale (t) di pietra ornamentale e pietrisco nel bacino estrattivo di Botticino dal 2006 al 2010 (dati da: Savoldi et al. 2011a)

## 2.2 Inquadramento ambientale

### 2.2.1 Geologia e geomorfologia

Nell'area estrattiva del Botticino prevalgono rocce sedimentarie carbonatiche (Fig. 6), originatesi a seguito della deposizione di sedimenti costituiti principalmente da carbonato di calcio (CaCO<sub>3</sub>) in un ambiente marino durante il Mesozoico, 250-66 milioni di anni fa (Servizio Geologico d'Italia 2001).

Fig. 6 Mappa geologica (scala di riferimento: 1:250.000) e schema stratigrafico degli affioramenti rocciosi (dati da: Geoportale della Lombardia; progetto CARG)



La successione stratigrafica locale, che copre per migliaia di metri il basamento metamorfico cristallino noto come *Massiccio delle Tre Valli Bresciane*, è costituita da:

- **Dolomia Principale** (dolomie e calcari dolomitici, Triassico, 220 milioni di anni);
- **Calcare di Zu** (calcare, Triassico, 215 milioni di anni);
- **Corna** (calcare, Giurassico inferiore, 205 milioni di anni);
- **Medolo** (calcare e marna, Giurassico, 195 milioni di anni) e **Corso** (calcari; Giurassico, 195 milioni di anni);
- **Selcifero Lombardo** (marna, calcare e marne, Giurassico, 170-150 milioni di anni);
- **Maiolica** (calcare, Cretaceo, 150-115 milioni di anni);
- **Scaglia Lombarda** (marna, Cretaceo, 93-89 milioni di anni).

## La Corna

La formazione sfruttata a scopo estrattivo nel bacino del Botticino è la *Corna* (che deriva il nome dalla forma degli affioramenti rocciosi), che affiora tipicamente sull'altopiano carsico *Altopiano di Cariadeghe*, sulle pendici orientali del Monte Maddalena e sui monti Fratta, Paina e Camprelle. Si tratta di una roccia sedimentaria carbonatica (costituita quasi esclusivamente da carbonato di calcio), originatasi su una piattaforma carbonatica di un bacino marino lagunare, per lo più caratterizzata da condizioni subtidali e ciclicità peritidale, con oscillazioni moderate ma continue e temporanee emersioni (Schirolli 2008). Il contenuto di fossili è quindi interessante, annoverando alghe *Dasycladacee* (*Thaumatoporella*, *Palaeodasycladus*) e *Rodoficeae* (*Lithoporella*, *Solenopora*), foraminiferi, ostracodi, coralli, lamelibranchi, gasteropodi, echinodermi e brachiopodi. Sono inoltre abbondanti le oncoliti (note localmente come *mandole*) e stromatoliti del diametro di 1-2 cm.



**Fig. 7** Principali categorie commerciali della Corna:

- A) Botticino Fiorito,
- B) Botticino Classico,
- C) Botticino Semiclassico,
- D) Breccia Aurora,
- E) Breccia Oniciata.

Foto: C. Serena

La facies tipica della Corna è quella calcarea, che caratterizza la parte superiore della formazione e si presenta in bancate di molti metri di calcare compatto e quasi puro, di colore bianco-nocciola, bianco-avorio o anche grigio a seconda della quantità di impurità (Clerici & Meda 2005). Tale facies, che affiora nel Monte Fratta (sottobacino occidentale, nel comune di Botticino) è noto commercialmente come *marmo Botticino Classico*<sup>1</sup> (Fig. 7); le varietà commerciali *marmo Botticino Semiclassico* e *marmo Botticino Fiorito* sono invece estratte nel sottobacino centrale della valle di Nuvolera. La formazione della Corna presenta inoltre una facies dolomitica, localmente presente sottoforma di calcari dolomitici e dolomie stratificate non cristalline. Nel sottobacino orientale (Comuni di Paitone e Serle), sono anche estratte le breccie policrome della Corna, come la varietà commerciale della *Breccia oniciata*.

## Elementi strutturali

Le Prealpi bresciane sono comprese nel dominio paleogeografico-strutturale del *Sudalpino* della parte orientale del *Bacino lombardo* (Clerici & Meda 2005). Tutte le strutture tettoniche a est di Brescia sono state originate durante l'as-

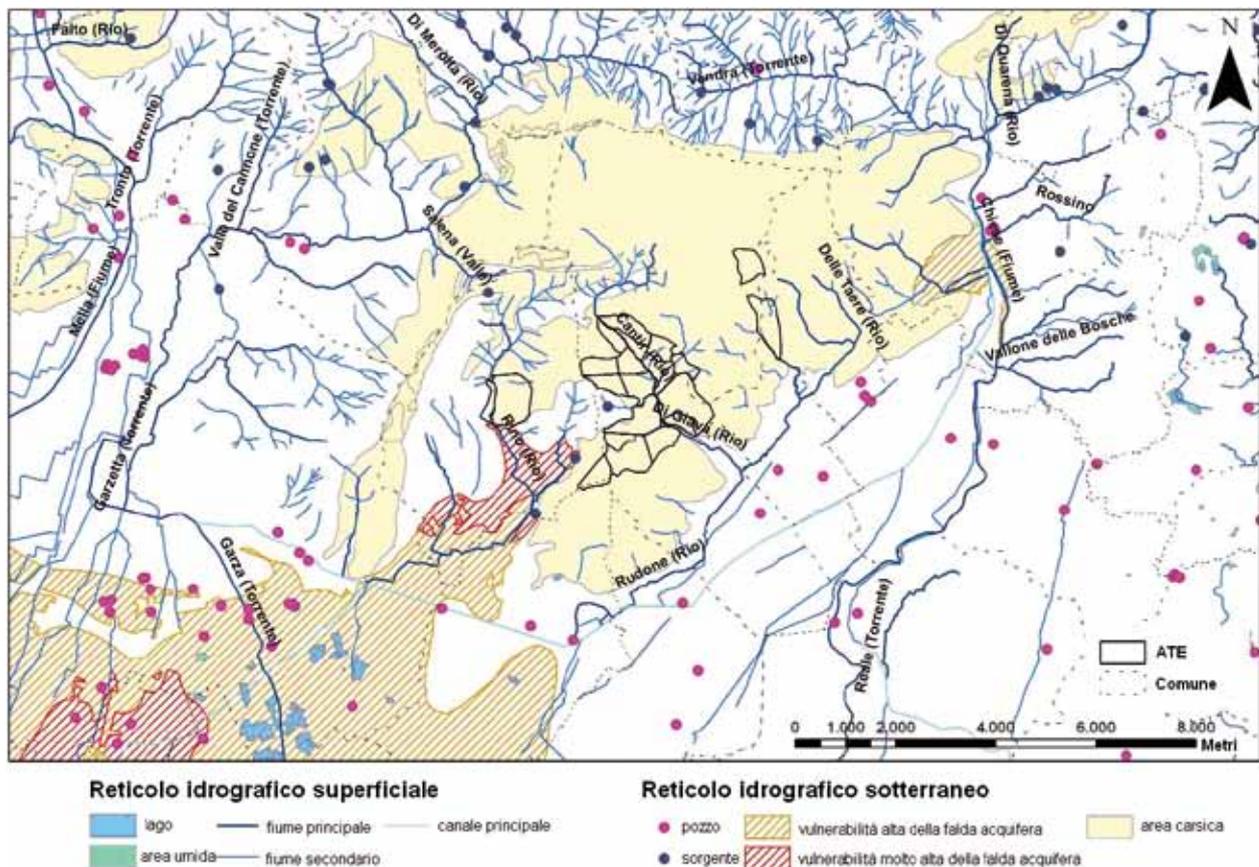
<sup>1</sup> Le varietà commerciali della Corna sono note commercialmente come "marmo" per la somiglianza a tale tipologia litologica, una volta lucidate. Anche in epoca romana, tale pietra veniva considerata appartenente al gruppo di Marmora, che comprendeva pietre di origine diverse, ma tutte lucidabili (Beluffi e Bettinzoli 2010).

sestamento del territorio a seguito dell'orogenesi alpina ed in particolare durante il periodo di intensa attività della fase neo-alpina, 29-10 milioni di anni fa (Savoldi et al. 2011a). Le prove di tale attività sono rivelate dalla direzione delle formazioni rocciose e dalla presenza di numerose faglie e pieghe sulla Corna, che è localmente una delle formazioni meno plastiche a causa del minor contenuto di marna.

## 2.2.2 Idrologia

L'area di affioramento della Corna è una delle più importanti e antiche aree carsiche del territorio bresciano, noto come *Carso Bresciano* (Fig. 8): l'acqua meteorica si infiltra rapidamente in profondità a causa della dissoluzione diretta del carbonato di calcio, della presenza di un esteso sistema di fratturazione e della limitata profondità del suolo. Di conseguenza, la rete sotterranea è molto complessa, sviluppata e vulnerabile, con un flusso principale influenzato dall'orientamento dei rilievi (Morelli 1997). In superficie, la presenza di uno sviluppato carsismo è rivelata dalle numerose strutture tipiche dei paesaggi carsici, quali doline, grotte, pozzi sotterranei e gallerie; il 15% delle cavità naturali dell'intero territorio provinciale è rinvenibile proprio in questa zona (Savoldi et al. 2011b). A

**Fig. 8** Area carsica e reticolo idrografico superficiale (scala di riferimento: 1:10.000; dati da: Geoportale della Lombardia)

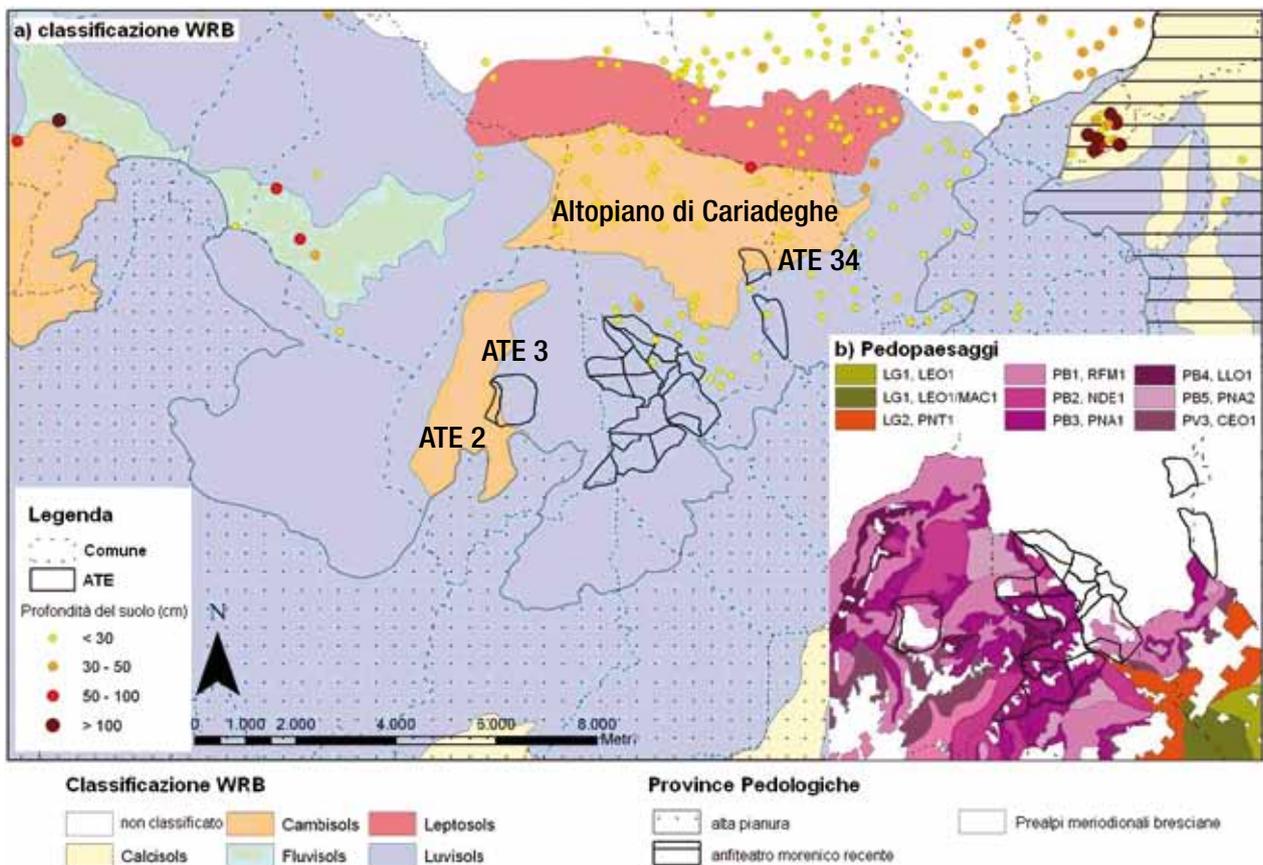


causa della natura carsica dell'area, la rete idrica superficiale non è molto sviluppata. I due corsi d'acqua principali sono il Rio Cantir, che scorre in direzione NW-SE nella valle di Nuvolera (diventando Rio La Valle in località Fontanone e Rio di Giava in pianura) ed il Rio Rino, che scorre nella valle di Botticino in direzione NS. Come gli altri corsi d'acqua presenti nell'area, tali torrenti mostrano flussi significativi e/o visibili solo durante piogge intense e prolungate.

### 2.2.3 Pedologia

Il bacino estrattivo del Botticino è compreso tra le sottoregioni pedologiche delle *Prealpi bresciane* e dell'*alta pianura*, nel distretto del *Basso Mella - Chiese* (ERSAL 1997). Secondo la classificazione WRB (World Reference Base; FAO 1998), le *Unità Tipologiche di Suolo* (UTS) più estese nel bacino estrattivo sono i Luvisols, comprendendo *suoli ghiaiosi dell'alta pianura* sul confine della Prealpi e *suoli bruni lisciviati con fragipan* sui depositi glaciali e fluvioglaciali delle alluvioni antiche degli affluenti del Po (Fig. 9a). Caratteristici delle regioni forestali della pianura, tali suoli presentano un alto contenuto di calcio, strati illuviali e eluviali e talvolta uno strato superficiale umico (separato da quelli minerali) do-

**Fig. 9** Mappa pedologica in base alla classificazione **A) WRB** e **B) Soil Taxonomy** (scala di riferimento: 1:250.000; dati da: Geoportale della Lombardia)



vuto all'accumulo della lettiera. Inoltre, sono localmente presenti (ATE o2, o3, o34) i Cambisols, riferibili ai *suoli bruni delle Prealpi*, che, caratteristici delle zone collinari e montane, presentano una struttura ben sviluppata e uno strato alterato cambico con una tessitura franco-fine o fine e strati inferiori con un colore più scuro. Su piccola scala, le condizioni pedologiche sono molto eterogenee a causa dell'elevata variabilità geomorfologica, di pendenza, rocciosità ed esposizione. Secondo la classificazione della Soil Taxonomy (USDA, Soil Survey Staff 2010), il pedopaesaggio più diffuso nel bacino estrattivo (Fig. 9b; Tabella 2) è il *sottosistema PB* (orizzonte sub-mediterraneo con sclerofille ed orizzonte sub-montano con specie decidue eliofile sotto i 700 m s.l.m.) del *sistema P* (rilievi delle Alpi e Prealpi lombarde con rilevanti affioramenti granitici e rocciosi). In generale, essendo la capacità d'uso del suolo molto bassa a causa delle forti limitazioni dovute alle pendenze elevate ed al conseguente rischio di erosione, tali suoli dovrebbero essere utilizzati ai soli scopi naturalistico-ricreativi.

<b>Sistema; Sottosistema</b>	<b>Unità di paesaggio</b>	<b>UC (n°)</b>	<b>Tipo di suolo (capacità d'uso)</b>
L; LG	LG2: superfici antiche senza differenze significative in altezza, materiali fini; roccia alterata in posto	PNT1 (397)	Paleudalfs tipici (II)
P; PB	PB1: pendenze elevate e molto elevate, esposizione sud dominante; boschi di specie temofile (talvolta mesofile) decidue, pascoli, vigneti e frutteti su terrazzi artificiali e pendii non troppo inclinati	RFM1 (24)	Hapludolls litici (VII)
	PB2: pendenze elevate e molto elevate, esposizione nord dominante; boschi di specie temofile decidue, pochi pascoli	NDE1 (27)	Dystrudepts tipici (VII)
	PB3: creste arrotondate, cime convesse e pendenze da moderate a poco elevate; pascoli, campi coltivati	PNA1 (28)	Hapludalfs tipici (VII)
	PB4: terrazzi morfologici o morfotettonici sub-pianeggianti o con pendenze ridotte, spesso con substrato molto alterato; pascoli intensivi	LL01 (29)	Eutrudepts tipici (VII)
	PB5: pianura e superfici corrugate con substrato idrosolubile e strutture morfologiche carsiche	PNA2 (30)	Ultic Hapludalfs (VI)
P; PV	PV3: area pedemontana di connessione tra le montagne e l'alta pianura, pendenze basse o moderate; rimaneggiamento antropico	CE01 (32)	Eutrudepts tipici (III)

**Tabella 2** Unità cartografiche pedologiche (dati da: Geoportale della Lombardia). Legenda per la capacità d'uso: II: suolo adatto all'agricoltura, con moderate limitazioni dovuta ad un drenaggio mediocre a cause della tessitura fine (è richiesta una selezione del tipo di coltura e/o moderate pratiche conservative); III: suoli adatti all'agricoltura, con elevate limitazioni principalmente dovute alle elevate pendenze e rischio d'erosione (limitata possibilità di scelta del tipo di coltura e sono richieste pratiche conservative specifiche); VI: suoli delle pianure carsiche idonei solo al pascolo, habitat forestali o naturali, a cause delle elevate limitazioni dovuti ai frequenti affioramenti rocciosi; VII: suoli adatti solo a scopi naturalistici, con limitazioni molto elevate dovute alle elevate pendenze (45-100%) ed all'alto rischio d'erosione

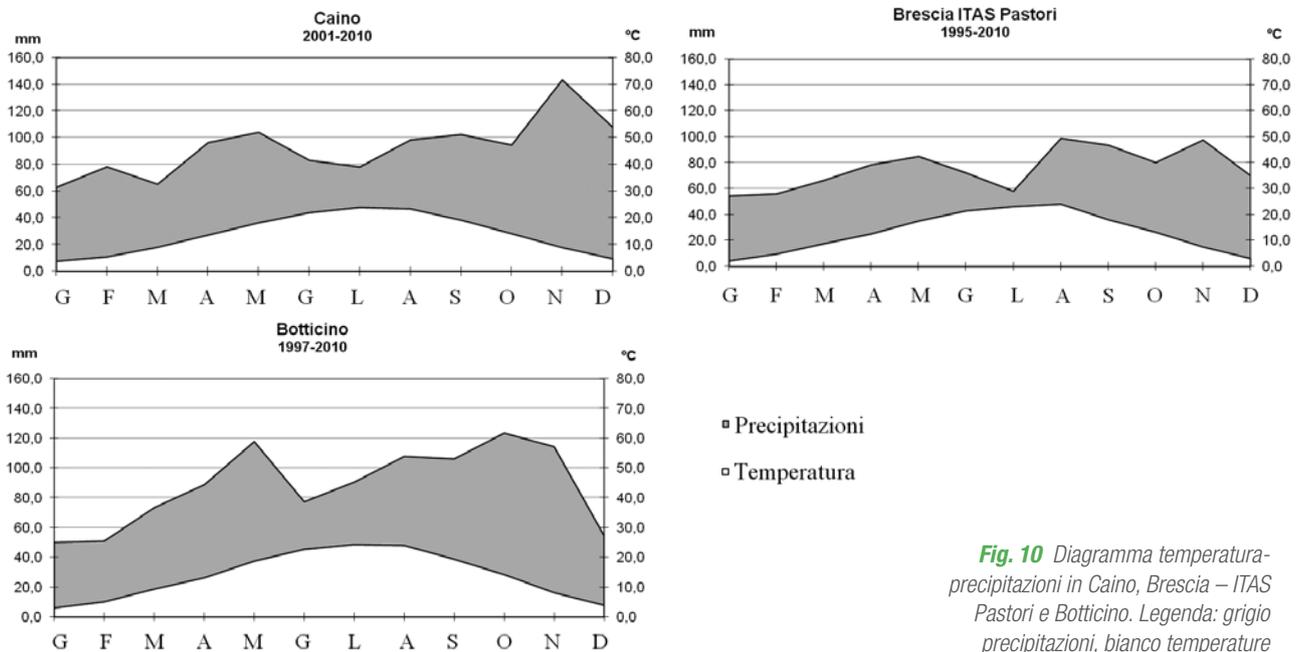
## 2.2.4 Clima

La temperatura media annuale nel bacino estrattivo è di 13,5°C mentre le precipitazioni annuali arrivano in media a circa 1026 mm (dati da: ARPA, Stazione del Centro Provinciale agrometeorologica; Tabella 3).

Stazione	Caino		Brescia – ITAS Pastori		Botticino	
Riferimenti	Stazione ARPA n. 876		Stazione ARPA n. 130		Stazione del Centro Provinciale agrometeorologica	
Coordinate GB	5051557 1603128		5042196 1598530		5044394 1604650	
	T	P	T	P	T	P
Gennaio	3.8	62.7	2.2	54.5	3.1	50.1
Febbraio	5.4	78.1	4.8	56	5.1	1.1
Marzo	9	65.1	8.8	66.4	9.3	73.5
Aprile	13.5	96.2	12.6	78.4	13.1	88.8
Maggio	18.1	103.8	17.5	84.8	18.7	117.8
Giugno	21.9	83	21.4	72.1	22.6	77.4
Luglio	23.8	78.1	23.1	58.1	24.2	90.6
Agosto	23.3	98.3	24	98.8	23.9	107.8
Settembre	19.1	102.2	18	93.5	19.3	106.2
Ottobre	14	94.4	13.2	80.1	14.2	123.4
Novembre	8.8	143.1	7.5	97.5	8.1	114.3
Dicembre	4.7	107.6	3.1	70	3.9	54.7
<b>Media/Totale</b>	<b>13.8</b>	<b>1112.6</b>	<b>13</b>	<b>910.2</b>	<b>13.8</b>	<b>1055.6</b>

**Tabella 3** Totale annuale delle precipitazioni (P; mm) in Caino (sensore 8139; dati dal 2001 al 2010), Brescia – ITAS Pastori (sensore 2417; dati dal 1990 al 2010) e Botticino (dati dal 1997 al 2010) e temperatura media annuale (T; °C) in Caino (sensore 8140; dati dal 2001 al 2010), Brescia – ITAS Pastori (sensore 2414; dati dal 1995 al 2010) e Botticino (dati dal 1997 al 2010). Legenda: grigio chiaro: valori più bassi, grigio scuro: valori più alti

Il clima è di tipo continentale, con inverni freddi, estati calde, un regime bimodale delle precipitazioni e l'assenza di periodi di siccità (Fig. 10). Esso presenta sia le caratteristiche del clima della pianura, cioè il *meso-clima padano* (inverni freddi con nebbia e gelo, estati calde e afose, umidità elevata, piogge irregolari con picchi in autunno e primavera e ventosità bassa) sia quello delle Prealpi, cioè il *meso-clima insubrico* (estati con elevata radiazione solare, ma temperature non molto elevate, temperatura invernale superiore sui pendii rispetto al fondo della valle, vento di canalizzazione in direzione delle valli, precipitazioni abbondanti con picco in estate e minimo in inverno).



**Fig. 10** Diagramma temperatura-precipitazioni in Caino, Brescia – ITAS Pastori e Botticino. Legenda: grigio precipitazioni, bianco temperature

## 2.2.5 Vegetazione

Gli ambienti naturali nei dintorni della città di Brescia sono stati profondamente alterati in tempi storici dalle attività antropiche, tanto che in pianura la vegetazione originaria è oggi rinvenibile solo nei boschi residuali. Anche in collina l'estensione delle comunità vegetali originarie si è notevolmente ridotta poiché sostituite da altre tipologie forestali, quali i castagneti, che erano molto sfruttati nel recente passato per il valore economico.

### “Vegetazione potenziale”

Con riferimento alla carta delle Serie di Vegetazione in scala a 1:500.000 (Blasi 2010), l'alta pianura, a stretto contatto con i boschi collinari, è riconducibile alla successione dell'alta Pianura Padana orientale neutro-basifila, dominata da *Quercus robur* e *Carpinus betulus* (alleanza *Erythronio-Carpinion betuli*); la zona collinare è inclusa nel mosaico dell'anfiteatro morenico del lago di Garda, tra le successioni neutro-basifile e sub-acidofile dominate da *Quercus pubescens*, *Q. cerris* e *Ostrya carpinifolia* (alleanza *Carpinion orientalis*; Fig. 11). Entrambe le successioni sono riferibili all'ordine fitosociologico dei *Quercetalia pubescenti-petraeae* (classe *Quercu-Fagetea*).

Il bacino estrattivo del Botticino è compreso nella regione macroclimatica temperata, in cui la vegetazione naturale potenziale è principalmente rappresentata da associazioni boschive di latifoglie tendenzialmente termofile e xerofile afferibili alle alleanze *Erythronio-Carpinion betuli* e soprattutto, *Carpinion orientalis* (An-



**Fig. 11** Querceto di roverella.  
Foto: S. Armiraglio

dreis & Sartori 2009). Tra le specie caratteristiche, presenti localmente, vi sono: *Cornus mas*, *Helleborus foetidus*, *Orchys purpurea*, *Quercus pubescens*, *Ruscus aculeatus*. A causa della struttura piuttosto aperta, lo strato erbaceo può presentare specie degli orli boschivi e dei prati aridi (*Festuco-Brometea*): *Brachypodium rupestre*, *Calamintha sylvatica*, *Teucrium chamaedrys*.

### **Vegetazione reale**

Le formazioni boschive naturali e semi-naturali, che si aprono tra le colture cerealicole ed i vigneti, sono boschi mesofili e termofili, generalmente gestiti a ceduo, con una buona complessità strutturale (Fig. 12). Le formazioni più diffuse sono (es. Cappelli & Stefani 1986; Savoldi et al. 2011a):

- **orno-ostrieti**: formazioni termofile, rinvenibili su terreni poco sviluppati e con bassa disponibilità idrica, in cui lo sviluppo della vegetazione è limitato da affioramenti rocciosi, pendenze elevate ed esposizione sud. Le specie arboree dominanti sono *Ostrya carpinifolia* e *Fraxinus ornus*, con una bassa presenza di *Quercus pubescens*;
- **ostrio-querceti e querceti**: rinvenibili su terreni calcarei sviluppati ed umidi con pendenze variabili. Sono simili per composizione floristica agli orno-ostrieti, ma presentano una maggiore abbondanza di *Quercus pubescens*, una maggiore complessità strutturale e floristica ed un carattere più mesofilo;
- **castagneti**: generalmente gestiti a ceduo con un turnover di 20 anni, sono dominati da giovani individui di *Castanea sativa* (raramente gli individui su-

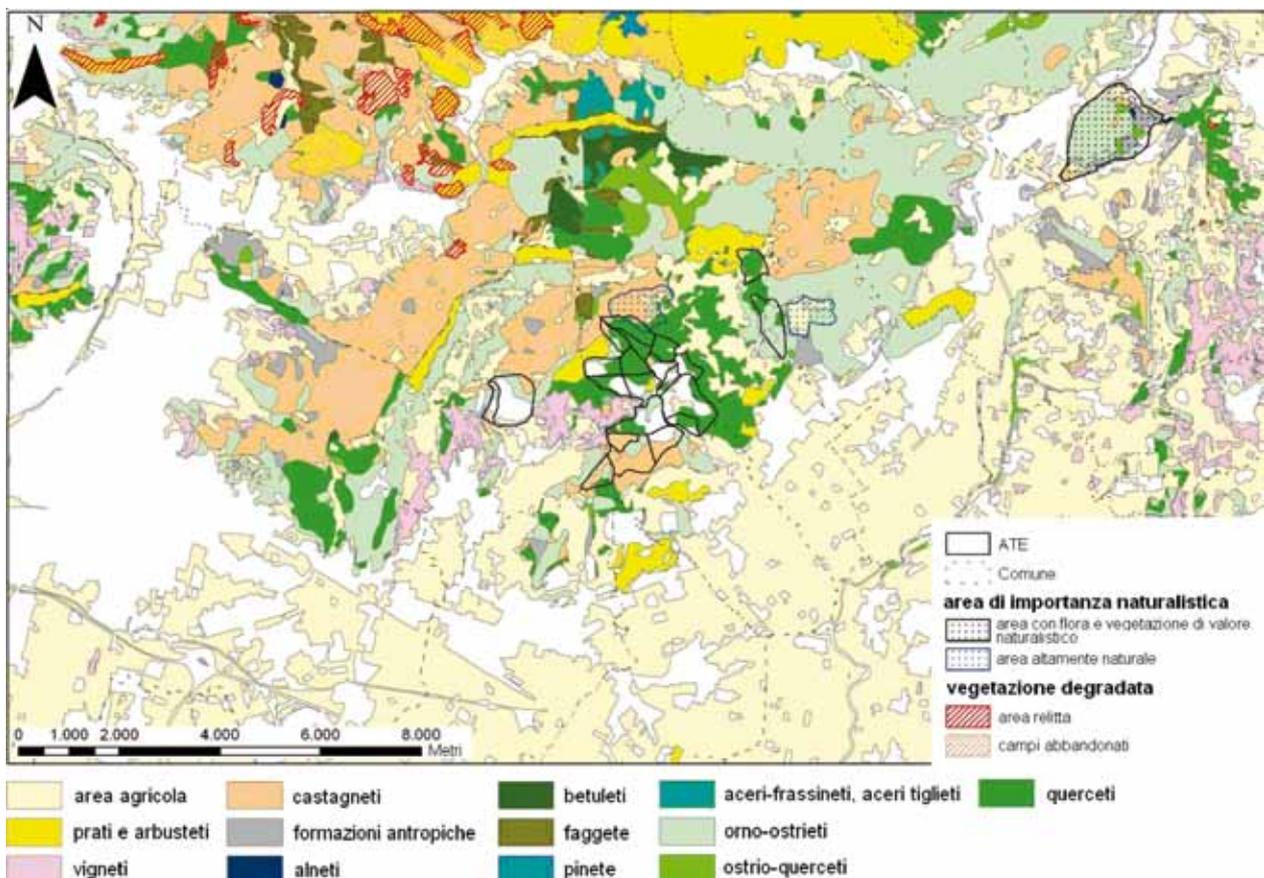
perano i 40 anni di età). Nello strato arboreo sono anche presenti *Carpinus betulus*, *Quercus petraea*, *Q. pubescens* e talvolta *Q. cerris*;

- **carpineti a *Carpinus betulus***: rinvenibili in aree limitate, caratterizzate da fenomeni carsici. La diversità floristica è scarsa e lo strato arboreo è dominato da *C. betulus*, *Castanea sativa* e/o querce;
- **boschi misti di latifoglie**: mesofili, crescono localmente su pendii meno soleggiati, con esposizione prevalente nord o in zone d'ombra delle valli. Lo strato arboreo è dominato da *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Acer campestre*, *Castanea sativa* e *Carpinus betulus*, oltre a *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* e *Prunus avium*.

Tra le formazioni boschive antropiche, soggette a rilevanti modificazioni e disturbo vi sono:

- **formazioni boschive di latifoglie destrutturate**: anche nei casi in cui la composizione floristica è simile a quella della formazione naturale, la struttura è notevolmente semplificata, soprattutto per quanto riguarda la copertura relativa degli strati arboreo, arbustivo ed erbaceo;
- **boschi degradati a livello di ecosistema**: comprendono boschi di latifoglie profondamente degradati per ricchezza floristica, copertura degli strati vegetali e valore naturalistico (es. robinieti).

Fig. 12 Vegetazione reale (dati da: Del Favero 2002, Geoportale della Lombardia)



Per quanto riguarda le formazioni arbustive, si possono distinguere due principali tipologie di comunità vegetali:

- **formazioni termo-xerofile**, tipiche di un substrato calcareo, che si sviluppano in genere a seguito dell'abbandono delle attività agricole e silvo-pastorali. Sono dominate da giovani individui di *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Cotinus coggygria*, *Amelanchier ovalis*, *Juniperus communis* e *Rosa* spp., oltre ad altre specie mediterranee;
- **arbusteti termo-eliofili**, che si sviluppano a seguito del diradamento da parte dell'uomo dei boschi dominati da *Acer* spp., *Fraxinus excelsior* o altre latifoglie mesofile. In tali formazioni prevalgono specie quali *Corylus avellana*, *Ostrya carpinifolia* e *Salix caprea* e altre specie più o meno eliofile legate alla destrutturazione dei boschi, come *Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaeus* e *Viburnum opulus*.

Tra le principali formazioni erbacee sono rinvenibili nell'area:

- **prati stabili e pascoli submontani seminaturali**, tipici di un ambiente sub-mediterraneo, quali i prati aridi dell'ordine *Festuco-Brometea* (*Mesobromion*, *Xerobromion*): sono in genere sfalciati annualmente e presentano un elevato valore paesaggistico e floristico. Lo strato erbaceo è dominato da *Bromus erectus*, a cui si aggiungono varie *Poaceae* (es. *Anthoxanthum odoratum*, *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Holcus lanatus*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Poa pratensis*), *Fabaceae* (es. *Lotus corniculatus*, *Melilotus alba*, *M. officinalis*, *Trifolium pratense*, *T. repens*), alcune specie termo-xerofile (es. *Achillea millefolium*, *Galium mollugo*, *Salvia pratensis*, *Silene vulgaris*) ed altre specie quali *Daucus carota*, *Malva sylvestris*, *Plantago lanceolata*, *Linaria vulgaris*, *Dianthus carthusianorum*. Nelle situazioni più aride sono anche presenti arbusti suffruticosi come *Helianthemum nummularium* e *Teucrium chamaedrys*;
- **formazioni erbacee ruderali**: presenti in aree caratterizzate da un disturbo antropico molto elevato, sono in genere caratterizzate da una bassa (ma a volte continua) copertura vegetale e dalla dominanza di specie pioniere. Tali formazioni sono tipiche delle fasi iniziali della rivegetazione dopo l'abbandono dei campi agricoli e nelle aree di cava, dove la vegetazione è discontinua e spesso effimera.

## 2.3 Piano Cave Provinciale

Il *Piano Cave Provinciale per il settore delle pietre ornamentali* della Provincia di Brescia regola l'attività estrattiva nel bacino del Botticino relativa all'estrazione della Corna, che presenta caratteristiche petrofisiche ed estetiche che la rendono adatta per l'uso strutturale e architettonico nel settore edilizio. Di durata ventennale, basato su criteri tecnico-scientifici e modificabile a seconda delle nuove necessità o degli adeguamenti tecnici, il Piano Cave ha valenza di piano territoriale regionale.

### 2.3.1 Giacimento sfruttabile e ATE

Il Piano Cave identifica il *giacimento sfruttabile*, che comprende l'area interessata

dalla presenza di risorse minerali sfruttabili oggettivamente. Tale identificazione, che è basata sulla conoscenza delle caratteristiche geologiche della zona, tiene anche conto del rischio idrogeologico connesso al reticolo idrografico superficiale e sotterraneo, dei costi ambientali, sociali, culturali ed economici (es. consumo di suolo, trasporto dei materiali estratti, destinazioni d'uso del territorio, risorse ambientali ed energetiche), oltre che della presenza di vincoli e limiti non eliminabili (es. presenza di aree naturali protette, strade, ferrovie, linee tecnologiche, centri urbani). La delimitazione del *giacimento sfruttabile*, che non coincide quindi con il giacimento così come definito dal punto di vista geologico, non ha limiti temporali: la capacità di estrazione va oltre il termine di validità del Piano Cave in vigore, permettendo la sua protezione nel tempo.

All'interno del *giacimento sfruttabile* sono inclusi gli Ambiti Territoriali Estrattivi (ATE), che sono le unità territoriali, omogenee per tipo di giacimento minerario e metodi di coltivazione e recupero, in cui è consentita l'attività estrattiva. Per ogni ATE, che può includere una o più cave, il Piano Cave identifica la localizzazione, il tipo, la qualità e la quantità (in profondità e volume) delle risorse sfruttabili, nonché i metodi e le fasi di coltivazione sulla base di:

- consistenza del *giacimento sfruttabile*;
- caratteristiche commerciali e tecniche del materiale estratto;
- sensibilità ambientale e caratteristiche geologiche, geotecniche, strutturali e idrogeologiche dell'area oggetto della coltivazione;
- presenza di cave esistenti, vegetazione ed uso reale del territorio;
- bacino d'utenza, caratteristiche delle strade di servizio, posizione possibile e caratteristiche delle aree di deposito.

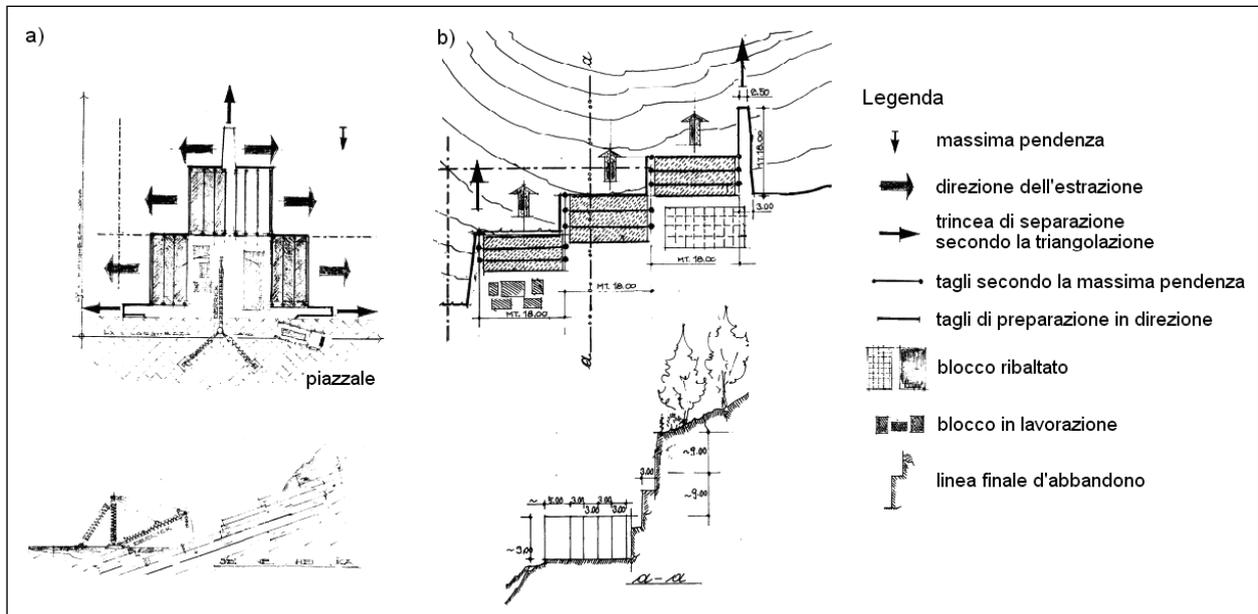
### **Avanzamento del fronte di cava**

Per quanto riguarda le tecniche estrattive, si prevede in generale uno sfruttamento del giacimento in modo sub-orizzontale, tramite uno o più fronti di avanzamento, secondo la tecnica "a fronte gradonato". L'avanzamento del fronte procede comunque a seconda delle caratteristiche locali del giacimento e della presenza e direzione di superfici di debolezza, come la stiloliti (superfici di soluzione a causa della pressione dei sedimenti sovrastanti), note tra i cavaatori come *vena grassa*. In genere, sono seguiti due metodi (Fig. 13):

- per tagli lunghi inclinati;
- per trincee discendenti: usato solo negli ATE o34 e o35 e spesso associato al primo metodo.

### **2.3.2 Il recupero naturalistico delle cave dismesse**

Per gli ATE del bacino estrattivo del Botticino, immersi in un contesto per lo più seminaturale e non prossimi ai centri urbani, il Piano Cave prevede una destinazione finale ad *uso naturalistico* che dovrebbe mirare alla creazione di comunità vegetali in equilibrio con l'ambiente circostante ed in grado di svilupparsi rapidamente, in modo da limitare l'impatto visivo, garantire la stabilità e la sicurezza dei versanti, nonché



**Fig. 13** Metodi di avanzamento del fronte, come illustrato dall'ingegnere Carlo Costa: **A)** metodo per tagli lunghi inclinati, **B)** metodo per trincee discendenti (da: Piano delle Cave della Provincia di Brescia)

il regolare deflusso idrico ed il controllo dell'erosione superficiale. Il recupero, che dovrebbe innescarsi progressivamente che le aree vengono dismesse a seguito di raggiungimento del profilo finale d'abbandono e dovrebbe essere diversificato a seconda delle caratteristiche geomorfologiche dell'area (pendenze sopra e sotto 35°), dovrebbe quindi prevedere:

- modellazione dei versanti, in coerenza con le forme del paesaggio circostante;
- preparazione del terreno, per garantire lo sviluppo a lungo termine della vegetazione;
- selezione delle specie vegetali, tramite un elenco dettagliato di erbe, arbusti e alberi, ed una rappresentazione grafica dei tipi di vegetazione selezionati che dovrebbe imitare l'eterogeneità naturale;
- piantagione e semina;
- monitoraggio e manutenzione.

Il piano (o i criteri regionali) forniscono anche talune prescrizioni circa le singole fasi, come ad esempio:

- massima altezza dei gradoni di 30 m, con pendenza massima di 90°;
- necessità di conservazione del substrato rimosso per la preparazione del sito iniziale (*cappellaccio*) in depositi temporanei nei pressi dell'area di cava;
- profondità minima del substrato per le opere di recupero di 50 cm su piattaforme e accumuli e 30 cm sulle scarpate in cui è prevista la piantagione di alberi;
- preferenza degli ammendanti di origine organica;
- selezione di specie vegetali autoctone (principalmente *Poaceae* e *Fabaceae* tra le erbacee) in base alle esigenze ecologiche (compreso l'uso di specie vegetali ruderali);
- uso di individui vegetali non completamente sviluppati;
- uso dell'idrosemina per lo strato erbaceo;
- necessità di interventi di manutenzione post-messa a dimora (es. irrigazione).

## Scelte alternative al recupero naturalistico delle cave dismesse

Oltre al recupero naturalistico, è possibile prevedere di ripristinare le aree di cava dismesse verso un uso produttivo o sociale (Kather & Arnaud 2007). Il Piano Cave della Provincia di Brescia individua altre tre possibili destinazioni finali per le aree estrattive a fine coltivazione: a) riabilitazione per uso agricolo, b) riabilitazione per uso ricreativo e verde pubblico attrezzato e c) riabilitazione per uso insediativo. La destinazione d'uso più opportuna per ciascun ATE viene individuata direttamente dal Piano Cave sulla base di metodi, costi, tempi di riabilitazione, morfologia locale, condizioni ambientali, rete ecologica e storia dell'ATE e del suo contesto (Fig B).

La riabilitazione per uso agricolo consiste nella conversione delle cave dismesse in campi coltivati, pascoli e/o boschi per attività agrosilvopastorali. La creazione di suoli fertili potrebbe richiedere notevoli sforzi per la rimodellazione dei versanti, la creazione di condizioni microclimatiche favorevoli per la coltivazione di prodotti di pregio ed il controllo dell'azione delle acque per eliminare problemi di erosione superficiale. Tuttavia, la funzione rurale e produttiva potrebbe essere così valorizzata da restituire la cava alla comunità con funzioni più remunerative rispetto a quelle originarie.

La riabilitazione per uso ricreativo e verde pubblico attrezzato è in genere preferita nei casi in cui le cave siano localizzate nei pressi di centri urbani, dove il bisogno del recupero si incontra con scopi sociali e ricreativi, oltre che prettamente estetici. Le cave recuperate acquisirebbero la funzione di aree verdi periurbane, con funzioni di depurazione chimico-fisica e biologica dell'aria, regolazione della temperatura ed attenuazione dei rumori. Inoltre, nel caso di un recupero a parco ricreativo o geoparco, potrebbero essere promosse attività quali arrampicate, equitazione ed educazione ambientale. Le cave potrebbero essere trasformate in veri e propri musei a cielo aperto in cui itinerari ben studiati potrebbero illustrare le caratteristiche geologiche e strutturali più interessanti delle formazioni rocciose esposte e le tecnologie minerarie moderne e del passato.



Fig. B Scelta della destinazione d'uso finale delle cave (da ATE o4): aree estrattive nel bacino del Botticino in prossimità di centri urbani, aree agricole ed aree boschive seminaturali. Foto: F. Gilardelli

In prossimità di centri abitati e poli industriali, si può inoltre prevedere la riabilitazione per uso insediativo, destinando le cave alla costruzione di insediamenti industriali, abitazioni ed infrastrutture.

Una volta selezionata la destinazione principale di ogni cava, i progetti di recupero dovrebbero comunque tener conto dell'eterogeneità ambientale, delle potenzialità e delle peculiarità della cava da recuperare. Supponiamo, per esempio, che sia prevista dal Piano Cave una riabilitazione per uso ricreativo e verde pubblico attrezzato in talune cave di calcare e che si preveda di trasformare le rupi artificiali in pareti di roccia per le arrampicate sportive. In tali casi si dovrebbe comunque prevedere di limitare l'accesso al pubblico e promuovere un recupero naturalistico almeno nelle aree più sensibili al fine di conservare le specie floristiche e faunistiche di pregio. In tal modo, da un lato si perseguirebbe uno scopo sociale e ricreativo e dall'altro si limiterebbero i possibili impatti negativi delle arrampicate sulla vegetazione rupicola, quali la riduzione della copertura vegetale e della densità di alberi e arbusti e la variazione nella composizione floristica e nelle forme biologiche (Rusterholz et al. 2004).



# parte 2



### 3 Linee teoriche del recupero tecnico delle cave del Botticino

Lo scopo principale del recupero naturalistico delle cave di calcare consiste nell'accelerare le dinamiche di colonizzazione spontanea verso lo sviluppo di un ecosistema di pregio, in grado di auto-sostenersi nel lungo periodo, coerente con l'ambiente circostante e capace di migliorarne le funzioni ambientali e paesaggistiche. Pertanto, un approfondito studio preliminare ed un'accurata progettazione delle diverse fasi del recupero sono fondamentali.

Al fine di aumentare le probabilità di successo del recupero naturalistico di ambienti molto degradati, quali le cave di calcare, lo studio scientifico preliminare dovrebbe essere in grado di prevedere la futura evoluzione spontanea dell'ecosistema, nonché gli effetti di diversi interventi di ecologia applicata ed ingegneristici nel medio e lungo periodo. Una dettagliata caratterizzazione delle condizioni stagionali, a partire dall'identificazione e dalla quantificazione dei principali impatti ambientali, è indispensabile per pianificare degli interventi in grado di contrastare le cause di degrado, evitando di ridurre il recupero ad una temporanea mitigazione a "pronto effetto" (Griffith & Toy 2001).

#### 3.1 Gli impatti sulla componente biotica da considerare per il recupero

L'apertura di cave di calcare influenza sia l'aspetto ambientale (componenti biotiche ed abiotiche) sia quello socio-economico (in relazione alla presenza di centri abitati). Di seguito descriveremo i principali fattori che influenzano negativamente la componente biotica, vegetale ed animale.

Le dinamiche di rivegetazione spontanea risultano alterate a seguito dell'attività estrattiva, con conseguenze negative sia sulla struttura sia sulla composizione delle comunità vegetali ed animali, nonché sulla durata delle singole fasi della ricolonizzazione (es. Konvalinková & Prach 2010). Gli impatti negativi di maggiore entità sono ovviamente legati alla fase di preparazione iniziale del sito e alle fasi centrali dell'attività estrattiva (es. Phillips 2012), ovvero alla:

- preparazione del sito per l'estrazione, che prevede la rimozione della vegetazione e del suolo per portare alla luce il giacimento da sfruttare;
- fase estrattiva in senso stretto.

Tali fasi creano evidenti effetti sul paesaggio, sulla geomorfologia e sul suolo, sul reticolo idrografico, sulla vegetazione e sulla fauna.

Riguardo al **paesaggio**, nel bacino estrattivo del Botticino la deforestazione di estese aree e l'affioramento in superficie della Corna interrompe la continuità visiva del paesaggio, sia cromatica sia morfologica (Savoldi et al. 2011a), tanto che le cave appaiono come "ferite" aperte nei versanti collinari (Fig. 14).

Dal momento che il bacino estrattivo presenta una notevole estensione e le cave sono prossime le une alle altre, se non adiacenti, il coordinamento dei singoli progetti di recupero è di estrema importanza. Nel rispetto delle peculiarità di ciascuna cava, i progetti di



**Fig. 14** Panoramica sulle cave del sottobacino centrale del Botticino (da ATE o13): impatto dell'attività estrattiva sul paesaggio.  
Foto: F. Gilardelli

recupero dovrebbero mirare alla creazione di un ecosistema costituito da unità (le singole cave) il più possibile compatibili le une con le altre e coerenti con il paesaggio (semi)naturale circostante. La funzionalità della Rete Ecologica dovrebbe essere garantita.

Come il paesaggio anche la **geomorfologia** viene alterata dall'attività estrattiva: a fine coltivazione sono presenti superfici geomorfologiche con caratteristiche diverse sia su larga scala (rupi artificiali, piattaforme e accumuli) sia su piccola scala (es. depressioni), con esposizioni non sempre uguali a quelle originarie (Fig. 15).

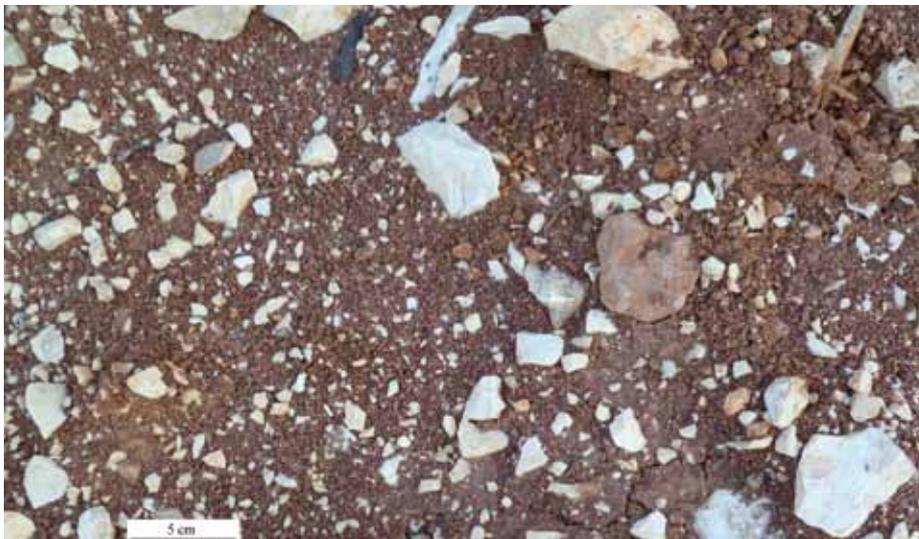
L'eterogeneità geomorfologica influenza notevolmente le dinamiche spontanee di ri-vegetazione nelle aree di cava: rupi artificiali, piattaforme e accumuli coetanee sono generalmente colonizzate da diverse comunità vegetali.

All'interno della stessa cava, le misure di recupero dovrebbero essere diversificate a seconda della superficie geomorfologica da ripristinare e dei fattori limitanti ad essa associati.

**Fig. 15** Asportazione di materiale lapideo ed alterazione della geomorfologia (ATE o29).  
Foto: F. Gilardelli



Nelle cave del Botticino, il **suolo** che viene rimosso durante la preparazione del sito per la coltivazione (detto “cappellaccio”) e i residui della lavorazione prodotti durante la fase estrattiva sono accumulati all’interno o nei pressi della cava da cui provengono. In tal modo, gli strati superficiali più fertili del suolo ed il materiale meno fertile sono spesso mescolati insieme, così che il substrato risultante presenta cattive caratteristiche chimico-fisiche. In genere, esso è infatti povero in nutrienti e sostanza organica, con una scarsa o assente attività biologica (es. batteri azoto-fissatori, micorrize, decompositori del suolo), una temperatura superficiale alterata, un pH elevato, una tessitura argillosa (“suoli pesanti”), una struttura fisica scadente ed una forte presenza di scheletro costituito da numerosi frammenti di roccia calcarea eterogenei per forma e dimensioni (Fig. 16). I processi pedogenetici risultano quindi molto lenti. Nelle aree di cava, il substrato è tra i fattori più importanti in grado di influenzare l’attecchimento e lo sviluppo delle specie vegetali e quindi di guidare e controllare la velocità della successione. Per le sue caratteristiche chimico-fisiche, il substrato che costituisce gli accumuli del Botticino e che viene generalmente usato nelle fasi di recupero, è poco idoneo per lo sviluppo della vegetazione. La tessitura argillosa, oltre a catturare meno semi rispetto ad una tessitura più grossolana, presenta condizioni meno adatte alla loro germinazione e può limitare la crescita delle piante e lo sviluppo della vegetazione, a seguito di problemi legati all’aerazione, all’infiltrazione ed alla ritenzione idrica, per la forte adesione e coesione tra particelle ed acqua (Leavitt et al. 2000). Inoltre, il pH elevato è responsabile della diminuzione della disponibilità di alcuni nutrienti tra cui ferro, manganese, zinco, rame e fosforo (Muzzi & Rossi 2003). Pertanto, sarebbe auspicabile evitare di miscelare i substrati più fertili a quelli meno fertili già dalla preparazione del sito per l’estrazione, nonché prevedere misure idonee per migliorare le caratteristiche chimico-fisiche del substrato, prima di procedere con l’impianto della vegetazione durante il recupero naturalistico.



**Fig. 16** Materiale usato per il recupero delle cave a fine coltivazione (ATE 013).  
Foto: F. Gilardelli

Per quanto riguarda il **reticolo idrografico** è necessario tenere presente che eventi estremi di precipitazioni possono intensificare processi di erosione, sedimentazione e *run-off*, ridurre la ricarica naturale e alterare il deflusso superficiale e di falda. Il recupero, oltre che prevedere una regimazione idraulica laddove necessario, dovrebbe anche garantire il rapido sviluppo della copertura vegetale al fine di aumentare la protezione della falda idrica sottostante. Inoltre, vista la possibilità di ristagno idrico in depressioni e piattaforme a causa della tessitura argillosa del substrato, le specie vegetali da utilizzare dovrebbero essere selezionate tra quelle in grado di sopportare periodi, anche prolungati, di asfissia.

Gli effetti sulla **vegetazione** sono principalmente legati alla fase di preparazione del sito per la coltivazione, che richiede la completa rimozione della vegetazione e degli ecosistemi preesistenti. I processi bio-ecologici sono interrotti e la biodiversità, oltre ad essere in parte persa, è minacciata a causa della possibile introduzione di specie alloctone invasive legate alla presenza antropica. La ricolonizzazione delle aree dismesse (temporaneamente e non) è molto lenta a causa delle avverse condizioni ambientali, legate soprattutto alle pessime caratteristiche chimico-fisiche del substrato (Mendez & Maier 2008). Nel bacino del Botticino, la maggior parte delle aree dismesse presenta macchie sparse di vegetazione costituite da specie ruderali di scarso valore naturalistico, che permangono per molti anni (Fig. 17).

**Fig. 17** Rivegetazione spontanea con dominanza di *Populus nigra* in un'area di cava dismessa dopo 5-10 anni dal termine della coltivazione (ATE 013).  
Foto: F. Gilardelli



Uno studio approfondito delle dinamiche vegetazionali presenti all'interno della cava e nei suoi dintorni dovrebbe essere la base su cui progettare il recupero naturalistico. Esso è infatti fondamentale per identificare i casi in cui la successione spontanea è di per sé sufficiente a ricreare comunità di pregio naturalistico o, in caso contrario, in che aree, in che momento della successione e con quali modalità sono necessari degli interventi diretti (es. fitocenosi da ricreare, tecniche migliori di impianto della vegetazione).

Infine, la rimozione della vegetazione provoca la perdita, il degrado e la frammentazione del paesaggio e degli ecosistemi, oltre che la distruzione dei siti di alimentazione e rifugio per gli **animali**, la creazione di habitat pericolosi per il loro movimento (Fig. 18) e l'introduzione di specie alloctone che costituiscono un fattore di rischio per le popolazioni locali. Il conseguente isolamento delle popolazioni diminuisce il flusso genico tra le stesse determinando una perdita del patrimonio genetico e della biodiversità. Il recupero naturalistico delle cave dovrebbe mirare alla creazione di una comunità vegetale non solo di pregio ed autosufficiente, ma anche in grado di ospitare la fauna locale. Tramite un'accorta selezione delle specie vegetali e della struttura della vegetazione si dovrebbero creare habitat diversificati sia verticalmente (es. con distinto strato erbaceo, arbustivo ed arboreo) sia orizzontalmente (es. macchie seriali di vegetazione). Inoltre, almeno parte delle specie vegetali selezionate dovrebbero essere in grado di fornire rifugio e/o nutrimento agli animali (es. specie con frutti eduli).

**Fig. 18** Creazione di siti poco idonei al movimento degli animali (ATE o3). Foto: F. Gilardelli



### 3.2 Successione spontanea o recupero tecnico?

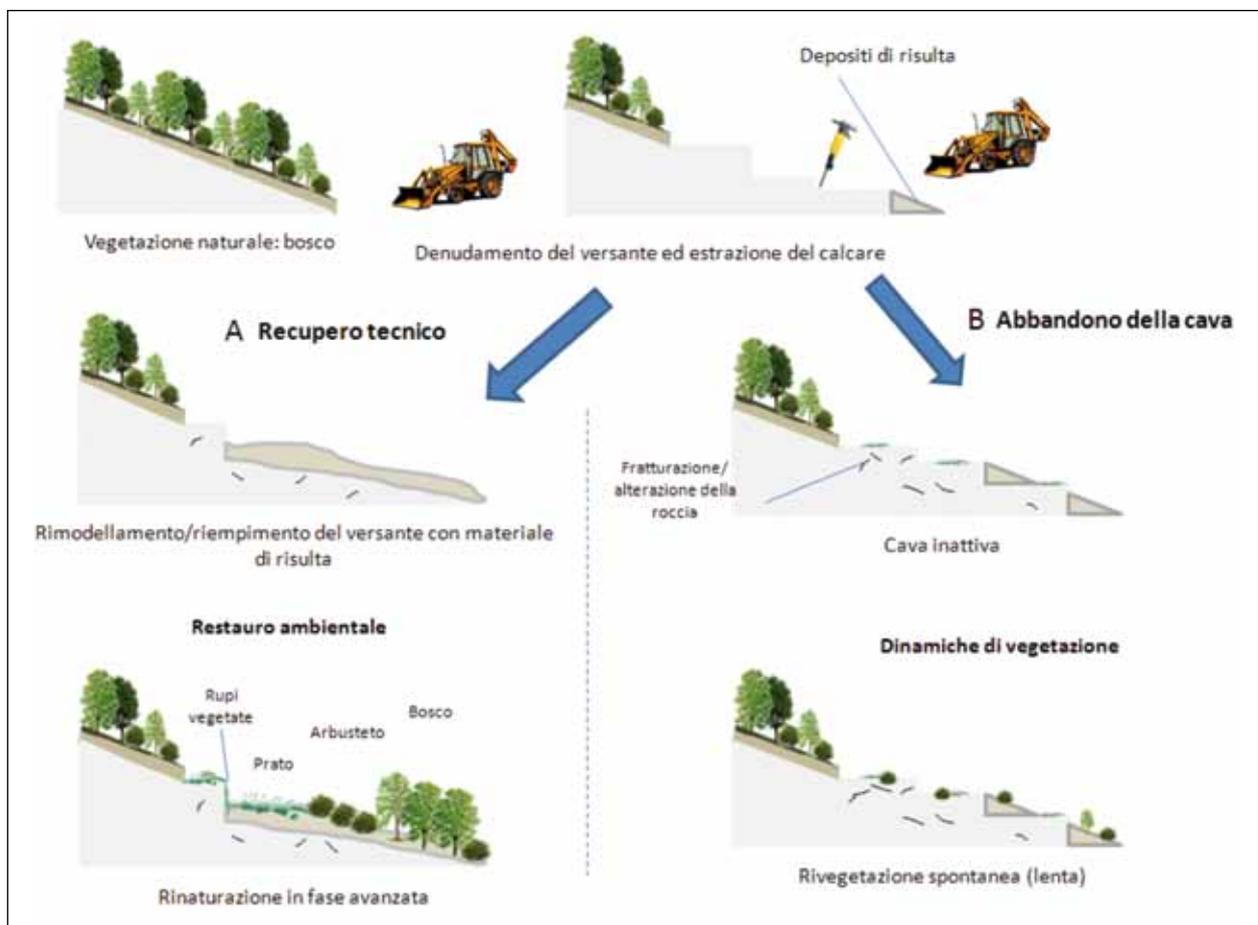
La caratterizzazione delle condizioni stazionali, lo studio delle dinamiche spontanee di rinaturazione e l'identificazione degli impatti prima e dopo l'abbandono della cava sono utili strumenti per la selezione del miglior approccio su cui improntare il recupero naturalistico. In generale, è consigliabile (es. Tropek et al. 2010):

- a) affidare completamente il recupero alla successione spontanea, senza prevedere alcun tipo di intervento diretto (*successione spontanea*), oppure:
- b) manipolare la successione spontanea verso un habitat target variando l'entità e l'estensione degli interventi antropici (*recupero tecnico*).

Considerata l'elevata eterogeneità ambientale e geomorfologica delle cave di calcare, non è da escludere che i due approcci, entrambi validi, possano essere realizzati contemporaneamente all'interno della stessa cava, a seconda delle caratteristiche stazionali locali (Fig. 19).

La *successione spontanea* può rappresentare una scelta di recupero efficace ed economica in quanto, in linea teorica, le specie autoctone delle comunità vegetali circostanti la cava, già adattate alle condizioni ambientali locali, potrebbero essere in grado di ricolonizzare rapidamente gli ambiti degradati. La vegetazione che si instaurerebbe

**Fig. 19** Fasi dell'estrazione e del recupero.  
 Illustrazione: R. Gentili



potrebbe quindi avere un elevato valore naturalistico, una buona ricchezza floristica (anche determinata da specie vegetali di pregio), un'elevata ed eterogenea copertura vegetale in grado di contrastare la diffusione di specie esotiche invasive e di ospitare una comunità animale grazie all'offerta di habitat diversificati. La successione spontanea è pertanto consigliata nei casi in cui (es. Holl 2003):

- non vi siano problemi legati alla stabilità e sicurezza dei versanti (es. rischio di erosione incontrollata, crollo dei fronti di cava), che richiederebbero un intervento immediato per la messa in sicurezza dell'area;
- l'area da recuperare presenti moderati livelli di stress ambientali, tali per cui lo sviluppo della vegetazione non sia troppo limitato da condizioni abiotiche avverse (eccessivo stress) o da un'elevata competizione inter-specifica (eccessiva produttività);
- il tempo necessario per il raggiungimento dell'equilibrio dinamico con le comunità vegetali circostanti sia ritenuto ragionevole, anche considerando le destinazioni d'uso attuali e previste nel territorio dove è situata l'area da recuperare;
- l'area da recuperare sia di dimensioni limitate e circondata da comunità vegetali con specie spontanee ed elevata capacità di colonizzazione (es. specie autoctone con piccoli semi facilmente trasportabili dal vento).



**Fig. 20** Ricolonizzazione degli accumuli da parte della ruderale *Populus nigra* e dell'esotica invasiva *Buddleja davidii* (ATE 014).  
Foto: F. Gilardelli

Nella maggior parte delle cave di calcare, tali condizioni si verificano raramente, mentre è spesso stringente la necessità di accelerare lo sviluppo della copertura vegetale e degli ecosistemi verso un incremento del valore naturalistico, produttivo ed estetico delle aree degradate ed una diminuzione dei rischi e degli impatti ambientali (es. Kather & Arnaud 2007). Inoltre, l'uso della *successione spontanea* come metodo di recupero presenta uno svantaggio intrinseco e non eliminabile: il controllo da parte dell'uomo sulla successione e sui tempi di recupero è molto limitato in quanto la direzione e la velocità della ricolonizzazione dipende in larga misura dalla natura della seedbank presente nel substrato e dalla dispersione dei semi da parte del vento e della fauna selvatica. Ciò considerato, il *recupero tecnico* è quindi richiesto in tutti i casi in cui (es. Prach & Pyšek 2001):

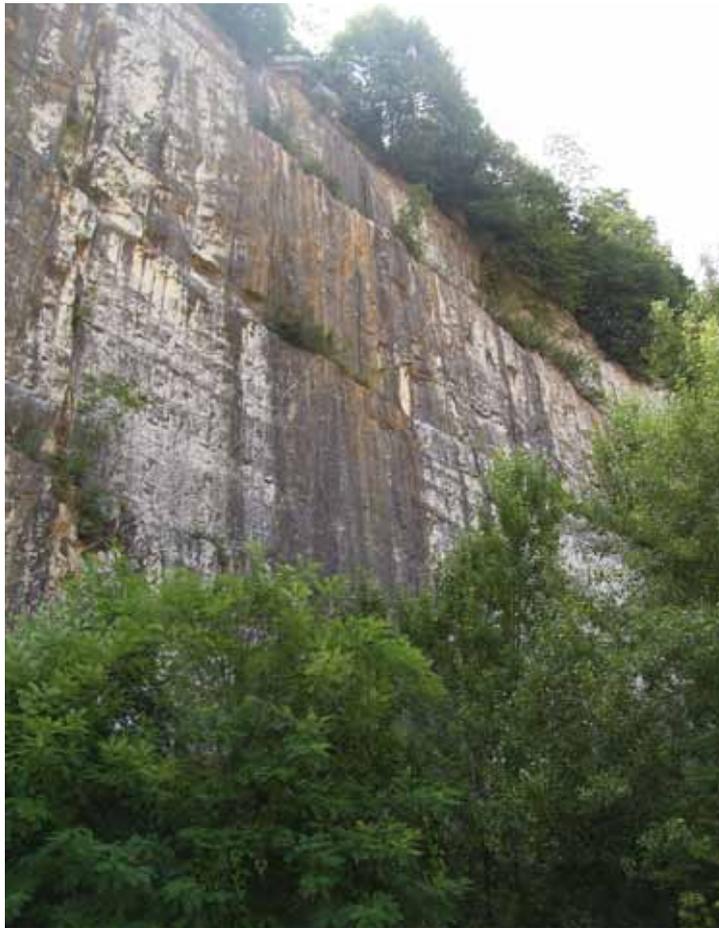
- l'area da recuperare a fine coltivazione sia molto degradata e presenti condizioni stazionali molto sfavorevoli per l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione (es. substrato con pH elevato e povero in nutrienti), tali per cui la ricolonizzazione spontanea richiederebbe tempi estremamente lunghi e ritenuti non accettabili;
- siano molto rilevanti gli impatti negativi dell'area di cava (o della cava) sull'ambiente circostante (es. impatto visivo sui centri abitati vicini, rischi rilevanti di frane, erosione del suolo e contaminazione delle acque);
- sia assente nei dintorni dell'area da recuperare una vegetazione di pregio, tale per cui la ricolonizzazione dell'area sia affidata alle sole specie esotiche e ruderali con elevata capacità di colonizzazione (Fig. 20). In tal caso, non solo la fase di equilibrio dinamico con la vegetazione circostante non avrebbe alcun pregio naturalistico, ma sarebbero anche necessari degli interventi per il controllo delle specie indesiderate.

### 3.2.1 Criticità ed opportunità del recupero tecnico

Nei casi in cui risulta evidente la necessità di intervenire direttamente sulle aree degradate, bisognerebbe tener presente che il recupero tecnico è in genere costoso. Pertanto, la sua applicazione laddove le condizioni ambientali siano estreme (es. rupi artificiali), deve essere accuratamente valutata e pianificata (Fig. 21). Infatti, anche i maggiori sforzi potrebbero richiedere costi e tempi d'attuazione troppo onerosi senza peraltro riuscire a contrastare i fattori abiotici limitanti e fallendo gli obiettivi del recupero. Sulle rupi artificiali, per esempio, il recupero tecnico potrebbe essere limitato alla creazione di fessure e nicchie, in modo da consentire l'accumulo del terreno e la creazione di condizioni idonee all'attecchimento delle specie vegetali per accelerare la successione spontanea.

Inoltre, è necessario tener presente che l'azione dei processi naturali non è mai eliminabile, anche in ambienti ricostruiti artificialmente. Infatti, la vegetazione circostante influenza le dinamiche all'interno delle cave da recuperare, soprattutto nelle fasi tardive della successione. Inoltre, non va sottovalutato il fatto che il substrato usato per il recupero presenta una propria seedbank, che potrebbe germinare a distanza di anni dagli interventi a seguito del miglioramento delle condizioni stazionali (es. Courtney et al. 2009). Gli interventi diretti potrebbero compromettere lo sviluppo già in atto di ecosistemi di pregio naturalistico nei casi in cui siano realizzati a distanza di molti anni dalla fine della col-

tivazione, quando i versanti sono ormai stabilizzati, le specie perenni autoctone iniziano a diventare dominanti e la copertura vegetale tende a chiudersi. In questi casi, infatti, non solo la rimozione di tali ecosistemi sarebbe di per sé negativa, ma gli interventi potrebbero oltretutto favorire la diffusione di specie vegetali infestanti (es. aliene invasive), che potrebbero diventare presto dominanti a seguito delle loro notevoli capacità di occupare lo spazio delle specie autoctone.



**Fig. 21** Parete verticale di diversi metri in cui gli interventi diretti di recupero potrebbero essere limitati alla creazione di fessure per permettere l'accumulo del terreno (ATE o14).  
Foto: F. Gilardelli

Infine, potrebbe essere opportuno conservare degli habitat alle fasi iniziali della colonizzazione, che, seppur semplificati, sono riconducibili ad ambienti aperti di prateria xerofila, con limitata disponibilità di nutrienti (fasi iniziali delle successioni naturali). Oggi, tali habitat naturali sono in declino a causa delle attività antropiche (es. rimboschimento naturale dopo l'abbandono delle terre marginali su colline e monti) e soggette a strategie di conservazione. A causa di tale declino, specie vegeali poco competitive e xerofile (es. orchidee) ed entomofauna (farfalle, coleotteri di superficie, ecc.) trovano sempre più spesso rifugio proprio nelle aree di cava abbandonate (es. Krauss et al. 2009). Quest'ultime possono quindi rivestire un ruolo di conservazione volto al mantenimento della biodiversità delle praterie xerofile.

### 3.3 Progettazione del recupero tecnico

Lo scopo principale del recupero tecnico è quello di accelerare i processi di rigenerazione verso una più rapida affermazione della vegetazione tipica delle fasi finali della successione, con ricchezza floristica e copertura vegetale elevate.

Sulla base di studi sperimentali di tipo tecnico-scientifico eseguiti su vaste aree, i progetti di recupero dovrebbero definire:

- l'ecosistema target da ricreare (che può essere più o meno simile a quello presente prima dell'apertura della cava);
- il livello di complessità da raggiungere;
- le unità di paesaggio da ricostruire;
- la fase della successione in cui intervenire;
- le tempistiche in cui si vogliono raggiungere gli obiettivi del recupero.

Un'erronea valutazione della situazione iniziale o la scelta di un livello di complessità non idoneo alla situazione locale, potrebbero compromettere il raggiungimento dell'obiettivo finale del recupero.

#### Tempistiche

Dal punto di vista temporale è possibile procedere secondo tre approcci:

- **recupero a cadenza continua:**  
ogni anno sono recuperate le aree di cava definitivamente dismesse; è difficilmente applicabile in quanto i tempi del recupero non coincidono con quelli dell'attività estrattiva: per esempio, la dismissione dei fronti di cava non avviene sempre in continuo;
- **recupero a cadenza periodica:**  
le aree di cava definitivamente dismesse sono recuperate ogni "n" anni, a seconda delle tempistiche dell'attività estrattiva. Il metodo, che presenta gli stessi vantaggi del precedente, potrebbe risultare tuttavia meno efficace a causa del lasso temporale che intercorre tra l'abbandono del fronte ed il recupero. Infatti, nonostante si disponga di più tempo per la raccolta e la propagazione del materiale vegetale, la conservazione prolungata del cappellaccio potrebbe comprometterne le caratteristiche chimico-fisiche;
- **recupero a cadenza unica:**  
il recupero viene realizzato in un'unica volta al termine della coltivazione.

A livello teorico, sarebbe consigliabile promuovere il recupero a *cadenza continua*, in quanto consente:

- il recupero immediato delle aree, limitando danni ecologici e paesaggistici e l'estensione del fronte di scavo;
- di predisporre controlli e verifiche nel lungo periodo, anche quando l'attività estrattiva è in corso;
- il riuso immediato del substrato asportato durante la fase di preparazione del sito, limitandone eventuali deterioramenti;
- la limitazione dei costi economici del recupero (per esempio, gli stessi cavatori potrebbero essere impiegati come manodopera);
- la programmazione di interventi correttivi e futuri recuperi sulla base di esperienze dirette.

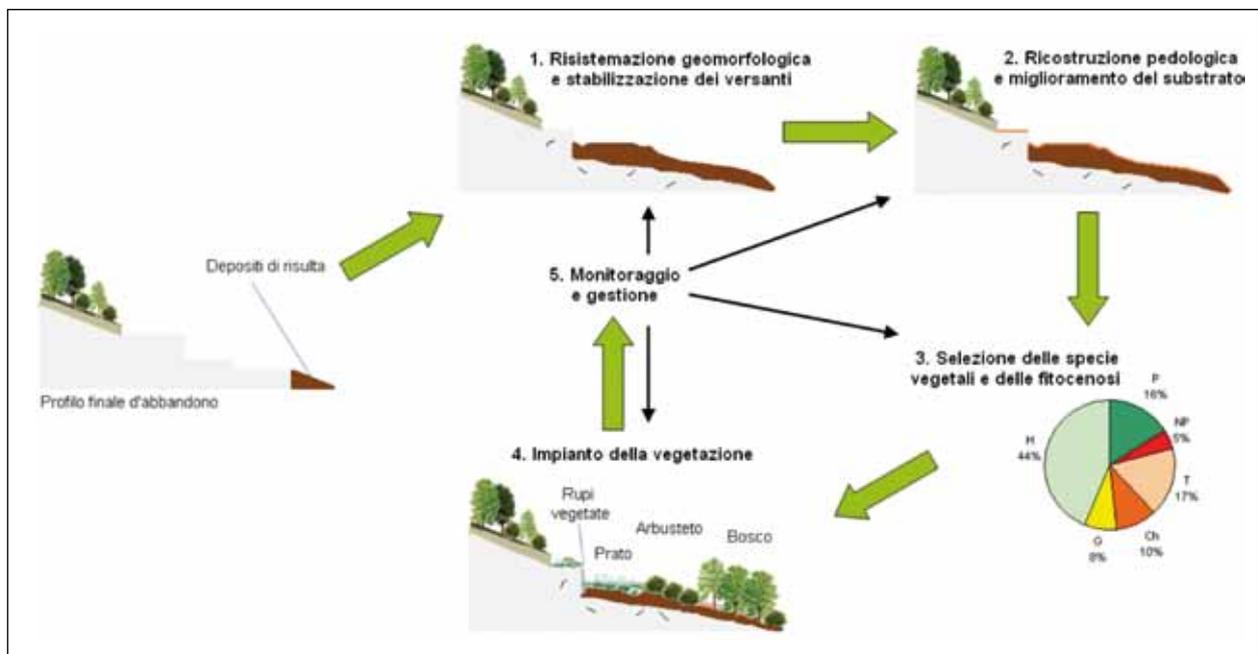
### 3.4 Fasi del recupero tecnico

Il metodo più comunemente utilizzato per i recuperi tecnici, in quanto adattabile per siti in condizioni diverse, relativamente economico e semplice dal punto di vista operativo, è il *metodo ricostruttivo*, che consiste nell'assemblare artificialmente gli elementi che compongono l'ecosistema. Nelle cave di calcare, si procede dapprima alla risistemazione geomorfologica dei versanti, alla regimazione idraulica ed alla preparazione del substrato; una volta selezionate le specie vegetali e le fitocenosi più idonee, si può proseguire con il loro impianto nell'area da recuperare. Il monitoraggio e la conseguente gestione degli interventi post-impianto sono una fase fondamentale e molto delicata del metodo stesso, che non dovrebbe essere mai trascurata (Fig. 22).

Il progetto di recupero dovrebbe essere accuratamente pianificato, sulla base della fattibilità economica, definendo l'inizio e la durata delle diverse fasi ed il calendario dei singoli interventi e dei controlli. Far coincidere i fattori biologici (es. clima, microclima, esigenze biologiche delle specie) con quelli organizzativi è di fondamentale importanza per evitare di compromettere l'esito finale della rinaturazione a causa dell'allungamento dei tempi di recupero, che causerebbero:

- ripercussioni negative sulla qualità dei materiali impiegati;
- una minor possibilità di germinazione o attecchimento, sopravvivenza e sviluppo della vegetazione;
- la necessità di rielaborazioni o aggiustamenti, con conseguente spreco di risorse;
- possibili effetti negativi nel lungo periodo (es. costipazione del suolo, innesco di fenomeni erosivi).

Fig. 22 Fasi del recupero tecnico. Illustrazione R. Gentili



Lo svantaggio principale insito nel metodo ricostruttivo consiste nell'impossibilità di ricostruire un sistema complesso e dinamico come l'ecosistema, in particolare:

- nel rischio di semplificare l'ambito ed il materiale biologico utilizzato. Per ovviare a tale problema si dovrebbe ottimizzare la variabilità e la diversità dei singoli interventi, prestando inoltre particolare attenzione alla selezione della provenienza e della variabilità genetica del materiale vegetale da utilizzare;
- nella non riattivazione immediata delle interazioni tra i diversi elementi;
- nell'impossibilità di reintrodurre la fauna meno mobile, come quella terricola.

Una buona pratica che consentirebbe di limitare notevolmente tali aspetti negativi potrebbe essere quella di integrare il metodo ricostruttivo con il più costoso *metodo traslativo*, che prevede la traslocazione di interi habitat (es. piccole porzioni di cotico superficiale, intero profilo di suolo e soprassuolo) da un "sito donatore" di pregio naturalistico all'area da recuperare. Il metodo potrebbe essere applicato su aree di estensione limitata, che fungerebbero quindi da innesco per una completa rinaturazione. Nell'applicazione del *metodo traslativo* bisognerebbe comunque tener conto di alcune criticità quali:

- il sito donatore deve essere individuato tra gli habitat (semi)naturali presenti nei pressi della cava da recuperare e con le medesime condizioni ambientali;
- è possibile traslocare solo comunità vegetali erbacee, uniche con un sistema radicale non troppo profondo da consentirne il prelievo ed il trasporto;
- il metodo è difficile da realizzare e richiede macchine operatrici appositamente studiate per le fasi di prelievo e trasporto;
- il prelievo dell'habitat da traslocare non deve comportare il depauperamento del valore naturalistico del sito donatore, per cui non è possibile traslocarne grandi porzioni, soprattutto in contesti fortemente antropizzati, dove gli habitat (semi)naturali rimasti sono una risorsa irrinunciabile.

### **3.4.1 Fase 1 Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti (a cura di S. Savoldi)**

Come indicato fin dalle prime considerazioni esposte, il recupero delle cave di monte del bacino estrattivo del Botticino, in realtà comprendente più Comuni (Botticino, Nuvolera, Nuvolento, Serle, Paitone) e riguardante più di una tipologia estrattiva (Botticino Classico, Semiclassico, Fiorito e Brece), presenta almeno tre tipi di strutture geomorfologiche a seguito della escavazione, spesso presenti contemporaneamente nelle singole cave: zone con pareti a taglio vivo, zone di accumulo di materiale già cavato e zone pianeggianti a piattaforma (piazzi). È evidente che le considerazioni circa le condizioni geomorfologiche delle zone di escavazione vanno distinte fra la fase di coltivazione e la fase di recupero finale una volta raggiunto un profilo finale di abbandono.

È da sottolineare che ogni progetto d'ATE ed ogni progetto attuativo per singola cava prevede un progetto di recupero una volta raggiunto il profilo finale di abbandono. Tale progetto di recupero definisce la morfologia finale composta come detto da pareti, gra-

doni, viabilità finale, zone pianeggianti al piede delle zone gradonate. Ciò perché previsto dall'art. 11 "Progetto degli ambiti territoriali estrattivi" della legge regionale 8 agosto 1998 n. 14, "Nuove norme per la disciplina delle coltivazioni di sostanze minerali di cava" che al comma 3 recita testualmente: *"Per gli ambiti territoriali estrattivi delle pietre ornamentali e dei calcari per usi industriali il progetto per quanto attiene all'assetto finale dell'area dovrà indicare la previsione dei profili di abbandono all'esaurimento del giacimento nonché la tipologia del recupero"*. Anche i provvedimenti autorizzativi in relazione ai recuperi dispongono che: *"Le opere di recupero siano attuate perseguendo la finalità di una riqualificazione ambientale in particolare il recupero delle alzate dei gradoni oggetto di abbandono definitivo dovrà essere realizzato progressivamente allo stato di avanzamento dei lavori. Le opere di recupero dovranno essere attuate progressivamente sulle aree via via abbandonate definitivamente dalla attività estrattiva perseguendo le finalità di una riqualificazione ambientale tale da ricostruire la continuità fisica ecologica visuale e cromatica delle formazioni boschive nel loro complesso"*.

Quindi anche la normativa vigente prevede un percorso che in questo testo viene definito come Recupero Tecnico più precisamente con metodo ricostruttivo.

### **3.4.2 Fase 2 Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato**

L'apporto e la lavorazione del substrato su cui verrà messa a dimora la vegetazione (generalmente scarti della lavorazione non pedogenizzati) è una fase chiave per accelerare lo sviluppo della comunità vegetale, riattivare l'attività biologica ed isolare elementi tossici eventualmente presenti (es. Šourková et al. 2005). All'interno della cava da recuperare, è consigliabile creare diverse aree omogenee per profondità e caratteristiche del substrato che, essendo adatte ad ospitare diverse comunità vegetali, contribuiscano già da questa fase a differenziare habitat ed unità di paesaggio.

In ogni area omogenea, la profondità del substrato dovrebbe essere adeguata al tipo di vegetazione previsto al fine di permettere lo sviluppo di un'ideale copertura vegetale. Tenuto conto delle quantità disponibili di substrato, la profondità ottimale dovrebbe essere calcolata sulla base delle caratteristiche delle specie selezionate (es. crescita attesa, area fogliare) e delle condizioni stazionali (es. temperatura dell'aria, fotoperiodo, presenza di condizioni di stress idrico). Se la profondità dovesse risultare insufficiente, la vegetazione potrebbe non essere in grado di persistere oltre il primo anno dall'impianto, anche a causa dell'incapacità del substrato di fungere da buffer rispetto al pH elevato della roccia calcarea sottostante (Zhang et al. 2001).

#### **Analisi pedologiche**

Le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche del substrato da utilizzare nel recupero possono essere dedotte indirettamente (es. dalle comunità vegetali che vi crescono, da confronti con situazioni analoghe). Tuttavia, le analisi pedologiche permettono di ottenere indicazioni più precise delle proprietà fisiche (rapporto acqua-substrato, aria-substrato,

struttura, erodibilità), chimico-fisiche (scambio cationico e anionico, potere tampone), chimiche (K, Ca, Mg, N, P, S, microelementi) e biologiche (attività biologica, mineralizzazione) del substrato. In genere, è possibile misurare un numero limitato di parametri chimico-fisici, quali il contenuto di scheletro e la tessitura, dai quali è possibile estrapolare con buona approssimazione gli altri parametri (Tabella 4).

Per quanto riguarda le analisi chimiche, si dovrebbero analizzare il pH, la capacità di scambio cationico (CSC), il calcare totale e attivo, il contenuto di sostanza organica e la disponibilità di elementi nutritivi (Tabella 5).

	acqua-suolo	aria-suolo	struttura	erodibilità	scambio cationico	scambio anionico	potere tampone	K, Ca, Mg	N	P	S	microelementi	attività biologica	mineralizzazione
Tessitura														
Densità apparente														
Calcare														
pH														
Sali solubili														
Sostanza organica														
N totale														
C/N														
CSC														
Saturazione														
ESP (sodio)														
P														
K, Ca, Mg														
S														
Microelementi														

**Tabella 4** Relazione tra i parametri chimico-fisici e biologici del substrato. Legenda: verde scuro: livello informativo molto buono; verde: livello informativo parziale; verde chiaro: livello informativo orientativo

Parametro	Unità di misura	Valori normali
pH in acqua	-	6-8
pH in KCl	-	5-7
CSC	Meq/100 g	10-20
Sostanza organica	%	2,0-3,0
N totale	‰	0,6-1,0
P totale	‰	0,2-0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totale	‰	0,45-0,80
P assimilabile (metodo di Olsen)	ppm	6-10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tassimilabile (metodo di Olsen)	ppm	13-25
K disponibile	ppm	80-125
K <sub>2</sub> O disponibile	ppm	100-150
Conduttività elettrica	mS/cm o mmho/cm	<4
Ca scambiabile	ppm	1000-2000
Mg scambiabile	ppm	180-360
Na scambiabile	ppm	90-200
K scambiabile	ppm	120-240
Saturazione cationica	%	40-60
ESP	-	<15

**Tabella 5** Valori normali delle proprietà chimiche del substrato (dati da: Muzzi & Rossi 2003)

### **Interventi sul substrato**

I risultati delle analisi pedologiche, oltre ad essere la base su cui progettare le successive fasi del recupero (es. la selezione delle specie vegetali), permettono di rilevare i fattori limitanti del substrato utilizzato e pianificare gli eventuali interventi agronomici necessari. Il miglioramento delle proprietà chimico-fisiche e biologiche del substrato nel breve e lungo termine può essere ottenuto tramite l'apporto di sostanza organica e lavorazioni meccaniche, eventualmente associati ad inoculi di micorrize ed alla correzione del pH per contrastare gli eccessi di alcalinità. La tipologia, l'entità e le tempistiche degli interventi variano a seconda delle condizioni ecologiche del sito da recuperare e degli obiettivi del recupero.

In linea generale, i migliori risultati sono ottenuti combinando diversi trattamenti e tecniche d'impianto della vegetazione, tenendo conto che la risposta delle specie vegetali è comunque specie-specifica (Clemente et al. 2004). Per ottenere buoni risultati, è comunque necessario integrare trattamenti con effetti:

- a breve termine, che, nonostante la limitata efficacia nel tempo, sono fondamentali per l'attecchimento della vegetazione;
- a medio termine, che, avendo un'efficacia più prolungata, sono in grado di influenzare l'evoluzione della vegetazione e del substrato.

### **Lavorazioni meccaniche**

Le lavorazioni meccaniche sono trattamenti che, tramite la modifica della porosità (temporanea o permanente, totale o parziale) e/o la creazione di strati protettivi, consentono di migliorare le proprietà fisiche del substrato (es. tessitura, struttura, regime termico, aerazione, permeabilità e disponibilità di acqua). Dal momento che tali caratteristiche influenzano le condizioni di ossido-riduzione, ne conseguono anche cambiamenti nell'entità e nella velocità delle reazioni chimiche e biochimiche, nonché nella presenza e quantità degli organismi presenti (Muzzi & Rossi 2003). Nei terreni argillosi, le lavorazioni sono fondamentali per favorire la penetrazione delle radici e garantire idonee condizioni di crescita per le piante nelle prime fasi della colonizzazione, con possibili effetti significativi anche a lungo termine (es. Courtney et al. 2009).

Tuttavia, per evitare un'eccessiva ossidazione ed una rapida distruzione della sostanza organica, le lavorazioni dovrebbero essere moderate e con profondità idonea in relazione a:

- spessore del substrato;
- orografia;
- tipo di vegetazione da insediare;
- disponibilità di mezzi ed attrezzature.

### **Ammendanti**

L'apporto di sostanza organica è tra i trattamenti più importanti e con effetti più duraturi, in grado di migliorare le proprietà chimico-fisiche e biologiche del substrato. La distribu-

zione sulla superficie da recuperare di uno strato uniforme (7-15 cm) di sostanza organica con provenienza, composizione ed effetti noti permette infatti di (es. Ortiz et al. 2012):

- migliorare la struttura e la componente colloidale organica del substrato nel medio/lungo periodo, tramite la graduale alterazione ed umificazione della sostanza organica, da cui si innescano molti processi di pedogenesi e di evoluzione dell'ecosistema;
- migliorare il contenuto e l'infiltrazione di acqua nel substrato, riducendo di conseguenza l'evaporazione ed i fenomeni erosivi;
- diminuire la biodisponibilità di metalli pesanti eventualmente presenti: l'umificazione di grandi quantità di sostanza organica consente di bloccare all'interno dei composti organici ed umici gli elementi minerali rendendoli indisponibili, visti i lunghi tempi per la loro ossidazione;
- facilitare la nutrizione delle piante, tramite l'aumento della CSC e la costituzione di materiale di riserva di sostanze organiche;
- promuovere e prolungare il periodo di germinazione dei semi;
- favorire la sopravvivenza e la crescita delle piante tramite la creazione di micrositii idonei alla colonizzazione;
- aumentare, tramite l'apporto di sostanza organica fresca, alterata ed umificata, l'entità e la velocità dell'attività biologica, nonché la formazione di una sviluppata comunità di micorrize, batteri, funghi, attinomiceti, artropodi detritivori e predatori.

Il giusto apporto di sostanza organica, ottenibile tramite l'uso di ammendanti preferibilmente organici e/o l'azione indiretta dell'attività delle piante, dovrebbe essere valutato in base alle condizioni stagionali. In generale, è consigliabile mantenere un contenuto medio del 3% su tutto il substrato (Muzzi & Rossi 2003), con percentuali più elevate nei primi 15-20 cm di profondità (Tabella 6).

Così come per i fertilizzanti, l'uso degli ammendanti deve essere opportunamente valutato e pianificato.

	<b>C</b>	<b>S.O</b>
Scarsa	<10	<17
Normale	10-15	17-26
Buona	15-22	26-38
Ottima	>22	>38

**Tabella 6** Contenuto di carbonio organico (C) e sostanza organica (S.O.) in g/Kg nei primi 15-20 cm di profondità in un terreno argilloso

### Fertilizzanti

L'arricchimento di elementi nutritivi per le piante (ed in particolare di azoto e fosforo) può avvenire tramite l'ossidazione di parte della sostanza organica naturalmente presente nel substrato: il processo di mineralizzazione libera infatti macronutrienti (N, P, K), mesonutrienti (Ca, Mg, S) e micronutrienti (Mn, Cu, Zn, B, Mo) nel substrato. L'entità ed il tipo di nutrienti liberati dipendono dal contenuto e dal tipo di sostanza organica, nonché dalle condizioni ossido-riduttive e dalla temperatura nel sub-

strato, dalla reazione della soluzione circolante e dalle caratteristiche della roccia madre. Pertanto, si potrebbe verificare una carenza o mancanza di mobilizzazione dei nutrienti (azoto in particolare), nonché uno sfasamento tra il periodo di massima necessità di azoto da parte della vegetazione (primavera) e quello di massima disponibilità (estate). In tali casi si può ricorrere all'uso di fertilizzanti (preferibilmente organici) con tempi di rilascio dell'azoto differenziati. L'uso di fertilizzanti organici assicura un buon apporto, oltre che dei macronutrienti, anche dei meso-elementi e micronutrienti, soprattutto se associati ad un'ideale correzione del pH, alle irrigazioni ed all'uso di concimi minerali. Se applicati durante le prime fasi di rivegetazione, potrebbero aumentare la biodiversità e la copertura vegetale iniziale, mantenendo un'elevata capacità di colonizzazione da parte delle specie circostanti (es. Andrews & Broome 2006). La quantità di fertilizzanti da usare dovrebbe essere selezionata in base ai valori di riferimento in substrati naturali presenti nei pressi dell'area da recuperare (Tabella 7).

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>
carente				<30	<15	<4	<8	<15	0,3
ottimale	10-300	500-2000	50-300	30-150	15-100	4-15	8-100	15-50	1-10
tossico				-	>1000	>20	>200	>75	>100

**Tabella 7** Valore di riferimento (ppm) per i nutrienti (da: Muzzi & Rossi 2003)

L'uso dei fertilizzanti deve essere giustificato da un'approfondita analisi delle condizioni stazionali locali, in quanto non mancano effetti negativi nel lungo termine (Fierro et al. 2000). Oltre a possibili contaminazione della falda acquifera sottostante in ambienti carsici, si potrebbe infatti favorire lo sviluppo di specie e comunità vegetali in grado di competere con la flora locale e specializzata di pregio naturalistico (es. Castillejo et al. 2011). I terreni poveri di nutrienti possono infatti limitare l'espansione e la competizione di specie ruderali ed aliene. Inoltre, gli eccessi di fosforo, che non hanno particolari conseguenze negative sullo sviluppo vegetale, possono favorire la creazione di strati compatti e l'accumulo di carbonati, influenzando negativamente la pedogenesi.

### **Correzione del pH**

In caso di un pH fortemente alcalino, è possibile predisporre degli interventi correttivi in funzione dell'obiettivo, del carattere dell'intervento, del tipo di destinazione prevista e della natura ed entità dell'alterazione del pH. È necessario comunque evitare eccessi nella correzione in quanto una veloce ed elevata variazione del pH può causare carenza o immobilizzazione degli elementi, fitotossici e non (Muzzi & Rossi 2003). La correzione può avvenire tramite:

- l'isolamento delle cause;
- l'aggiunta diretta di sostanze correttive appropriate da effettuarsi prima dell'impianto della vegetazione;

- interventi indiretti tramite pratiche che contrastano le reazioni anomale e/o le cause per favorire l'insediamento della vegetazione.

### **Interventi per favorire l'attività biologica**

Gli interventi indiretti (es. apporto di sostanza organica) e diretti atti a favorire l'attività biologica del suolo possono rivelarsi molto importanti in ambienti degradati. Il progressivo aumento e la graduale diversificazione dei microrganismi porta alla creazione di condizioni sempre più favorevoli all'attività biologica in senso lato, comportando nel medio e lungo periodo anche un miglioramento delle proprietà chimiche e fisiche del suolo.

Gli interventi più idonei per potenziare l'attività biologica e contrastare i principali fattori limitanti dovrebbero essere selezionati sulla base:

- delle finalità (es. stadio evolutivo da raggiungere) e del carattere dell'intervento (intensivo, estensivo, puntuale, reiterato);
- delle condizioni stazionali (microclimatiche, geochimiche ed ecologiche): considerato che la temperatura ottimale per l'attività biologica è tra 25-30°C, sono in genere consigliati interventi morfologici per il controllo dell'irraggiamento, in modo da evitare eccessi di calore (con conseguente blocco dell'attività fisiologica delle piante a causa della forte evapotraspirazione) o carenze di calore (che comportano il ritardo nella crescita delle piante e la germinazione dei semi);
- delle caratteristiche chimico-fisiche del substrato utilizzato: è importante creare un ambiente edafico con una buona porosità, areazione e drenaggio, con una soluzione circolante chimicamente equilibrata e ben dotata di elementi minerali;
- dell'attività microbica del substrato: potrebbero essere previsti inoculi di micorrize;
- delle esigenze agronomiche e/o ecologiche delle specie vegetali (pronto effetto, effetto dilazionato o effetto prolungato): è generalmente richiesta un'adeguata disponibilità di nutrienti.

### **3.4.3 Fase 3 Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi**

Le condizioni stazionali nelle cave dismesse sono generalmente molto avverse per l'attecchimento, la sopravvivenza, l'adattamento e lo sviluppo delle specie vegetali, tanto che anche gli interventi agronomici previsti per il recupero potrebbero non avere effetti significativi nel medio e lungo periodo. Pertanto, la selezione delle fitocenosi e delle specie vegetali da introdurre è una fase chiave per la ricreazione di ecosistemi di pregio.

Nel rispetto dei vincoli amministrativi (es. prescrizioni del Piano Cave Provinciale e di aree protette sull'uso delle specie vegetali, norme fitosanitarie), le specie vegetali dovrebbero essere selezionate sulla base di:

- dinamiche vegetazionali spontanee che caratterizzano l'intero bacino estrattivo e le diverse superfici geomorfologiche;

- condizioni stazionali dell'area da recuperare (es. caratteristiche chimico-fisiche del substrato, clima);
- flora e vegetazione nelle comunità vegetali (semi)naturali circostanti la cava, sia reali che potenziali;
- autoecologia delle specie potenzialmente idonee per il recupero (es. fisiologia, tipo di riproduzione e dispersione dei semi);
- biologia delle popolazioni delle specie potenzialmente idonee per il recupero.

### **Specie vegetali**

Le specie vegetali da usare nei recuperi naturalistici dovrebbero essere autoctone e, quando possibile, di provenienza strettamente locale, a seconda della disponibilità sul mercato e/o della facilità di moltiplicazione degli individui in situ o ex situ. Infatti, il loro uso permetterebbe di:

- ricreare comunità vegetali con un patrimonio genetico simile a quello degli ecosistemi naturali preesistenti le attività estrattive;
- minimizzare gli interventi antropici, grazie alla loro resistenza o resilienza alle possibili fluttuazioni e/o cambiamenti repentini delle condizioni ambientali locali;
- sopperire all'eventuale carenza di specie autoctone/locali nei dintorni della cava, in grado di colonizzare la cava stessa (es. cave lontane da habitat naturali).

In particolare: dovrebbero essere preferite specie autoctone locali con i seguenti attributi bio-ecologici:

- caratteristiche della comunità vegetali nei dintorni dell'area da recuperare o delle loro varianti in condizioni ambientali più limitanti (principio della disponibilità) o adattate ad ambienti comparabili a quelli da recuperare (principio dell'adattabilità);
- eventualmente presenti nelle fasi più avanzate della successione vegetazionale che caratterizza gli ambiti estrattivi locali, se di interesse naturalistico;
- con elevata capacità di adattamento e plasticità rispetto alle condizioni climatiche (e macroclimatiche) locali;
- adattate a svilupparsi sulla superficie geomorfologica da recuperare e nelle particolari condizioni microclimatiche e pedologiche ad essa associate (es. condizioni di ristagno idrico in aree depresse, periodi di siccità sulle rupi artificiali);
- adatte alle condizioni locali di esposizione, pendenza, persistenza idrica, potenza dello strato superficiale, presenza e profondità del materiale pedogenizzato (es. i versanti esposti a nord sono più freschi e quelli esposti a sud sono più aridi; la forte pendenza può limitare la presenza di essenze arboree);
- in grado di attecchire e svilupparsi sul substrato utilizzato nella rinaturazione tenendo conto della progressiva riduzione dell'efficacia delle tecniche agronomiche;
- con un'ideale strategia competitiva che permetta di persistere in habitat ostili: inizialmente dovrebbero essere preferite specie ruderali e stress tolleranti,

a causa delle avverse condizioni ambientali nei siti di cava appena abbandonati; le specie competitive potrebbero essere introdotte con interventi successivi;

- resistenti agli stress meccanici (es. taglio, strappo radicale, sommersione, interrimento, inghiaimento, azione del mantello nevoso, caduta di pietre e/o massi);
- resistenti a sostanze fitotossiche, parassiti e/o malattie;
- con buone capacità riproduttive (es. specie in grado di riprodursi dal primo anno dopo l'impianto vegetativamente e/o tramite numerosi e piccoli semi vitali facilmente disperdibili dal vento, penetrabili nel terreno e germinabili; Fig. 23);

**Fig. 23** Dispersione anemocora nelle cave di calcare: spiga di *Dactylis glomerata*. Foto: F. Gilardelli



Inoltre, le specie dovrebbero essere selezionate sulla base delle caratteristiche morfo-anatomiche e funzionali in grado di contrastare i principali fattori abiotici limitanti e migliorare le condizioni ambientali del sito da recuperare. In particolare, dovrebbero essere selezionate specie con buone capacità biotecniche in grado di (es. Wali 1999):



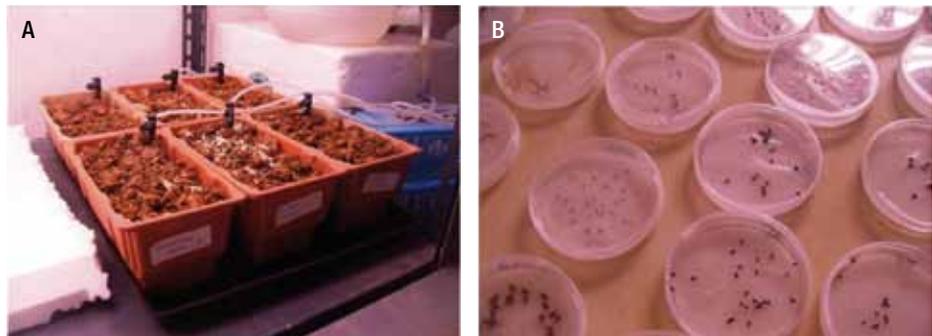
**Fig. 24** Attitudine delle specie a migliorare le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche del substrato: radici con noduli radicali di batteri azotofissatori di *Anthyllis vulneraria* (Fabaceae). Foto: F. Gilardelli

- consolidare i versanti (es. specie arboree ed arbustive con habitus radicale fittonante);
- contrastare eventuali problemi d'erosione superficiale (es. da vento e pioggia) tramite il rapido e permanente sviluppo della copertura vegetale e dell'apparato radicale (es. *Poaceae*). Nelle prime fasi della colonizzazione, potrebbe essere positivo l'uso di un numero limitato di specie annuali e biennali molto produttive unitamente alle specie perenni per incrementare la copertura vegetale (la ricchezza floristica potrebbe essere incrementata successivamente);
- proteggere e migliorare il substrato, come, per esempio, specie in grado di produrre abbondante lettiera e sostanza organica, specie con diversi apparati radicali in grado di esplorare tutto il substrato e/o di migliorare la fissazione dell'azoto come nel caso delle *Fabaceae* (Fig. 24);
- migliorare dell'impatto visivo: es. specie con ciclo vegetativo lungo e copertura vegetale sempre presente durante tutto l'arco dell'anno (es. specie sempreverdi o con apparati aerei disseccati nei periodi non vegetativi).

### Test di germinazione

Le condizioni ambientali avverse ed eterogenee delle cave potrebbero inibire (anche solo localmente) la germinazione delle specie ed il loro attecchimento (Kirmer & Mahn 2001). Pertanto, test di germinazione preliminari (Fig. 25), meglio se eseguiti direttamente in campo, potrebbero fornire utili indicazioni sulla germinabilità delle specie selezionate e quindi sulla loro idoneità ad essere utilizzate.

**Fig. 25** Test di germinazione in condizioni standard di temperatura e luce: **A)** in vaso, utilizzando il substrato per la rinaturazione e **B)** in capsule Petri, su carta da filtro.  
Foto: F. Gilardelli



### Selezione del materiale

Il materiale da utilizzare dovrebbe essere selezionato in base alla possibilità di reperimento (mercato, direttamente in natura), trasporto, conservazione ed acclimatazione, nonché al tipo d'impianto (es. semina, trapianto) ed alle tecniche di manutenzione previste. È importante assicurarsi che il materiale:

- abbia una provenienza locale, per ovviare al rischio di inquinamento genetico con le popolazioni locali;
- presenti una buona variabilità genetica (es. evitando di utilizzare individui provenienti da una o poche piante madri) in modo da riproporre la variabilità tipica, o perlomeno simile, delle popolazioni naturali.

### Fitocenosi

Il recupero naturalistico delle cave dovrebbe tendere alla ricreazione di un mosaico di comunità vegetali, ambienti e fitocenosi (es. prati aridi, zone arbustate, zone boscate, vegetazione rupicola) che siano spontaneamente o potenzialmente presenti nell'area in cui si trova la cava (Baldiraghi et al. 2009). La vegetazione reale e potenziale che caratterizza il contesto in cui la cava da recuperare è inserita dovrebbero quindi essere usate come modello, sia per composizione floristica, sia per struttura.

### 3.4.4 Fase 4 Impianto della vegetazione

Lo scopo del recupero naturalistico è la ricreazione su piccola scala di “unità ecologiche” autosufficienti, in grado di evolversi senza richiedere un’eccessiva manutenzione, che possano costituire a larga scala un mosaico ben inserito e connesso con il paesaggio circostante (anche nei suoi caratteri storici e culturali) e la rete ecologica di riferimento. Secondo i principi e gli strumenti forniti dall’ecologia del paesaggio, sarebbe quindi necessario inquadrare l’ecomosaico e le unità di paesaggio di riferimento, nonché i dinamismi in atto in cui si trova l’area da recuperare.

Ciascun habitat (prato, arbusteto, bosco) dovrebbe essere accuratamente progettato per quanto riguarda:

- forma e dimensioni;
- struttura;
- modalità di piantagione;
- densità di impianto;
- composizione specifica degli strati vegetazionali;
- età del materiale (per ottenere una stratificazione verticale);
- inserimento di elementi non vegetali;
- tipo di gestione.

#### ***Tecniche d’impianto***

L’impianto della vegetazione dovrebbe permettere un rapido sviluppo di una copertura vegetale continua e permanente nel tempo, che riesca a contrastare i possibili effetti dell’erosione e del deflusso superficiale, controllando la stabilità a lungo termine dei versanti e limitando la dispersione di eventuali inquinanti in atmosfera e nel reticolo idrografico. Pertanto, la miglior tecnica di impianto dovrebbe utilizzare un approccio ecosistemico che imiti le dinamiche naturali ed essere selezionata in base a:

- l’obiettivo finale del recupero, i tempi previsti, la disponibilità economica ed i vincoli legali e programmatori;
- fattori di ordine locale, quali: posizione e giacitura dell’area, viabilità ed accesso, disponibilità di manodopera, presenza di materiale per la propagazione o da vivai, disponibilità di mezzi di sostegno (es. irrigazioni);
- fattori stazionali, quali: clima, condizioni edafiche, competizione, parassiti e predatori;
- fattori biologici legati alla modalità di sviluppo radicale, di superamento della dormienza da parte dei semi, alla facilità di propagazione e di radicazione.

## Dinamiche vegetazionali nelle cave di calcare

A fine coltivazione, le superfici di cava sono per lo più nude e, in assenza di interventi antropici, la ricolonizzazione riprende seguendo il corso di una successione simile ad una successione primaria naturale (ovviamente non per le specie coinvolte), con progressivi cambiamenti a tutti i livelli biotici e abiotici (es. Prach 2003), quali:

- un progressivo aumento della copertura vegetale, della biodiversità e della complessità degli ecosistemi;
- un progressivo miglioramento della struttura della vegetazione e delle condizioni ambientali (soprattutto edafiche).

La colonizzazione delle aree di cava può essere generalmente descritta come una successione di quattro fasi, caratterizzate da diverse ed eterogenee comunità vegetali: “fase pioniera”, “fase intermedia”, “fase della colonizzazione tardiva” e “fase fluttuante” (Martínez-Ruiz & Fernández-Santos 2005).

Nella “fase pioniera” (Fig. C1), subito dopo l'abbandono della cava, le condizioni stagionali sono molto degradate ed il substrato è composto da roccia in posto non alterata e accumuli di materiale con caratteristiche chimico-fisiche avverse allo sviluppo della vegetazione e della comunità microbica del suolo. La tessitura, la disponibilità e ritenzione idrica, il contenuto di sostanza organica e la disponibilità di nutrienti nel substrato svolgono un ruolo chiave nella selezione delle specie vegetali (es. Shu et al. 2005). In genere, dominano erbe annuali e

ruderali ad ampio spettro ecologico, pressoché eliofile, con rapida crescita (a strategia di tipo R), apparato radicale più sviluppato di quello epigeo e dispersione anemocora molto efficace (es. Leteinturier et al. 1999). Tra queste vi sono, per esempio: *Tussilago farfara* (spesso rinvenibile anche nel bacino del Botticino), *Sonchus oleraceus*, *Salix caprea* e *Poa compressa* (Frouz et al. 2008). La ricolonizzazione si limita a macchie sparse di vegetazione composte da poche specie dominanti e con una complessità strutturale molto limitata (es. Cullen et al. 1998). Nonostante il contributo da parte della vegetazione circostante sia molto bassa (Brofas & Varellides 2000), l'elevata eterogeneità ambientale (spaziale e geomorfologica) all'interno della cava e l'assenza di limitazioni spaziali può garantire buoni livelli di diversità vegetale e animale (es. Brändle et al. 2000).

Nella “fase intermedia” (Fig. C2), a seguito dello sviluppo della flora annuale e del miglioramento delle condizioni abiotiche, erbe perenni più esigenti (o eventualmente bienni e talvolta arbusti) iniziano a colonizzare l'area. La crescente competizione inter-specifica da parte di tali specie più competitive, ed in particolare di quelle a crescita clonale e/o con elevata capacità riproduttiva, provoca un aumento del ruolo selettivo dei fattori biotici (es. Tischew & Kirmer 2007). Ciò potrebbe portare ad una diminuzione della diversità vegetale, a causa dell'aumento della copertura vegetale e del nu-



Fig. C1 Fase pioniera (ATE o29). Foto: F. Gilardelli



Fig. C2 Fase intermedia (ATE o29). Foto: F. Gilardelli

mero di specie erbacee annuali (Martínez-Ruiz & Fernández-Santos 2005). Verso la fine della fase intermedia, le specie perenni diventano sempre più dominanti fino a sostituire le specie annuali (Kather et al. 2003; Novák & Prach 2003).

Una volta che le condizioni ambientali siano ulteriormente migliorate, durante la “fase della colonizzazione tardiva” (Fig. C3), specie autoctone arboree ed arbustive, per lo più provenienti dai dintorni della cava, iniziano a sostituire la vegetazione precedente. La competizione interspecifica aumenta ed i filtri biotici sono i principali fattori per la selezione delle specie (es. Mota et al 2004). In siti molto produttivi, lo sviluppo dello strato arboreo-arbustivo potrebbe essere ritardato a causa della competizione troppo elevata con lo strato erbaceo (Prach 2003). La successione è fortemente influenzata dalle comunità vegetali circostanti la cava, tanto più se sono estese e/o vicine (es. Novák & Konvička 2006), nonché dalla capacità di immigrazione e colonizzazione (es. capacità di riproduzione e dispersione) delle singole specie (es. Campbell et al. 2003; Holec & Frouz 2005). A causa del contributo dalle zone circostanti, questa fase è la più critica nel determinare la probabilità di sviluppo di habitat di pregio naturalistico come, per esempio, prati xerofili e boschi; di conseguenza, è sempre necessario assicurare forme di protezione degli habitat



Fig. C3 Fase della colonizzazione tardiva (ATE o29). Foto: F. Gilardelli

naturali presenti nei dintorni delle cave (es. Parrotta & Knowles 2001).

Nella “fase fluttuante”, dal momento che le caratteristiche ambientali sono molto migliorate e l’influenza della vegetazione circostante le cave è notevole, le comunità vegetali nelle cave tendono ad essere in equilibrio dinamico con quelle circostanti per composizione floristica e diversità, caratteristiche e fluttuazioni (es. Martínez-Ruiz et al. 2001). Pertanto, se nei dintorni delle cave non sono presenti comunità vegetali di pregio, la vegetazione di tale fase potrebbe essere caratterizzata anche per diversi decenni da un basso valore naturalistico (Fig. C4).

Il ruolo del tempo non è sempre rilevabile soprattutto in condizioni ambientali estreme (es. Yuan et al. 2006) o in caso di variazioni nel clima locale dopo l’abbandono della cava (es. Wiegleb & Felinks 2001; Moreno-de las Heras et al. 2008). Queste possono infatti provocare una riduzione temporanea della produzione di biomassa e della biodiversità, fluttuazioni annuali nella presenza di specie e turnover nelle prime fasi della ricolonizzazione, variazioni nella biomassa fungina e cambiamenti dell’attività enzimatica nel substrato (es. Jochimsen 2001; Baldrian et al. 2008). In tali casi l’andamento della successione viene mascherato (Novak & Prach 2003) e le dinamiche vegetazionali possono presentare direzioni talvolta imprevedibili (Frouz et al. 2008).



Fig. C4 Fase fluttuante (ATE o29). Foto: F. Gilardelli

## 4 Linee pratiche del recupero tecnico delle cave del Botticino

La programmazione temporale del recupero naturalistico, che sia a cadenza continua, periodica o unica, è una fase molto delicata: ogni intervento dovrebbe essere svolto nel periodo più idoneo a seconda delle lavorazioni previste (Tabella 8).

	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	
<b>AREA PER L'ESTRAZIONE</b>																									
Rimozione vegetazione	■	■																							
Rimozione suolo	■	■	■																						
Scavo giacimento	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Risistemazione versanti																									
Riporto substrato																									
Preparazione substrato																									
Impianto vegetazione																									
<b>AREA DI STOCCAGGIO</b>																									
Preparazione del sito	■	■	■																						
Accumulo suolo	■	■	■																						
Accumulo scarti da estrazione	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pacciamatura cumuli	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gestione cumuli	■	■	■																						

Tabella 8 Programmazione temporale indicativa degli interventi di recupero

Considerata la notevole eterogeneità ambientale, sia all'interno delle singole cave, sia tra cave diverse, le linee operative che si forniscono di seguito dovrebbero essere adattate alle condizioni ambientali delle singole cave da recuperare.

### 4.1 Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti (a cura di S. Savoldi)

Le modalità di intervento relative alla modellazione geomorfologica delle cave di monte, come quelle oggetto del presente studio, sono di fatto codificate nella normativa tecnica dei settori pietre ornamentali e calcari contenuta nel Piano Cave della Provincia di Brescia riguardanti i settori merceologici «argilla, pietre ornamentali e calcari» nella sua versione di variazione e rettifica di cui alla Delibera del Consiglio Regionale della Lombardia del 19 marzo 2008 n. VIII/582. Tali modalità prevedono sostanzialmente una coltivazione con profili finali di abbandono a gradoni con valori di alzata, pedata e inclinazione massima dell'alzata comunque da definire in funzione della stabilità locale e generale ed in funzione del progetto di recupero ambientale in congruenza con la destinazione finale, con un fattore di sicurezza risultante dall'analisi di stabilità non inferiore a 1,3. In particolare, per le pietre da taglio che sono il prodotto principale del bacino

estrattivo del Botticino, si prevede una coltivazione preferibilmente dall'alto verso il basso, realizzando gradoni discendenti raggiungibili con apposite strade o rampe percorribili con mezzi cingolati o gommati.

Nel caso in cui le giaciture di strato siano a franapoggio con inclinazione maggiore di 35° le scarpate dei gradoni possono coincidere con le superfici di strato. In questo settore di estrazione si prevede che la scelta di gradoni con altezze superiori a 15 m siano corredate da uno studio di dettaglio sullo stato di fessurazione della roccia. Se la giacitura degli strati o delle superfici di discontinuità si presenta a franapoggio con inclinazione inferiore a 35°, circa, ma con presenza di giunti e interstrati argillosi, l'inclinazione delle scarpate non deve superare quella degli strati o delle superfici di discontinuità. Il rapporto minimo da considerare tra alzate e pedata in relazione al profilo finale di abbandono è di 2 su 5.

Detto tutto ciò è da sottolineare quanto indicato nella stessa normativa tecnica laddove si afferma:

*“La rimodellazione dei versanti deve tendere a morfologie congruenti con le destinazioni d'uso previste e dall'ambiente circostante”. Aggiungendo poi: “In particolare deve essere privilegiata la ricostruzione della morfologia dei luoghi adottando configurazioni che si armonizzino il più possibile con l'esistente, evitando forme eccessivamente regolari e geometrizzanti, prevedendo anzi l'introduzione di accidenti morfologici tali da ricavare una sensazione di naturalità”.*

### **Scelte alternative, nel bacino estrattivo del Botticino**

Nello studio di impatto ambientale (SIA) condotto per tutto il bacino del distretto marmifero del Botticino nel 2011 (Savoldi et al. 2011), si è cercato di individuare scenari alternativi per la modellazione finale geomorfologica ed il recupero. Si sono prospettate indicazioni alternative dettate quasi esclusivamente dalla particolarità delle superfici finali delle lavorazioni specifiche condotte per l'estrazione del lapideo ornamentale (in particolare a Botticino) che, trasposte in termini pratici, possono indurre ad una soluzione di recupero sin d'ora mai valutata in precedenza: la sola azione naturale dei fattori climatici. Si è prospettata la possibilità di ricorrere a delle non tecniche specifiche per il recupero degli scenari visivi della cave della pietra ornamentale bresciana e ciò non tanto per evitare dispendiosi interventi di mitigazione percettiva o di recupero boschivo a tutti i costi, ma per evitare pratiche di mascheramento improvvisate, spesso accompagnate da rinaturazione con specie estranee all'ambiente naturale preesistente. Esistono le condizioni affinché in alcune zone si possa realmente immaginare il recupero del contesto minerario sfruttando la natura stessa del materiale presente: il calcare nella sua evoluzione di mutazione nel tempo operata dagli agenti atmosferici. La presenza poi di accidenti morfologici o diaclasi della roccia, la presenza di cavità naturali quali, doline, anfratti, inghiottitoi e falesie, può ricondurre la visione del territorio già oggetto di escavazione quasi all'idea di un insieme di “sculture a cielo aperto” inserite in un ambiente roccioso naturale.

## 4.2 Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato

Il substrato da utilizzare per la ricostruzione pedologica deve essere di provenienza certa, privo di sostanze patogene e fitotossiche, e preferibilmente già pedogenizzato e prelevato in loco (Baldiraghi et al. 2009). La profondità minima del substrato, come previsto dal Piano Cave Provinciale, è di 50 cm su piattaforme e accumuli e 30 cm sulle rupi artificiali in cui è prevista la piantagione di alberi. Se possibile, sarebbe auspicabile aumentare tale spessore che è sufficiente per la vegetazione erbacea, ma non per quella arboreo/arbustiva, il cui apparato radicale va oltre 1 m di profondità.

Il substrato dovrebbe essere caratterizzato dal punto di vista chimico-fisico e biologico secondo i metodi ed i parametri normalizzati di analisi del suolo, a cui si rimanda (vedi DM 13.09.1999; DM 25.03.2002).

### 4.2.1 Materiale pedogenizzato

La fonte più idonea di materiale pedogenizzato è il suolo che viene rimosso durante la preparazione del sito a seguito dell'apertura di nuove cave o dell'ampliamento di cave già esistenti in ambienti (semi)naturali. Gli strati superficiali del suolo, noti come "cappellaccio" e ricchi di semi, pedoflora, funghi e pedofauna (es. artropodi, anellidi) sono particolarmente idonei per riavviare la colonizzazione delle cave dismesse. In assenza di tale materiale, è possibile utilizzare anche materiale prelevato da aree forestate o naturali prossime alla cava e con caratteristiche stazionali simili (Muzzi & Rossi 2003).

L'uso di materiale di altro tipo (es. strati superficiali di suoli agrari, depositi originati da scavi e movimentazioni, depositi di materiali di natura minerale) deve essere accuratamente valutato in quanto le caratteristiche chimico-fisiche di quest'ultimi potrebbero discostarsi molto da quelle del suolo originariamente presente nella cava. Ciò potrebbe provocare una distorsione della successione vegetazionale, favorendo lo sviluppo di specie e comunità vegetali diverse da quelle che si svilupperebbero spontaneamente e che potrebbero addirittura competere con la flora locale (es. Balasteros et al. 2012).

### Asportazione e conservazione del suolo

Al fine di consentire un reimpiego nel recupero naturalistico del suolo rimosso in fase di preparazione del sito, sarebbe necessario, ancora prima della sua asportazione:

- effettuare un'analisi pedologica, individuando la profondità, lo spessore e le proprietà chimico-fisiche e biologiche degli orizzonti da asportare;
- individuare e preparare un'area idonea all'accumulo del materiale, che dovrebbe essere fresca e riparata (es. da vento, escursioni termiche), non interessata dalla presenza del reticolo idrografico superficiale e sotterraneo, nonché da movimenti franosi, fenomeni erosivi e presenza di possibili inquinanti (es. gasolio, oli minerali).

I tempi, i mezzi e le modalità d'asportazione del suolo dovrebbero essere tali da conservare le proprietà chimico-fisiche originarie del materiale e soprattutto degli strati superficiali più fertili (topsoil). Pertanto:

- il topsoil (orizzonti superficiali, es. 0-20 cm) dovrebbe essere rimosso tramite metodi non distruttivi (es. escavatori leggeri, carico immediato del materiale);
- il subsoil e gli strati alterati profondi (orizzonti sottostanti, es. 20-100 cm) possono essere rimossi tramite tecniche sempre più invasive con l'aumento della profondità;
- si dovrebbe evitare il rimescolamento degli orizzonti ed in particolare di quelli superficiali più fertili;
- tutte le operazioni dovrebbero essere svolte in condizioni climatiche che consentano di minimizzare le possibili alterazioni del materiale, evitando giornate particolarmente umide o aride.

Una volta asportati, i diversi orizzonti dovrebbero essere accumulati nelle aree selezionate in modo differenziato, limitando il calpestio delle macchine operatrici. In particolare, i cumuli di topsoil non dovrebbero essere troppo elevati, per evitare un'eccessiva compattazione dovuta al peso del materiale stesso che ne aumenterebbe la densità e quindi il rischio di asfissia (Tabella 9). Qui, sarebbero inoltre necessarie delle lavorazioni per controllare i fenomeni erosivi (es. semina di copertura), mantenere idonee umidità (es. irrigazioni, pacciamatura) ed aerazione (es. lavorazioni meccaniche), arricchire il substrato di azoto (es. semina di *Fabaceae*) ed evitare l'eccessivo sviluppo di specie vegetali prima della loro disseminazione (es. sfalcio periodico).

Strato	Spessore del cumulo	Lavorazione necessaria
Topsoil	1 m	Semina di copertura, irrigazioni, pacciamatura, lavorazioni meccaniche, semina di <i>Fabaceae</i> , sfalcio periodico
Subsoil	1-2 m	Semina di copertura, lavorazioni meccaniche, sfalcio periodico
Strati alterati profondi	>1-2 m	-

**Tabella 9** Modalità di conservazione del materiale pedogenizzato

Il materiale accumulato non dovrebbe mai essere movimentato per evitare possibili alterazioni, se non per essere impiegato nella fase di recupero, che dovrebbe avvenire nel più breve tempo possibile (meglio se entro un anno dall'asporto).

### Reimpiego del materiale pedogenizzato nel recupero della cava

La ricostruzione pedologica durante il recupero, da attuare in modo continuo e definitivo, dovrebbe riprodurre la corretta sequenza degli strati prima dell'asportazione del suolo. Se ciò non fosse possibile, è comunque indispensabile creare una sequenza di strati:

- priva di fattori limitanti, in modo da accelerare la pedogenesi e lo sviluppo vegetale;
- evitando la compattazione degli strati, tramite spianamenti, livellamenti ed il passaggio ripetuto di mezzi pesanti;

- con variabilità locale, modificando lo spessore dei diversi strati;
- favorendo la compenetrazione tra gli strati (almeno quelli superficiali) tramite ripper e scarificatori, anche al fine di evitare fenomeni di scivolamento.

Una volta ricomposta la stratificazione pedologica, la microtopografia superficiale dovrebbe risultare eterogenea, in modo da garantire le migliori condizioni possibili per la movimentazione di acqua, nutrienti e semi su piccola scala e per il controllo degli eccessi di calore (Carrick & Krüger 2007).

#### 4.2.2 Materiale non pedogenizzato

Nei casi in cui non sia disponibile del materiale pedogenizzato, può essere utilizzato per il recupero il suolo rimosso durante la preparazione del sito per l'estrazione, mescolato ai materiali di scarto prodotti durante l'attività estrattiva. Ovviamente, l'uso di tale materiale non consente la ricostruzione del profilo pedologico. Inoltre, considerate le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche in genere scadenti, sono richiesti interventi agronomici per contrastare i principali fattori limitanti e riavviare la rivegetazione, l'attività biologica e la pedogenesi (es. Leavitt et al. 2000).

#### Lavorazioni meccaniche

Il metodo di lavorazione più economico per migliorare le caratteristiche fisiche del substrato consiste nella scomposizione del materiale originale, degli aggregati e delle zolle. Tra le tecniche più utilizzate vi sono l'aratura (per i primi 50-60 cm), la rippatura e l'erpatura e la raccolta o disgregazione di massi e pietre. L'entità e la profondità delle lavorazioni, meccaniche e manuali, dovrebbe essere selezionata in base alle ca-

**Fig. 26** Lavorazione del substrato ed asportazione dei massi con dimensioni superiori a circa 50 cm tramite macchine operatrici leggere e a mano (ATE o13).  
Foto: F. Gilardelli



ratteristiche locali (es. Ortiz et al. 2012). Per mantenere una buona pietrosità in grado di contrastare un eccessivo riscaldamento e l'azione battente della pioggia, è spesso consigliabile rimuovere i soli massi di dimensioni maggiori (Fig. 26), che potrebbero poi essere riutilizzati nelle successive fasi del recupero (es. pacciamatura inorganica intorno agli individui arboreo-arbustivi piantati).

Come nel caso in cui sia utilizzato del materiale pedogenizzato, la microtopografia superficiale dovrebbe risultare eterogenea alla fine della lavorazione, anche in assenza di pacciamatura.

### Ammendanti

Tenuto conto che le fonti di sostanza organica sono molteplici e che spesso presentano una funzione fertilizzante oltre che ammendante (Tabella 10), i migliori effetti positivi sono ottenibili tramite l'uso di sottoprodotti zootecnici, agricoli o forestali, o scarti organici trattati, quali (Muzzi & Rossi 2003):

- letame maturo: la qualità e le caratteristiche variano a seconda del tipo di animali, della lettiera e della durata del periodo di conservazione. Il letame maturo agisce da colloide organico, aumenta la reattività del substrato, apporta grosse quantità di microrganismi e sostanze minerali con effetti che dipendono dalla natura del substrato, dalla profondità dell'interramento e dall'epoca di distribuzione. Dose di applicazione: fino a 100 t/ha;
- pollina: poiché l'elevato tenore di azoto ureico e ammoniacale favorisce una rapida mineralizzazione della sostanza organica e la formazione di un humus labile, la pollina deve essere sparsa poco prima della semina ed integrato con altri materiali a mineralizzazione più lenta. Dose di applicazione: fino a 1-2 t/ha in sostanza secca.

Origine ammendante	Ammendante	S.S.	S.O.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C/N <sup>(2)</sup>
Sottoprodotti zootecnici	Letame bovino	20-40	18-37	0,3-0,6	0,1-0,4	0,4-1	25-30
	Letame equino	25-40	23-37	0,4-0,7	0,5-0,8	0,5-0,8	20-25
	Letame ovino	30-40	28-38	0,5-0,7	0,5-1,5	0,5-1,5	20
	Pollina fresca	15-65	12-50	0,5-2,7	0,3-3,5	0,2-0,4	10-18
	Pollina essiccata	85-90	70-75	4,6	1,5	2,6	15,5
Sottoprodotti agricolo-forestali	Paglia di frumento	80-88	75-83	0,3-2	0,2-0,3	0,5-1,1	100
	Fieno di medica	85	77	2,5	0,5	2,1	25
	Stocchi di mais	82-83	76	0,8	0,08	1,9	50
	Sfalcio di prato stabile	16-20	4-11	0,8	0,1	0,3	12-15
	Segatura	40-65		0,1-0,5	0,03-0,07	0,2-0,7	200-500
	Scorza d'albero			0,6	0,06	0,22	100-1200
Scarti organici trattati	Compost da materiale vegetale	variabile	20-40	2-4	variabile	variabile	20-55

**Tabella 10** Composizione chimica dei sottoprodotti zootecnici, agricoli, forestali e derivanti dagli scarti organici utilizzabili come ammendanti per il recupero naturalistico delle cave. Legenda: S.S.: sostanza secca; S.O.: sostanza organica, N: azoto, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: anidride fosforica, K<sub>2</sub>O: anidride potassica, C: carbonio (da: Muzzi & Rossi 2003). Il letame fornisce in media micronutrienti (Mn, Cu, Zn, B, Mo)

2. Il rapporto C/N indica la velocità di ossidazione dell'ammendante: prodotti con C/N basso tendono ad ossidarsi più facilmente e rapidamente

- paglia, legno cippato, scorza d'albero ed erba sfalciata (Fig. 27). L'uso di tali prodotti è solitamente complementare a quello del letame, essendo efficaci soprattutto nel lungo periodo a causa dei lunghi tempi di alterazione della sostanza organica e del miglioramento dell'aerazione del substrato;
- frazione organica stabilizzata (FOS) isolata da compost e ammendanti derivanti da rifiuti solidi urbani dopo le fasi di selezione e vagliatura (da miscelare con materiale inerte o terreno). La composizione del materiale è molto variabile a seconda, per esempio, della stagione e dell'area di provenienza.

**Fig. 27** Sfalcio d'erba  
di un prato stabile.  
Foto: F. Gilardelli



In genere, si sconsiglia l'uso di altri ammendanti, quali (es. Fierro et al. 2000; Holliman et al. 2005):

- liquame: è facilmente dilavabile, e, soprattutto nelle aree carsiche come nel bacino del Botticino, il suo uso potrebbe incrementare il rischio di contaminazione della falda acquifera;
- fanghi di depurazione con un grande contenuto di lignina e argilla (es. caolinite): potrebbero avere un tasso di decomposizione estremamente lento, non essendo soggetti a degradazione microbica;
- gel di poliacrilammide: oltre ad avere una limitata efficacia nella ritenzione idrica (specialmente nei climi più caldi), potrebbero rilasciare frammenti di acrilammide in seguito a processi fisico-chimici come l'esposizione ai raggi UV ed a cicli di congelamento e scongelamento;
- pratica del sovescio (impianto di colture erbacee per incrementare la quantità di fosforo e sostanza organica): usata anche come fertilizzante, potrebbe modificare l'andamento delle successioni vegetazionali se non debitamente controllata.

Dopo l'ammendamento, che deve essere eseguito prima dell'impianto della vegetazione, sono generalmente richieste lavorazioni meccaniche (su 20-50 cm) per favorire l'interramento della sostanza organica in modo da mantenere condizioni di aerobiosi ed evitare fenomeni di volatilizzazione dell'azoto.

## Fertilizzanti

Come già accennato, l'uso di ammendanti organici, oltre a migliorare le proprietà fisiche del substrato, sono una fonte diretta di nutrienti per le piante. È quindi importante utilizzare contemporaneamente prodotti con diverso rapporto C/N in modo da prolungare la disponibilità di azoto nel tempo. Nei casi in cui l'ammendamento non sia sufficiente, si può ricorrere all'uso di concimi organici e minerali da distribuire in modo differenziato durante l'arco dell'anno, a seconda delle esigenze della vegetazione, in modo da promuoverne un uso completo, limitarne il dilavamento ed il conseguente impatto sull'ecosistema e sulla falda acquifera (Muzzi & Rossi 2003). Così come gli ammendanti, anche i fertilizzanti dovrebbero essere interrati durante la preparazione del substrato o l'impianto della vegetazione.

### *Concimi di origine organica*

I concimi azotati o azoto-fosforici di origine organica sono costituiti da sottoprodotti di origine animale o vegetale opportunamente trattati, con un buon contenuto di sostanza organica ed un tenore di azoto del 5-15% in forme variamente degradabili (Tabella 11).

	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
<b>Materiali a pronta mineralizzazione</b>			
Farina di sangue	9-12	0,5-1,5	0,6-0,8
Guano	3-16	3-20	1-4
Borlande essiccate	3-6		6-8
Farina di pesce	5-12	3-7	
<b>Materiali a mineralizzazione intermedia</b>			
Cuoio torrefatto	5-10		
Farina di carne	4-14	0,2-8,5	
Panelli	3-9		
<b>Materiali a mineralizzazione lenta</b>			
Farina di ossa	2-5	18-22	
Cuoiattole	8	1	
Cascami di lana	8-15	0,1	0,2
<b>Materiali a mineralizzazione lentissima</b>			
Pennone	10-14		
Cornunghia	9-15	2-5	

**Tabella 11** *Concimi azotati e azoto-fosforici di origine naturale (da: Muzzi & Rossi 2003)*

### Concimi di origine minerale

Nonostante sia sempre preferibile l'uso di concimi organici, i concimi minerali, disponibili sul mercato soprattutto come prodotti di sintesi, potrebbero rivelarsi utili ai fini del recupero. Considerata la natura calcarea della Corna nel bacino del Botticino ed il pH generalmente elevato dei suoli soprastanti, si riportano di seguito solo degli esempi di alcuni concimi minerali azotati con effetto acido o neutro sul pH (Tabella 12).

	<b>N (%)</b>	<b>Momento d'impiego</b>	<b>Note</b>
Nitrato ammonico	20-37	In copertura	Tempo di rilascio intermedio
Solfato ammonico	20-21	In presemina, in semina	Tempo di rilascio ad effetto ritardato; S=24%; Mn, Cu, B
Urea	46	In presemina, in copertura	Tempo di rilascio ad effetto ritardato (anche 1-2 anni)
IBDU	28-30	In semina, in presemina	Tempo di rilascio a lenta cessione
Fosfato biammonico	18	In presemina, in semina	

**Tabella 12** Concimi azotati di origine minerale con un effetto acido sul pH

I concimi di origine minerale fosfatici e potassici (Tabella 13) derivano da rocce fosfatiche variamente trattate o da sottoprodotti di alcune lavorazioni industriali (es. scorie di altoforno, ossa). Necessitano di un continuo controllo del pH e possono essere distribuite in presemina con dosi di 100-200 Kg/ha di  $P_2O_5$  grazie alla limitata mobilità del fosforo (Muzzi & Rossi 2003).

	<b><math>P_2O_5</math> (%)</b>	<b>Note</b>
Perfosfato semplice	18-21	Concime ad azione pronta; Ca=18-21%, S= 12%; Mn, Cu, Zn, B, Mo
Perfosfato triplo	44-48	Concime ad azione pronta; Ca=12-14%
Fosfato precipitato bicalcico diidrato	38-40	Concime ad azione graduale

**Tabella 13** Concimi fosfatici di origine minerale, tutti con effetto neutro sul pH

L'integrazione del potassio tramite fertilizzanti di origine minerale è necessaria solo su substrati sciolti, carenti in sostanza organica e colloidali (Tabella 14). Gli apporti non dovrebbero superare 100 K/ha di  $K_2O$ , anche se somministrazioni abbondanti non creano in genere grossi problemi a causa della notevole richiesta da parte delle piante.

	<b><math>K_2O</math> (%)</b>	<b>Note</b>
Solfato di potassio	50-53	S=18%; Mn, Cu, Zn, B
Cloruro di potassio	60-62	Mn, Cu, Zn, B, Mo
Sale potassico grezzo	10	MgO=5%
Solfato di potassio e magnesio	22	S=22%, MgO=8%

**Tabella 14** Concimi potassici di origine minerale, con effetto neutro sul pH

Nella scelta dei concimi di sintesi da utilizzare è opportuno considerare la compatibilità reciproca, in modo da evitare interazioni con immobilizzi e/o volatilizzazione dei nutrienti.

### **Correzione del pH**

Nel bacino estrattivo del Botticino il pH elevato del substrato è legato alla natura della roccia madre. Considerata quindi l'entità del fenomeno, è molto probabile che interventi correttivi del pH non diano i risultati sperati. Pertanto, gli accorgimenti per contrastare l'eccessiva alcalinità potrebbero essere limitati all'uso di concimi con effetto neutro o acido sul pH.

### **Interventi per favorire l'attività biologica**

L'attività biologica nel substrato può essere favorita indirettamente tramite l'incremento della disponibilità di sostanza organica ed il mantenimento di condizioni ecologiche adeguate alle esigenze dei microrganismi (es. idonee aerazione, umidità, reazione della soluzione circolante, indisponibilità di metalli pesanti).

Possibili interventi diretti per innescare rapidamente l'attività microbiologica ed accelerare lo sviluppo della vegetazione sono (Muzzi & Rossi 2003):

- inoculazione: aggiunta di colture microbiologiche specifiche al seme o al substrato. È tipicamente usata per le *Fabaceae* per stimolare la presenza di *Rhizobium*, simbionte radicale azoto-fissatore;
- incorporazione nella lavorazione superficiale del substrato dei primi orizzonti (massimo 15 cm) di un suolo naturale evoluto (almeno 5 cm; contenente microrganismi quali batteri e funghi) nelle medesime condizioni stagionali della cava;
- trapianto delle piante con relativo pane di terra, per favorire una prima colonizzazione delle popolazioni microbiche.

### **4.2.3 Regimazione idraulica (a cura di S. Savoldi)**

Per quanto riguarda la regimazione delle acque meteoriche va fatta una distinzione preliminare che prevede una serie di interventi per ciascuno dei corsi d'acqua a regime superficiale che interessano il bacino in esame e per i quali sono stati sviluppati studi idraulici specifici ed una serie di interventi che vengono realizzati in ciascuna cava per la gestione delle acque meteoriche nella zona limitata riguardante ogni singola attività estrattiva.

Per i corsi d'acqua principali che corrispondono agli impluvi naturali per la Valle del Rio Rino a Botticino e la Valle del Rio Cantir a Nuvolera, sono stati sviluppati studi idrologici e idraulici che prevedono una serie di interventi sulle aste sia in fase transitoria (cioè nel periodo di coltivazione delle cave adiacenti) sia in fase finale. È da sottolineare che tali impluvi naturali sono le zone in cui l'infiltrazione efficace delle acque superficiali verso l'acquifero carsico profondo ha maggior rilevanza anche perché i solchi vallivi sono impostati in importanti lineamenti tettonici (faglie e fratture).

Per quanto riguarda la regimazione delle acque per le singole zone di cava valgono alcune considerazioni preliminari. Nella maggior parte dei casi le cave di sviluppano in corrispondenza di:

- zone culminanti ove il giacimento affiorante, la giacitura delle bancate ed il sistema di fratturazione permettono lo spostamento del giacimento con trasporto verso valle;

- zone a mezza costa ove ancora la componente gravitativa dei blocchi facilita di distacco dal monte;
- zone pianeggianti destinate a piazzali o ad aree urbanizzate con impianti e capannoni.

Diversa per le tipologie suddette è la natura della regimazione idraulica delle cave. Per le zone cacuminali e le zone a mezza costa considerando i profili di abbandono a gradoni, innanzitutto si può dire che prima della stesura del terreno vegetale sui gradoni per poi procedere alla rivegetazione, lo smaltimento delle acque meteoriche avviene in maggior parte attraverso le fessurazioni dei fronti e delle pedate con infiltrazione verso gli strati più profondi.

Dopo la stesura del terreno da coltivo, che nella zona come visto è di matrice prevalentemente argillosa, si prevedono sulle pedate in contropendenza verso monte, canalette che recapitano con pendenze opportune verso colatoi sub verticali per la discesa da gradone a gradone, poi verso canalette al piede della zona gradonata al limite dei piazzali, per poi recapitare o negli impluvi naturali regimati di cui si è fatto cenno, o in zone depresse di espansione e accumulo sui piazzali.

Per le zone pianeggianti o urbanizzate, ove possibile, si realizzano reti di raccolta dimensionate con tempi di ritorno almeno decennali degli eventi meteorici e recapitate poi nei corsi d'acqua costituenti gli impluvi naturali con sezioni idrauliche dimensionate a loro volta con tempi di ritorno adeguatamente superiori.

### 4.3 Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi

Le specie vegetali e le fitocenosi da usare nel recupero in grado di accelerare le dinamiche naturali di ricolonizzazione dovrebbero essere selezionate sulla base di uno studio floristico e vegetazionale della cava e del suo contesto, nonché delle caratteristiche abiotiche ivi presenti (es. proprietà chimico-fisiche del substrato).

#### 4.3.1 Specie vegetali

##### **Selezione delle specie arboree ed arbustive**

Coerentemente con le disposizioni previste nel Piano Cave Provinciale, le specie con le maggiori probabilità di sopravvivenza nelle cave da recuperare del bacino estrattivo del Botticino sono quelle adattate a terreni calcarei ed alcalini, poveri in nutrienti, con humus poco sviluppato ed una scarsa disponibilità idrica (Tabella 16). Tra queste dovrebbero essere preferite le specie dominanti, minoritarie ed occasionali del querceto di roverella, che rappresenta la vegetazione reale e potenziale caratteristica della zona e quelle adatte a fornire nutrimento alla fauna selvatica. Le specie dovranno essere selezionate nel rispetto delle normative fitosanitarie vigenti.

### **Reperimento del materiale**

In Lombardia, la raccolta, la conservazione, la coltivazione e la distribuzione in tutto il territorio regionale del materiale forestale di moltiplicazione è attualmente affidato al Centro Vivaistico Forestale Regionale di Curno (BG) – E.R.S.A.F. Il vivaio fornisce materiale di propagazione autoctono per fini forestali, secondo le vigenti disposizioni normative (direttiva 1999/105/CE, recepita in Italia con D.lgs. 386 del 10.11.2003).

Per il recupero naturalistico delle cave di calcare del Botticino è opportuno utilizzare piante giovani di 1-3 anni (ed eventualmente talee), che hanno in genere una maggiore probabilità di sopravvivenza rispetto agli individui più vecchi grazie all'elevata reattività post-trapianto. Inoltre, l'uso di individui di qualche anno consente di ovviare ad eventuali problemi legati alla germinazione dei semi ed alla selezione iniziale delle plantule appena germinate. L'altezza minima degli individui varia in funzione della specie e della velocità di accrescimento: è comunque consigliabile usare arbusti di 20-30 cm ed alberi di 30-40 cm per garantire la funzionalità e la visibilità dell'impianto. Fatto salvo che il materiale dovrebbe provenire dalla stessa regione forestale della cava da recuperare<sup>3</sup>, le specie arboree ed arbustive possono essere reperite come (Tabella 15):

- **piante a radice nuda** (solo per individui di limitate dimensioni di specie decidue): il trapianto deve essere eseguito in tempi stretti (durante il riposo vegetativo) e sono da preferire su substrati non troppo limitanti;
- **piante in contenitore** (per specie con radici fittonanti): la messa a dimora è eseguibile in tempi non molto stretti, la competizione con le specie erbacee varia in funzione dell'altezza e sono utilizzabili anche in condizioni edafiche difficili;

<b>Tipo di materiale</b>	<b>a radice nuda</b>	<b>in contenitore</b>	<b>in zolla</b>	<b>in talea</b>
Costo	++	+	-	+
Facilità di trasporto	++	+	-	+
Conservazione in situ per lunghi periodi	+	+	-	+
Impianto	+	+	-	+
Crisi di trapianto	-	+	+	-
Competizione con le erbacee	-	+	+	-
Cure (es. pacciamatura, sfalci, irrigazione)	-	-	-	+
Tempi di impianto	-	+	++	-

**Tabella 15** Materiale arboreo-arbustivo utilizzabile ai fini del recupero naturalistico.

#### **Legenda**

- ++: caratteristica molto positiva,
- +: caratteristica abbastanza positiva,
- : caratteristica negativa

3. L'uso di genotipi non locali può essere giustificato solo nei casi in cui è necessario incrementare la variabilità genetica o conservare popolazioni geograficamente isolate che sarebbero altrimenti soggette ad inbreeding

Specie	Altitudine (m s.l.m.)	U	N	H	G	Specie tipica dei querceti di roverella	specie adatte a fornire nutrimento agli animali
<b>Specie dei suoli ricchi di basi</b>							
<i>Acer campestre</i>	400-1000					X	IE
<i>Acer monspessulanum</i>	400-1000						IE
<i>Acer platanoides</i>	400-1000						IE
<i>Alnus incana</i>	400-1000	w					E
<i>Amelanchier ovalis</i>	400-1000						UI
<i>Berberis vulgaris</i>	0-1000						UIRN
<i>Buxus sempervirens</i>	400-1000					X	
<i>Cercis siliquastrum</i>	400-1000						
<i>Chamaecytisus hirsutus</i>	0-1000						
<i>Colutea arborescens</i>	400-1000						IE
<i>Cornus mas</i>	400-1000						URIN
<i>Cornus sanguinea</i>	400-1000						UI
<i>Coronilla emerus</i>	0-1000						
<i>Cotinus coggygria</i>	400-1000					X	I
<i>Cotoneaster integerrimus</i>	400-1000						UI
<i>Cotoneaster nebrodensis</i>	400-1000						UI
<i>Crataegus monogyna</i>	400-1000	w					UIERN
<i>Cytisus sessilifolius</i>	400-1000						
<i>Euonymus europaeus</i>	400-1000	w					UI
<i>Euonymus latifolius</i>	400-1000						UI
<i>Fagus sylvatica*</i>	400-1000					X	RE
<i>Fraxinus excelsior</i>	400-1000	w				X	E
<i>Fraxinus ornus</i>	400-1000					X	E
<i>Hippophae rhamnoides</i>	400-1000	w					U
<i>Ligustrum vulgare</i>	400-1000	w					UIEN
<i>Lonicera caprifolium</i>	400-1000						UIE
<i>Ostrya carpinifolia</i>	400-1000					X	
<i>Paliurus spina-christi</i>	400-1000						
<i>Phyllirea latifolia*</i>	400-1000						UI
<i>Pinus sylvestris*</i>	400-1000					X	RE
<i>Pistacia terebinthus</i>	400-1000						UI
<i>Populus alba</i>	0-400	w					EI
<i>Populus canescens</i>	0-400	w					EI
<i>Populus nigra</i>	0-400	w					EI
<i>Prunus mahaleb</i>	400-1000						UI
<i>Prunus padus</i>	400-1000	w					UI
<i>Prunus spinosa</i>	400-1000						UIERN
<i>Pyrus pyraeaster</i>	400-1000						IRE
<i>Quercus petraea*</i>	400-1000					X	EIR
<i>Quercus pubescens</i>	400-1000					X	EIR
<i>Quercus robur*</i>	0-400	w					EIR
<i>Rhamnus catharticus</i>	400-1000	w					UEI
<i>Rosa agrestis</i>	400-1000						UIRE
<i>Rosa arvensis</i>	400-1000						UIRE
<i>Rosa micrantha</i>	400-1000						UIRE
<i>Rosmarinus officinalis</i>	400-1000						
<i>Salix alba</i>	400-1000	w					EI
<i>Salix myrsinifolia</i>	400-1000	w					EI
<i>Salix triandra</i>	400-1000	^w					EI
<i>Sorbus domestica</i>	400-1000						UI
<i>Sorbus torminalis</i>	400-1000					X	UI
<i>Staphylea pinnata</i>	400-1000						
<i>Tilia platyphyllos</i>	400-1000						IE
<i>Ulmus minor</i>	400-1000	w				X	EI
<i>Viburnum lantana</i>	400-1000						UIR

Specie	Altitudine (m s.l.m.)	U	N	H	G	Specie tipica dei querceti di roverella	specie adatte a fornire nutrimento agli animali
<b>Specie dei suoli da poco acidi a lievemente alcalini</b>							
<i>Acer pseudoplatanus</i>	400-1000	W				X	IE
<i>Alnus glutinosa</i>	0-1000	W					E
<i>Celtis australis</i>	0-1000					X	
<i>Chamaecytisus purpureus</i>	400-1000						
<i>Corylus avellana</i>	0-1000					X	URE
<i>Crataegus oxyacantha</i>	400-1000						UIERN
<i>Ficus carica</i>	0-1000						URE
<i>Frangula alnus</i>	0-1000	W					
<i>Fraxinus oxycarpa</i>	0-1000	W					E
<i>Hedera helix</i>	0-1000						
<i>Juniperus communis</i>	0-1000	W					
<i>Laburnum anagyroides</i>	400-1000					X	
<i>Lonicera xylosteum</i>	400-1000						UIE
<i>Quercus cerris</i>	0-1000					X	EIR
<i>Rhamnus saxatilis</i>	0-1000						UEI
<i>Rosa canina</i>	0-1000						UIRE
<i>Rosa gallica</i>	0-1000	W					UIRE
<i>Rosa tomentosa</i>	400-1000						UIRE
<i>Rubus caesius</i>	0-1000	W					
<i>Rubus canescens</i>	0-1000						
<i>Rubus hirtus</i>	0-1000						
<i>Rubus ulmifolius</i>	0-1000						
<i>Salix appendiculata</i>	400-1000	W					EI
<i>Salix caprea</i>	0-1000	W					EI
<i>Salix cinerea</i>	0-1000						EI
<i>Salix eleagnos</i>	0-1000	W					EI
<i>Salix fragilis</i>	0-1000	W					EI
<i>Salix pentrandra</i>	400-1000	W					EI
<i>Salix purpurea</i>	0-1000	W					EI
<i>Sambucus nigra</i>	0-1000						
<i>Sorbus aria</i>	400-1000					X	UI
<i>Spartium junceum</i>	400-1000						UI
<i>Tilia cordata</i>	400-1000						IE
<i>Ulmus glabra</i>	400-1000	W					EI
<i>Viburnum opulus</i>	0-1000	W					UIR

**Tabella 16** Alberi ed arbusti autoctoni diffusi nella Provincia di Brescia ed utili per interventi di rinaturazione, dei suoli ricchi di basi e dei suoli da poco acidi a lievemente alcalini

#### Legenda

\* specie che si mostrano indifferenti alla variabilità della reazione del suolo piante indifferenti alla variabilità del valore (X)

#### U: Umidità del suolo (indicatori di Landolt; 1-5)

-  piante frequenti su suoli molto aridi (1)
-  piante frequenti su suoli con aridità moderata (2)
-  piante dei suoli da moderatamente aridi a umidi, in genere ad ampia valenza ecologica (3)
-  piante su suoli da umidi a molto umidi, occasionalmente su suoli intrisi (4)
-  piante dei suoli intrisi o sommersi (5)
- ^ piante con radici spesso immerse
- W piante di suoli a umidità molto variabile (il suolo può essere molto più umido dopo le precipitazioni o molto più arido durante periodi siccitosi rispetto al valore indicato)

#### G: Granulometria del suolo (indicatori di Landolt; 1-5)

-  piante di ambienti rupestri (1)
-  piante di praterie sassose, pietraie e ghiaioni (diametro della maggior parte delle particelle del suolo > 2 mm) (2)
-  piante su suoli ricchi di scheletro, sabbiosi, permeabili e ben aerati (diametro della maggior parte delle particelle del suolo di 0,05-2 mm) (3)
-  piante su suoli poveri di scheletro, a sabbia fine o finissima, ± aerati (diametro della maggior parte delle particelle di 0,002-0,05 mm) (4)
-  piante dei suoli a granulosità fine, argillosa o torbosa, spesso impermeabili o asfittici (diametro della maggior parte delle particelle < 0,002 mm) (5)

#### N: Nutrienti del suolo (indicatori di Landolt; 1-5)

-  piante su suoli poveri di nutrienti "magri" (2)
-  piante su suoli moderatamente poveri o ricchi di nutrienti (3)
-  piante su suoli ricchi di nutrienti (4)

#### H: Tipo di humus del suolo (indicatori di Landolt; 1-5)

-  piante su suoli con strato minimo di humus e ricchi di minerali (2)
-  piante su suoli a medio tenore di humus (3)
-  piante su suoli ricchi di humus o su humus primitivo in cui le radici delle piante raggiungono la roccia madre (4)

#### Specie adatte a fornire nutrimento agli animali

- U specie adatte a fornire nutrimento a uccelli frugivori
- R specie adatte a fornire nutrimento a roditori arboreali e/o uccelli
- I specie adatte a fornire nutrimento a insetti impollinatori
- E specie adatte a fornire nutrimento a erbivori e/o fitofagi di importanza naturalistica (in particolare lepidotteri)

- **piante in zolla** (per esemplari standard o di grandi dimensioni, o per impianti sensibili al trapianto): l'impianto è a pronto effetto e sono utilizzabili in siti con substrati non troppo limitanti;
- **piante in talea** (per specie che radicano con grande facilità, quali salici e pioppi): la messa a dimora deve essere eseguita in tempi molto stretti: richiedono poche cure e sono da preferire in stazioni fresche con presenza adeguata e costante di acqua (es. nei pressi di corsi d'acqua e ristagni localizzati), dove possono accelerare lo sviluppo vegetativo.

Prima di procedere con l'impianto sarebbe opportuno esaminare le caratteristiche di fornitura del materiale a disposizione per accertarne la buona qualità. Le piante a radice nuda, in contenitore ed in zolla dovrebbero presentarsi con:

- buono stato fisiologico (assenza di ferite, cicatrici, parti disseccate, deteriorate o putrefatte, attacchi di insetti, malattie crittogamiche, virus, patogeni);
- germoglio terminale in buone condizioni, non disseccato né infestato dai parassiti;
- apparato radicale non deformato e con abbondante capillizio;
- per gli alberi: fusto dritto e non flessuoso con un buon equilibrio tra altezza e diametro (70-80; comunque <100), un buon numero di ramificazioni e buona densità e forma della chioma secondo le caratteristiche della specie e dell'età dell'individuo;
- per gli arbusti: portamento non "filato", ovvero con un minimo di tre ramificazioni alla base e con altezza proporzionata al diametro della chioma;
- per le specie tappezzanti: portamento basso e/o strisciante con ramificazioni uniformi e buona copertura.

In particolare, dovrebbero essere soddisfatti anche i seguenti requisiti:

- **piante a radice nuda:**
  - sistema radicale abbondante ben equilibrato rispetto al fusto e allo spazio, con poche grosse radici e molte radici fini ben distribuite in tutte le dimensioni;
  - fittone sufficientemente lungo (almeno 20 cm), con apparato secondario ben sviluppato (nelle piante dotate di fittone).
- **piante in contenitore:**
  - età e dimensioni idonee alle dimensioni del contenitore (sarebbe necessario verificare l'assenza di tagli nella parte aerea della pianta per evitarne il rigoglio legato ad un'eccessiva permanenza in contenitori piccoli);
  - assenza di radici che fuoriescono dal contenitore (con conseguenti danni e perdite di parti dell'apparato radicale), radici orizzontali, incurvate verso l'alto o a sviluppo circolare;
  - buona penetrazione dell'apparato radicale in tutto il substrato, che dovrebbe essere ben compatto ed aderente alle radici, per evitare condizioni di asfissia ed eventuali rotture del pane di terra durante lo svaso.

**- piante in zolla:**

- pane di terra aderente alle radici e di dimensioni adeguate rispetto a quelle della pianta;
- zolla compatta e consistente, ben protetta da un sacco di juta o da un contenitore per piante più grandi.

La buona qualità delle piante in talea si manifesta tramite:

- buono stato di conservazione (es. assenza di danneggiamenti e talea fresca);
- lunghezza non inferiore a 50 cm e diametro superiore a 2.5 cm;
- presenza di gemme superiori non danneggiate.

**Selezione delle specie erbacee**

Nella maggior parte dei recuperi delle cave di calcare sono utilizzati miscugli di sementi commerciali con certificato di identità ed autenticità E.N.S.E. (Ente Nazionale Sementi Elette). Tali miscugli, oltre ad essere relativamente economici, garantiscono un'elevata produttività iniziale dello strato erbaceo (specie a "pronto effetto"), consentendo di ridurre in breve tempo l'impatto visivo ed i fenomeni erosivi. Tuttavia il loro uso presenta diversi svantaggi, quali (es. Tischew & Kirmer 2007; Prach & Hobbs 2008):

- i miscugli sono generalmente molto semplificati e con bassa diversità floristica, in quanto costituiti da poche specie di *Poaceae*, e secondariamente *Fabaceae*, in proporzioni tali da non rispecchiare la variabilità floristica delle comunità erbacee locali (1 o 2 specie possono diventare dominanti e costituire da sole l'intero strato erbaceo);
- anche se il miscuglio è costituito da specie considerate autoctone, le sementi sono generalmente prodotte all'estero (soprattutto in Paesi nord-europei ed americani), per cui sono potenzialmente causa di inquinamento genetico delle popolazioni locali;
- a seconda della provenienza, le piante potrebbero presentare problemi di adattamento alle condizioni locali nel medio-lungo periodo (es. bassa crescita, malattie ed elevata mortalità) per cui potrebbero necessitare di ulteriori cure supplementari;
- l'elevata produttività iniziale potrebbe compromettere la colonizzazione dell'area da parte di specie autoctone di pregio provenienti dall'ambiente circostante, causando l'arresto o la distorsione della successione vegetazione naturale nel medio e lungo termine.

L'uso di miscugli di sementi commerciali per la creazione dello strato erbaceo dovrebbe quindi essere evitato, mentre dovrebbe essere privilegiato l'uso di materiale autoctono (es. miscugli di sementi autoctone, fiorume).

**Miscugli di sementi autoctone**

In Lombardia, il principale ente in grado di fornire attualmente sementi autoctone certificate è il Centro Flora Autoctona<sup>4</sup> – CFA (Galbiate, LC), che si occupa della raccolta, preparazione, conservazione e moltiplicazione controllata di semi di specie locali, soprattutto erbacee. Da tale centro, o eventualmente tramite la raccolta diretta

4. Il Centro Flora Autoctona della Regione Lombardia è gestito dal Parco Monte Barro; ad esso collaborano le Università dell'Insubria e di Pavia, e la Fondazione Minoprio. La certificazione del CFA è: FLORA AUTOCTONA ©

Specie	Adatta per suoli basici	Adatta per suoli argillosi	Adatta per suoli tendenzialmente aridi
<b>Fabaceae</b>			
<i>Anthyllis vulneraria</i>	X		X
<i>Astragalus monspessulanus</i>	X	X	
<i>Hippocrepis comosa</i>	X		X
<i>Lotus corniculatus</i>	X	X	X
<i>Medicago lupulina</i>	X		X
<i>Medicago sativa**</i>	X		
<i>Melilotus album</i>		X	X
<i>Melilotus officinalis</i>	X	X	X
<i>Onobrychis vicifolia</i>	X		X
<i>Rapistrum rugosum</i>	X	X	
<i>Salvia pratensis</i>	X		
<i>Trifolium hybridum</i>	X	X	
<i>Trifolium repens</i>			X
<i>Vicia sativa</i>	X		
<b>Poaceae</b>			
<i>Agropyron repens*</i>		X	X
<i>Agrostis stolonifera</i>	X	X	
<i>Bromus erectus</i>	X		X
<i>Cynodon dactylon</i>	X	X	X
<i>Dactylis glomerata**</i>		X	
<i>Festuca arundinacea*</i>	X	X	
<i>Festuca gr. ovina</i>			X
<i>Festuca gr. rubra</i>		X	X
<i>Festuca pratensis</i>	X	X	
<i>Lolium perenne</i>		X	

**Tabella 17** Principali specie erbacee utilizzabili per la creazione di miscugli ad hoc per il recupero delle cave del Botticino su substrati basici, argillosi e tendenzialmente aridi.

**Legenda**

\* specie da utilizzare in quantità non elevate, in quanto tendono a diventare invasive e a diminuire la biodiversità;

\*\* specie più esigenti, da impiegare in condizioni stazionali meno limitanti (buona disponibilità di sostanza organica ed acqua)

(che richiederebbe però esperienza e risorse), è possibile reperire i semi delle singole specie ritenute idonee per il recupero delle cave, per la creazione di miscugli ad hoc a seconda delle condizioni abiotiche locali (Tabella 17).

La quantità di semi di ciascuna specie dovrebbe essere selezionata in modo da (Baldiraghi et al. 2009):

- promuovere un buon rapporto tra *Poaceae* e *Fabaceae*, che hanno caratteristiche sinecologiche e autoecologiche complementari, tenendo conto che su terreni poco fertili le prime danno risultati migliori in quanto sono più competitive in fase d'impianto;
- creare un mix equilibrato di specie pioniere e competitive che possano contrastare

fenomeni erosivi e la competizione delle specie alloctone;

- creare un mix plurispecifico in modo da favorire buoni livelli di biodiversità floristica ed ambientale;
- rispecchiare la composizione specifica ed i rapporti quantitativi tra le specie tipiche della vegetazione erbacea di riferimento (es. prati presenti nei pressi dell'area da recuperare).

Attualmente, la disponibilità di sementi autoctone certificate di provenienza locale è molto limitata, sia in Lombardia, sia in Italia, per cui la creazione di miscugli ad hoc per il recupero di vaste aree degradate dall'attività estrattiva, seppur auspicabile, è tuttora di difficile realizzazione.

#### ***Fiorume (a cura di R. Ceriani e A. Ferrario - CFA)***

Il fiorume è uno dei materiali autoctoni più idonei per l'inerbimento di superfici ampie, incluso il ripristino delle cave (si veda anche la "Normativa Tecnica dei Piani Cave Provinciali" Titolo IV – B.U.R.L. n. 52 del 28.12.2011). Storicamente il fiorume consisteva nel materiale di scarto accumulato sul pavimento dei fienili ed era tradizionalmente utilizzato per rinnovare o ricreare piccole porzioni di prato, dato il suo buon contenuto di semi di specie adatte. Oggi, con il termine di fiorume si intende più propriamente il miscuglio di sementi raccolto direttamente e meccanicamente da prati donatori appositamente selezionati (Fig. 28).

Questo materiale può essere utilizzato in interventi di inerbimento realizzati con tecniche di semina a spessore o idrosemina, in analogia e con performances comparabili con i miscugli commerciali. È pur vero che, rispetto alle sementi in purezza prodotte ad hoc, il fiorume si caratterizza in linea teorica per diverse difficoltà di impiego, quali l'impossibilità di assoluta precisione nella caratterizzazione del miscuglio di specie, l'impossibilità di for-



**Fig. 28** *Macchina spazzolatrice per la raccolta del fiorume.*  
Foto: A. Ferrario

mulazione di miscugli differenziati secondo le esigenze di progetto, la minor germinabilità media e la minor purezza. Tuttavia questi svantaggi possono essere in parte risolti applicando specifici metodi di analisi e sono comunque ampiamente compensati da indubbi vantaggi legati all'autoctonia del fiorume e al suo elevato valore naturalistico; tra questi pare opportuno ricordare i seguenti:

- alta capacità di adattamento alle condizioni ecologiche locali (riduzione dell'erosione, minor necessità di cure e interventi con fertilizzanti e pesticidi), incluse una maggiore resistenza alle fluttuazioni meteo-climatiche e una maggior continuità ecologica con le comunità naturalmente presenti nell'area di impiego, e quindi un minor impatto ambientale;
- garanzia di maggior persistenza della vegetazione rispetto a varietà foraggere di pianura o non autoctone;
- maggior valore naturalistico complessivo, ad esempio in termini di elevata biodiversità a tutti i livelli e disponibilità di cibo e riparo per la fauna selvatica;
- capacità di produrre seme o altri tipi di propaguli in condizioni ambientali difficili, con costante rinnovamento del cotico erboso;
- maggior equilibrio tra le specie presenti, ridotta competizione inter-specifica, minor produzione di biomassa, a favore della sopravvivenza di specie legnose che possono, laddove necessario, innescare la normale successione verso fitocenosi climax.

La qualità del fiorume dipende innanzitutto dalla vegetazione di partenza, il cosiddetto prato donatore, che deve essere scelto sulla base delle specie presenti e del tipo di vegetazione che costituiscono. La classificazione della vegetazione può essere effettuata mediante il metodo fitosociologico, grazie al quale è possibile "dare un nome" al prato stesso sulla base del complesso delle piante in esso presenti e della loro frequenza. In questo modo si ottiene un'indicazione delle aree che potranno essere inerbite con il fiorume raccolto, ovvero quelle con condizioni ecologiche più affini a quelle del prato donatore. Inoltre può definire la composizione potenziale del fiorume in termini di specie presenti. La disponibilità di un elenco floristico è inoltre di fondamentale importanza per l'individuazione delle specie guida utili per l'individuazione del momento di raccolta ideale, grazie al monitoraggio del processo di maturazione dei semi. Nei prati polifiti è infatti naturale che le specie non maturino tutte nello stesso momento: va quindi definito il periodo di raccolta privilegiando le specie più adatte all'inerbimento da realizzare. A questo proposito, spesso si calibra il processo sulle graminoidi, perché queste piante sono in grado di produrre un apparato radicale superficiale ma fitto (feltro radicale), capace di consolidare il terreno sciolto e ridurre l'erosione superficiale. La scelta di un numero ridotto di specie guida non preclude comunque la raccolta dei semi delle altre specie: l'esperienza dimostra che viene normalmente raccolta la maggior parte delle specie presenti nel prato donatore (Fig. 29). Una volta raccolto, il fiorume viene fatto essiccare e può essere usato subito o conservato in ambienti chiusi, a temperatura e umidità controllate, con possibilità di garantire la qualità germinativa per almeno due anni dall'anno di produzione. In genere il fiorume non deve essere sottoposto a trattamenti diversi dagli altri miscugli di sementi, né deve essere setacciato per rimuovere residui vegetali quali foglie e fusti: questo materiale appa-



**Fig. 29** Fiorume appena raccolto. Foto: A. Ferrario



**Fig. 30** Campione di fiorume pulito in laboratorio. Foto: A. Ferrario

rentemente di scarto può essere infatti riutilizzato, eventualmente dopo trinciatura, come materiale pacciamante, secondo le normali procedure di semina.

Come accennato, è fondamentale, anche ai fini commerciali, la caratterizzazione del fiorume con valutazione di parametri chiave come purezza, contenuto in semi e tasso di germinazione (Fig. 30). A questo proposito il CFA ha messo a punto una metodologia speditiva di analisi sulla base di quanto comunemente in uso per le sementi commerciali secondo le procedure dell'International Seed Testing Association (ISTA).

In questo contesto è utile ricordare che la raccolta e la commercializzazione del fiorume possono costituire un incentivo al recupero di prati e praterie ad alta biodiversità, nonché delle pratiche tradizionali di gestione; in questo modo viene in parte ribaltato l'attuale approccio di conservazione della biodiversità, sia a livello di specie sia di paesaggio, approccio che spesso oggi comporta solo oneri gestionali associati agli sfalci periodici.

Infine, la produzione di fiorume da prati stabili ad alta biodiversità può, almeno in parte colmare la lacuna di mercato relativa alla disponibilità di sementi autoctone certificate, rendendo finalmente possibile la realizzazione di opere e interventi a lungo auspicati, oggetto di normative e raccomandazioni a tutela dell'ambiente naturale in Lombardia.

### 4.3.2 Fitocenosi

I modelli per la creazione delle fitocenosi dovrebbero essere la vegetazione potenziale e le comunità vegetali meno disturbate che caratterizzano il territorio in cui è presente il sito da recuperare. Le fitocenosi potenziali da usare come modello nel bacino estrattivo del Botticino sono i querceti roverella e i quercu-carpineti appartenenti all'ordine *Quercetalia pubescenti-petraeae*, rappresentati da boschi di latifoglie eliofile, a dominanza di querce caducifoglie (cfr. paragrafo 2.2.5). La composizione floristica ed i rapporti quantitativi tra le specie devono quindi essere ricavate di volta in volta da appositi studi fitosociologici su tali comunità vegetali.

#### **Fitocenosi boschive ed arbustive (semi)naturali presso il bacino estrattivo**

I boschi con una buona complessità strutturale e pregio naturalistico presenti nei pressi del bacino estrattivo e che potrebbero essere utilizzati come modello per la rinaturazione sono (Tabella 18):

- orno-ostrieti (Fig. 31; alleanza *Carpinion orientalis*);
- ostrio-querceti e querceti (alleanza *Carpinion orientalis*);
- carpineti a carpino bianco (alleanza *Erythronio-Carpinion*).

Le formazioni arbustive utilizzabili come modello sono afferibili alla classe *Rhamno-Prunetea*:

- arbusteti termo-xerofili tipici di un substrato calcareo;
- arbusteti termo-eliofili.

Specie	Copertura (%)
<i>Cotinus coggygria</i>	1.79
<i>Crataegus monogyna</i>	5.36
<i>Erica arborea</i>	1.10
<i>Fraxinus ornus</i>	15.39
<i>Ostrya carpinifolia</i>	13.58
<i>Prunus mahaleb</i>	2.63
<i>Quercus ilex</i>	1.95
<i>Quercus pubescens</i>	58.20
Distanza tra individui (m)	2.47

**Tabella 18** Esempio di rilievo della struttura dei querceti di roverella nel PLIS "Colline di Brescia", nei pressi del bacino estrattivo del Botticino



**Fig. 31** Orno-ostrieto  
(ATE o22).  
Foto: F. Gilardelli



**Fig. 32** Prato stabile sfalciato  
annualmente in una chiara di un  
querceto di roverella  
(Comune di Serle). Foto: F. Gilardelli

### **Fitocenosi erbacee (semi)naturali presso il bacino estrattivo**

Le comunità vegetali erbacee da usare come modello per il recupero delle cave del Botticino sono i prati stabili ed i pascoli submontani, che, nonostante il carattere semi-naturale o artificiale (sono mantenuti grazie allo sfalcio periodico), presentano un buon valore paesaggistico ed una elevata ricchezza floristica (Fig. 32).

I brometi (ordine *Festuco-Brometalia*: *Mesobromion* e *Xerobromion*) sono buoni modelli per la progettazione dei recuperi.

## 4.4 Impianto della vegetazione

L'impianto della vegetazione può essere realizzato tramite diverse tecniche quali: applicazione di diaspore, traslocazione del cotico erboso e degli strati di suolo superficiale prelevati da ambienti naturali (metodo traslativo), interrimento di organi vegetali di propagazione (es. stoloni) nel substrato usato per il recupero, semina e piantagione. I due metodi più utilizzati sono la semina per lo strato erbaceo e la piantagione per lo strato arboreo-arbustivo.

### Semina dello strato erbaceo

Una delle migliori tecniche di semina dello strato erbaceo è l'idrosemina, che consiste nella creazione di un miscuglio di sementi, acqua, mulch (con funzione pacciamante), concimi ed ammendanti, che viene dapprima reso omogeneo e quindi sparso sull'area da recuperare per mezzo di un'idrosemnatrice (Fig. 33). La densità delle sementi e l'apporto di fertilizzanti ed ammendamenti varia a seconda delle condizioni locali: in genere è consigliata una densità da 20-30 a 40-50 g/m<sup>2</sup>. Al miscuglio potrebbero essere inoltre aggiunti semi di specie arboreo-arbustive in modo da incrementare la diversità specifica ed accelerare la ricolonizzazione.



**Fig. 33** Idrosemina di sementi commerciali (ATE o13).  
Foto: F. Gilardelli

L'idrosemina consente di aumentare significativamente e rapidamente la copertura e la biodiversità vegetale, favorendo l'attecchimento e lo sviluppo di diverse specie erbacee perenni anche su pendenze elevate. Infatti, l'apporto di fertilizzanti ed ammendanti contemporaneo alla semina vera e propria, permette di migliorare le condizioni stagionali limitanti in concomitanza con il periodo di germinazione dei semi. Inoltre, il mulch crea un microclima ideale per la germinazione dei semi (Fig. 34) in quanto funge da isolante termico, mitiga l'azione battente delle acque meteoriche, trattiene l'acqua e ne favorisce l'infiltrazione (così che l'evaporazione del suolo e la traspirazione delle piante sono ridotte), riduce il deflusso delle acque superficiali e protegge

il substrato dall'erosione del vento e dell'acqua (Kirmer & Mahn 2001). Nel caso in cui si voglia idroseminare del fiorume, è importante procedere con la trinciatura del materiale prima di creare il miscuglio per l'idrosemina (le dimensioni finali variano a seconda delle caratteristiche tecniche dell'idroseminatrice), in modo da evitare l'ostruzione delle macchine operatrici. Se ciò non fosse possibile, si può dapprima distribuire a spaglio il fiorume sull'area da recuperare e quindi idroseminare in un secondo momento il miscuglio di acqua, mulch, fertilizzanti ed ammendanti.

Per favorire l'attecchimento delle piante, immediatamente dopo l'impianto si dovrebbe prevedere un'irrigazione iniziale.



**Fig. 34** Microclima per la germinazione dei semi creato a seguito dell'idrosemina di **A)** sementi commerciali e **B)** fiorume (ATE o13). Il mulch in fibre di legno vergini è in verde. Foto: F. Gilardelli

### **Tempistica per la semina.**

Il miglior periodo in cui effettuare la semina dovrebbe essere selezionato in base alle caratteristiche stazionali (es. diversa accessibilità del sito nell'arco dell'anno) ed a:

- **germinabilità e conservabilità dei semi:**  
semi delicati, non trattati, raccolti in situ, difficilmente conservabili e/o che mantengono la germinabilità per brevi periodi dovrebbero essere seminati nel più breve tempo possibile e comunque in estate o autunno, in modo che la dormienza sia rotta naturalmente;
- **clima:**  
la semina in autunno o prima dell'inizio delle piogge è preferibile in zone calde e aride, mentre la semina primaverile consente di limitare i danni dalle gelate tardive;
- **composizione del miscuglio e finalità tecniche del recupero:**  
le semine anticipate (tarda estate-inizio autunno) favoriscono le *Poaceae* e sono quindi ideali per limitare i problemi erosivi; le semine primaverili favoriscono le *Fabaceae* e consentono di migliorare le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche del substrato;
- **presenza di parassiti e/o predatori:**  
per limitare il tempo in cui il seme, rimanendo nel substrato prima della germinazione, possa essere danneggiato si può optare per una semina primaverile.

Per ovviare a problemi legati alla competizione tra lo strato erbaceo e gli alberi ed arbusti piantati, con una conseguente sofferenza da parte di quest'ultimi, è possibile:

- effettuare la semina solo dopo la messa a dimora degli individui arboreo-arbustivi, in modo che questi siano già sviluppati al momento della semina;
- utilizzare una densità di semina inferiore rispetto a quella considerata ottimale.

### **Trapianto di individui arboreo-arbustivi**

Attualmente, si fa un uso sempre maggiore della piantagione anziché della semina per gli alberi ed arbusti, poichè, nonostante richieda sforzi maggiori, assicura una maggiore sopravvivenza e sviluppo degli individui. Infatti il trapianto:

- non presenta problemi legati a dormienza e bassa germinabilità dei semi;
- si adatta meglio a condizioni estreme;
- dà buoni risultati anche in siti già vegetati, consentendo di limitare la competizione con le specie erbacee ed i danni da parte di insetti e roditori;
- richiede in generale minori costi di manutenzione nel medio-lungo periodo.

### ***Trasporto ed acclimatamento***

Il trasporto del materiale vegetale è una fase molto delicata e dovrebbe quindi essere rapido e ben pianificato in modo da evitare danni al materiale vegetale dovuto a fluttuazioni di temperatura (es. gelo, colpi di calore), maltrattamenti, mutilazioni e disseccamenti. Pertanto, gli apparati radicali devono essere sempre tenuti freschi e gli individui devono essere protetti adeguatamente (es. con imballaggi, contenitori, mezzi di trasporto dotati di telone).

Dal momento che gli individui da trapiantare crescono in serra in condizioni poco stressanti, potrebbe essere utile prevedere un periodo di acclimatamento prima del trapianto, che è utile anche per sincronizzare la fenologia della piante con le condizioni climatiche locali.

### ***Trapianto***

Dopo aver identificato ed eventualmente rimosso ostacoli al radicamento (es. sassi isolati, massi) e verificato che lo scolo delle acque avvenga in modo corretto, è necessario predisporre una buca o una fessura adeguata in cui inserire l'apparato radicale delle piante a radice nuda, in contenitore o in zolla. Le dimensioni del vano dipendono dal materiale vegetale a disposizione e devono comunque essere sufficienti per posizionare le radici distese o l'intero pane di terra, ovvero:

- 25x25x25 cm per piante di 1-2 anni;
- 40x40x40 cm per piante di più di 2 anni.

Sui versanti più acclivi sarebbe opportuno scavare la buca su una contropendenza precedentemente creata in modo da accumulare l'acqua (rendendola disponibile per la pianta) ed evitare problemi di erosione.

Dopo lo scavo delle buche e prima di procedere con l'impianto, è necessario:

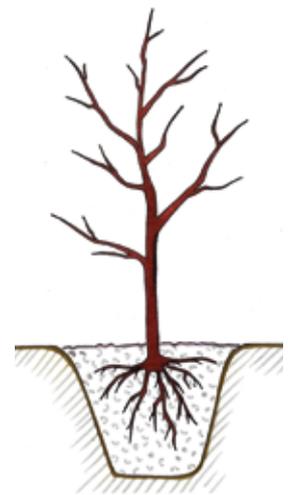
- eliminare tutti i materiali non biodegradabili (es. contenitori in plastica);

- eliminare le parti deperite, secche, rotte e morte delle piante da utilizzare;
- controllare l'equilibrio tra la parte aerea e radicale delle piante ed eventualmente procedere con potature e sfoltimenti;
- etichettare se richiesto le piante per mezzo di cartellini di materiale resistente alle intemperie su cui riportare il nome botanico e la provenienza dell'individuo;
- controllare l'apparato radicale delle piante, e procedere, se necessario, con dei tagli per eliminare curvature, distorsioni ed attorcigliamenti;
- per le piante a radice nuda: mantenere umido l'apparato radicale dall'arrivo nell'area da recuperare fino all'impianto, per esempio tramite inzaratura (immersione in una miscela di 1/3 acqua, 1/3 letame e 1/3 terreno);
- per le piante in contenitore: immergere completamente i contenitori biodegradabili in acqua.

Le piante così preparate devono essere collocate verticalmente al centro delle buche con le radici distese (eventualmente su un cono di terra precedentemente preparato) ed orientate in modo da ottenere il miglior risultato tecnico ed estetico. Il colletto deve rimanere a livello del terreno o poco più basso (1-2 cm) per evitare che le piantine marciscano o siano sradicate (Fig. 35).

Una volta posizionata la pianta si dovrebbe assestare accuratamente il terreno in modo che nessuna radice rimanga scoperta (Fig. 36). I contenitori biodegradabili devono essere interrati completamente per evitare la dispersione di acqua in atmosfera ("effetto stoppino").

Sui versanti, la messa a dimora dovrebbe procedere dall'alto al basso, in modo da non danneggiare gli individui già messi a dimora.



**Fig. 35** Scavo e posizionamento corretti per l'impianto di giovani individui arboreo-arbustivi



**Fig. 36** Assestamento manuale del substrato dopo il posizionamento di giovani individui arboreo-arbustivi (ATE o13). Foto: F. Gilardelli

### ***Periodo ideale per il trapianto***

Il periodo migliore per il trapianto di alberi ed arbusti è il periodo di quiescenza (autunno o inizio primavera), quando le temperature sono basse, il terreno non è gelato ed i rischi di danneggiamento del materiale sono limitati.

Nell'area del Botticino è generalmente preferibile il trapianto autunnale, considerato che i periodi estivi possono essere caratterizzati da carenza di acqua nel suolo per le scarse precipitazioni ed è necessario limitare il numero di irrigazioni per contenere i costi del recupero. Inoltre, l'autunno sarebbe comunque da preferire nei casi in cui siano usate piante a radice nuda, per aumentarne le probabilità di sopravvivenza consentendo l'attivazione del sistema radicale prima del risveglio primaverile della pianta (Muzzi & Rossi 2003). Il trapianto primaverile dovrebbe essere preferito per le specie con una bassa resistenza alle temperature invernali.

### ***Modulo d'impianto***

Il modulo d'impianto dovrebbe essere il più possibile naturaliforme: si dovrebbero alternare in modo eterogeneo ed irregolare elementi isolati e lineari (es. siepi, fasce arborate, fasce tampone, filari), fasce boscate circolari e/o ellittiche, macchie arbustate e radure con diversa composizione (es. specie con forme e velocità di crescita diverse), estensione (da poche centinaia di metri a qualche ettaro) e densità. Per una più agevole realizzazione dell'impianto, potrebbe rivelarsi utile posizionare dei picchetti nell'area da recuperare in modo da tracciare la posizione ed il perimetro dei vari elementi.

Tra i migliori moduli d'impianto per le macchie boscate vi è quello delle "macchie seriali", che, imitando le dinamiche naturali di rimboschimento, consente di accelerare la ricolonizzazione e minimizzare interventi successivi (Fig. 37). All'interno di una matrice prativa sono inserite delle macchie boschive ovali, con un nucleo centrale ("testa della serie") di specie prettamente arboree caratteristiche degli stadi finali della successione locale (Sartori 1992; Carchidi et al. 2001). Procedendo verso l'esterno della macchia, le fasce sono costituite da vegetazione sempre meno evoluta (specie arbustive) fino a raggiungere gli stadi pionieri ecotonali ("base della serie") a contatto con la matrice.

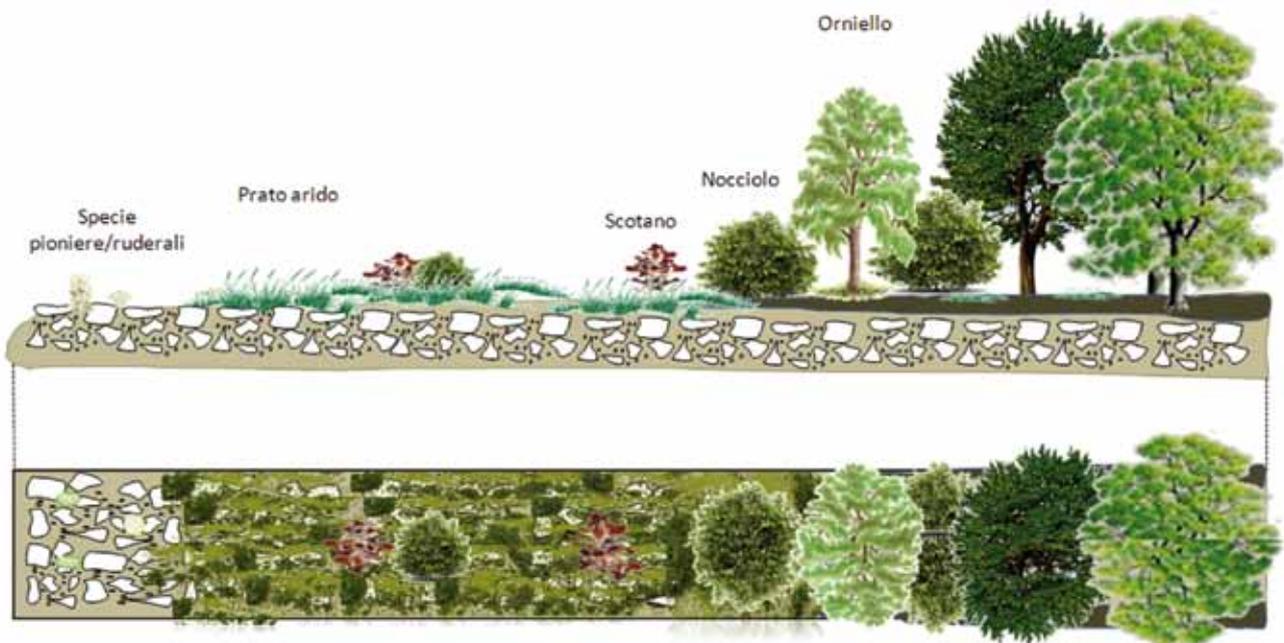
Ciascun habitat dovrebbe essere accuratamente progettato per quanto riguarda:

#### **- forma e dimensioni:**

sono preferibili habitat di dimensioni non troppo limitate e con contorni irregolari in modo da incrementare la zona ecotonale; le radure dovrebbero avere un'estensione di almeno 400 m<sup>2</sup> e rappresentare circa il 30% dell'intera area recuperata;

#### **- struttura:**

è consigliata una struttura naturaliforme, caratterizzata da un'elevata integrazione fisiologica e spaziale degli individui vegetali. Questa è ottenibile, per esempio, tramite l'uso di specie con ciclo biologico sfasato, diversi habitus e sistemi radicali in grado di sfruttare tutte le risorse a disposizione;



Base della serie

Testa della serie

- **modalità di piantagione:**

es. a elementi isolati, lineare, in blocco, sistema di tracciamento regolare, sinusoidale, a macchie seriali;

- **densità di impianto:**

dipende dalle specie selezionate e dagli obiettivi del recupero e dovrebbe essere selezionata in base alle precipitazioni, alla temperatura ed alla densità di alberi ed arbusti presenti nella comunità forestale naturale di riferimento. Da un lato, si dovrebbe evitare di creare una copertura delle specie arboreo-arbustive troppo alta, con uno strato erbaceo non ben strutturato (verrebbe meno la protezione dei versanti dal rischio di erosione), dall'altro si dovrebbe evitare di creare uno strato erbaceo monotono, denso e compatto e costituito da poche erbe dominanti (che potrebbe deviare o arrestare la successione a lungo termine);

- **composizione specifica degli strati vegetazionali:**

studi fitosociologici sulle comunità vegetali circostanti le cave sono strumenti molto utili per definire i rapporti quantitativi tra le specie da usare (es. definizione delle specie dominanti, minoritarie e sporadiche) al fine di raggiungere un buon livello di biodiversità, migliorare le condizioni ambientali (es. caratteristiche pedologiche) e le funzioni ecosistemiche e creare habitat idonei per la fauna selvatica;

- **età del materiale per ottenere una stratificazione verticale.**

Nelle macchie boscate, considerato che la mortalità degli individui durante i primi anni dall'impianto potrebbe essere molto elevata a causa delle avverse ed eterogenee condizioni ambientali, i sestri d'impianto dovrebbero essere fitti e con una densità superiore rispetto a quella delle fitocenosi boschive di riferimento. È quindi consigliabile una distribuzione degli individui su file parallele ad andamento sinusoidale con sestri d'impianto di 3x2 m, 3x3 m o 4x3 m. Infatti, da un lato, tali sestri d'impianto imitano la distribuzione casuale degli individui negli habitat naturali, e dall'altro, con-

**Fig. 37** Modulo d'impianto secondo il metodo delle macchie seriali.  
Illustrazione: R. Gentili

sentono il passaggio delle macchine operatrici per il controllo periodico dell'impianto e per gli interventi successivi (es. sfalci periodici, diradamento di alberi ed arbusti).

### **Misure post-impianto**

Dopo la messa a dimora, è consigliabile creare un microclima idoneo allo sviluppo delle giovani piante limitando la competizione della vegetazione erbacea. A tale scopo è possibile predisporre un'area intorno alla pianta libera dalla vegetazione, tramite una pacciamatura con:

- **materiale inorganico:**

sassi e ghiaia asportati durante la preparazione del substrato per l'impianto della vegetazione (vedi par. 4.2.2), da distribuire con spessori di 10-15 cm. È da evitare l'uso di film e tessuti plastici non biodegradabili;

- **materiale organico** (Tabella 19):

scorza a pezzi, trucioli/chip in legno, paglia, biodischi (dischi di materiale in fibre in legno di cocco, sughero o cartone, in genere circolari e con diametro di 30-70 cm). È da evitare l'uso di sfalci freschi, che possono fermentare, sviluppare calore e rilasciare sostanze fitotossiche.

<b>Materiale</b>	<b>Spessore</b>	<b>Decomposizione</b>
scorza a pezzi	10-15 cm	lenta (minimo 3 anni)
trucioli/chip in legno*	8-15 cm	Veloce
paglia		rapida (1-2 anni)
biodischi		lenta (2-4 anni)

**Tabella 19** Caratteristiche di alcuni materiali organici utilizzabili per la pacciamatura  
*\*attenzione: potrebbero avere effetti tossici*

La pacciamatura consente inoltre di fissare parte della pioggia caduta (funzione igroscopica), bloccare buona parte dell'azoto durante la degradazione microbica (interazione col ciclo dell'azoto), facilitare la presenza di roditori e parassiti, bloccare l'irraggiamento al suolo, migliorare la struttura ed apportare sostanza organica.

Per proteggere fisicamente le piante dagli stress meccanici legati al disturbo e/o al pascolo da parte di animali di grossa taglia ed erbivori (es. conigli), si potrebbe recintare l'area recuperata tramite steccati (es. paleria di castagno interrata per almeno 50 cm) ed utilizzare sistemi di protezione per le singole piante, quali gli shelter di plastica (Fig. 38), preferibilmente più alti di 60 cm, da posizionare con l'ausilio di mezzi di sostegno adeguati. Gli shelter creano inoltre condizioni microclimatiche particolari intorno alla pianta, aumentandone potenzialmente la crescita e lo sviluppo.

Nel caso in cui siano piantati alberi e/o arbusti di diversi anni, potrebbe essere necessario l'uso di tutori, di altezza e diametro adeguati, a cui rendere solidali le piante tramite lacci



**Fig. 38** Shelter e biodisco pacciamante per il recupero naturalistico dell'area estrattiva Italcementi di Monte Marguzzo (Comune di Mazzano).  
Foto: F. Gilardelli



**Fig. 39** Irrigazione subito dopo la messa a dimora di alberi ed arbusti. Foto: F. Gilardelli

di materiale organico (es. corde in canapa). Sarebbe preferibile evitare l'uso di materiale inorganico non biodegradabile, come cinture in gomma e nastri di plastica. Per evitare la strozzatura del tronco ed il possibile danneggiamento della corteccia, potrebbe essere utile interporre tra il tutore e la pianta un cuscinetto di materiale adatto.

Così come per lo strato erbaceo, si dovrebbe prevedere, immediatamente dopo l'impianto, un'irrigazione iniziale per favorire l'attecchimento delle piante (Fig. 39).

## Recupero a fini faunistici

Nei recuperi naturalistici le fitocenosi vegetali dovrebbero essere combinate in modo da formare un mosaico diversificato ed articolato di unità ecosistemiche semplici in grado di attirare ed ospitare stabilmente la fauna selvatica. In particolare, per ogni zona omogenea dovrebbero già essere definite in fase di progettazione le specie animali da attirare dalle zone circostanti (o eventualmente da introdurre o reintrodurre sulla base del carico massimo sostenibile) e di quelle indesiderate da contenere tramite catture ed allontanamenti. La lista delle specie, che dovrebbe includere specie protette, incluse nelle liste rosse o semplicemente di importanza locale, dovrebbe essere creata sulla base di:

- condizioni stagionali (es. microclima);
- esigenze alimentari e riproduttive delle specie (es. presenza di specie vegetali con frutti edibili o atte a fornire siti di nidificazione);
- esigenze pratico-organizzative, amministrativo-legali e commerciali (es. possibilità di effettuare controlli periodici, possibilità di reperire le specie da introdurre).

Al fine di raggiungere un rapporto equilibrato tra le diverse componenti dell'ecosistema, ed ospitare un elevato numero di specie faunistiche, anche tramite metapopolazioni, è necessario (Baldiraghi et al. 2009):

- diversificare orizzontalmente la copertura vegetale, creando un mosaico di aree omogenee per tipologia di vegetazione (es. prati, arbusteti, boschi, aree prive di vegetazione) ed ambienti ecotonali, evitando comunque un'eccessiva frammentazione;

- predisporre alcune macchie boscate di dimensioni maggiori per permettere l'insediamento delle specie più boschive che tendono ad evitare gli ambienti ecotonali;
- diversificare verticalmente la copertura vegetale in modo che sia in grado di ospitare una ricca e diversificata avifauna nidificante (Fig. D1);
- mantenere alcuni ambiti esposti a sud non vegetati (es. rupi, scarpate non inerbite o rimboschite) per favorire la termoregolazione di organismi ectotermi.

### Rupi artificiali

Le rupi artificiali prive di vegetazione possono esercitare una forte attrattiva soprattutto per l'avifauna locale e migratoria (Fig. D2) e per i chiropteri grazie alla buona disponibilità di prede, della



Fig. D2 Rapace in volo sopra il bacino estrattivo del Botticino (ATE o14). Foto: F. Gilardelli

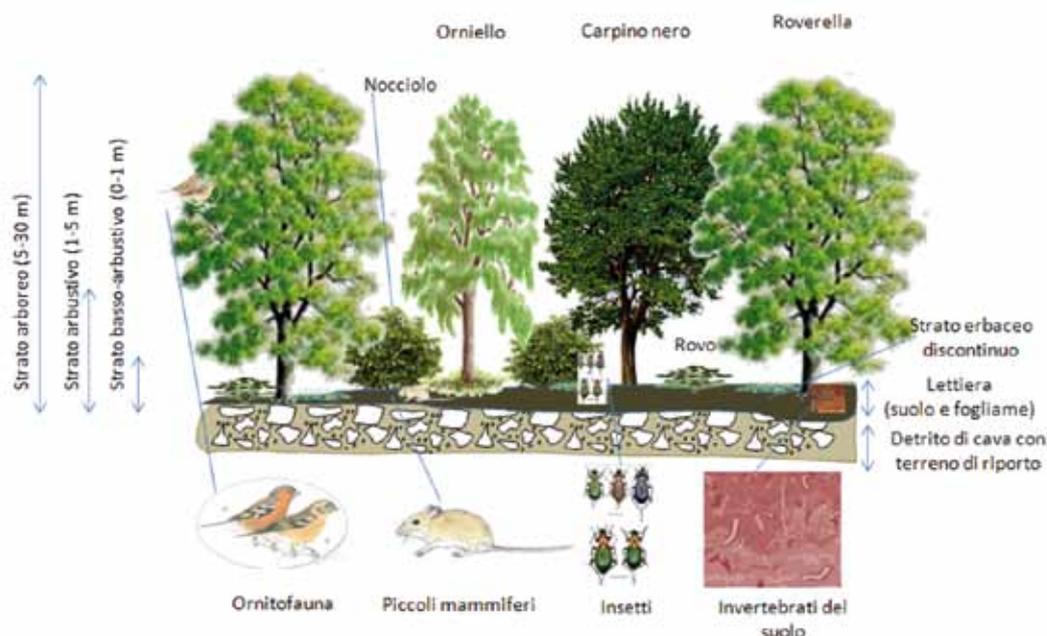


Figura D1 Esempio di stratificazione verticale della vegetazione idonea ad ospitare una ricca comunità animale: a) lettiera, b) strato erbaceo discontinuo, c) strato basso arbustivo, d) strato alto arbustivo, e) strato basso arboreo, f) strato arboreo alto

possibilità di caccia nelle aree di cava dove sono presenti una vegetazione bassa e un gran numero di posatoi in posizione dominante. Nel bacino del Botticino gli ambienti di cava rappresentano anche degli habitat idonei per alcune specie di rapaci, che utilizzano le rupi artificiali per la nidificazione e le superfici con bassa copertura vegetale come terreno di caccia. Ad esempio, l'unica segnalazione della nidificazione di monachella (*Oenanthe hispanica*) in Provincia di Brescia tra il 1980 e 1984 è stata proprio tra le rupi abbandonate prive di vegetazione delle cave del Botticino (Brichetti & Cambi 1985), dove è stata osservata anche la nidificazione del codirossone (*Monticola saxatilis*) e del passero solitario (*M. solitarius*). Nelle cave attive delle Prealpi bresciane sono stati inoltre censiti nidi del gufo reale (*Bubo bubo*). Le pareti rocciose possono inoltre ospitare il codiroso spazzacamino (*Phoenicurus ochruros*) ed il picchio muraiolo (*Tichodroma muraria*; Brichetti & Cambi 1985).

Nei recuperi naturalistici, si potrebbero quindi valorizzare quelle rupi artificiali, la cui rivegetazione artificiale richiederebbe un impegno troppo oneroso, tramite la scelta di un recupero basato sulla ricolonizzazione spontanea. Gli interventi potrebbero essere limitati a:

- predisporre nella roccia anfratti o cavità di dimensioni differenti a seconda delle specie ornitiche che si presume possano nidificare. Per esempio, le cavità devono essere larghe 5-10 cm per il codirossone ed almeno 1 m per il gufo reale;
- predisporre sulla parete dei ripiani di varie misure, meglio se protette superiormente da sporgenze rocciose poste a 1-2 m di distanza, per permettere alle specie ornitiche di costruire il nido;
- rivegetare alcune aree nei pressi delle pareti con specie vegetali in grado di attrarre l'avifauna e le prede dei rapaci (es. specie con fiori attraenti per gli impollinatori, con frutti per i disseminatori);
- predisporre nella roccia anfratti e grotte artificiali di dimensioni e profondità maggiori rispetto a quelle per l'avifauna, idonei ad ospitare i chiroteri.

### Macchie boscate

Al fine di garantire la funzionalità ecosistemica delle macchie boscate, queste dovrebbero avere una dimensione sufficiente ad ospitare le popolazioni animali e dovrebbero essere vicine, o perlomeno collegate tra di loro per mezzo di corridoi ecologici o stepping stones.

Inoltre, per migliorare la valenza faunistica, sarebbe necessario:

- evitare un impoverimento dell'habitat tramite la conservazione della biodiversità vegetale grazie ad interventi di manu-

tenzione adeguati (es. evitare di rimuovere il sottobosco e di potare i rami bassi degli individui più grandi);

- creare zone di margine boschivo con siepi ed arbusti bassi con confini irregolari;
- includere tra le specie vegetali utilizzate quelle adatte a supportare le comunità animali, fornendo rifugio e nutrimento (Fig. D3);
- laddove possibile (es. nei pressi dell'impianto), posizionare cassette nido di differenti forme e dimensioni per aumentare la possibilità di sopravvivenza e riproduzione dell'avifauna e di alcuni pipistrelli arboricoli.

### Prati stabili

I prati stabili sono un elemento importante nell'ecosistema, in quanto, anche grazie alle ricche fioriture, rappresentano un importante sito di alimentazione, accoppiamento e sviluppo larvale di molte specie entomologiche interessanti (es. farfalle). I prati sono anche un sito di alimentazione e rifugio importante per molti altri invertebrati (Fig. D4) e specie ornitiche.

Il recupero naturalistico dovrebbe quindi prevedere la costituzione ed il mantenimento (es. tramite sfalci periodici) di fitocenosi prative. Anche un tratto arido ed inadatto allo sviluppo del bosco può essere valorizzato costituendo un'interessante radura.



Fig. D3 Fiori e frutti di *Spartium junceum*, idonei a fornire nutrimento agli animali frugivori ed impollinatori (ATE o13).  
Foto: F. Gilardelli



Fig. D4 Cavalletta (*Leptophyes punctatissima*) in un'area di cava dismessa e successivamente inerbita (ATE o13).  
Foto: F. Gilardelli

## 5 Monitoraggio e gestione

Nonostante sia spesso trascurato, il monitoraggio è una fase chiave dei progetti di recupero naturalistico, in quanto consente di:

- identificare gli effetti delle procedure e delle tecniche usate;
- registrare eventuali variazioni e rischi ambientali ed ecologici;
- verificare il grado di raggiungimento degli obiettivi del recupero stesso;
- identificare le situazioni in cui sia raggiunta una fase di pregio naturalistico in equilibrio dinamico con l'ambiente circostante e per la quale non siano necessarie ulteriori manipolazioni.

Il monitoraggio permette inoltre di individuare le situazioni che richiedono degli interventi correttivi (es. sviluppo della vegetazione in poche e semplici comunità caratterizzate da una bassa diversità floristica) e le relative cause (es. Corbett et al. 1996; Moreno-de las Heras et al. 2008) in modo da ricalibrare il progetto di recupero (Densmore 2005).

### 5.1 Monitoraggio

Il monitoraggio dovrebbe protrarsi nel medio/lungo periodo (5-10 anni), a seconda del tempo necessario per la ricreazione di un ecosistema dinamico, complesso ed autosufficiente. Limitare il monitoraggio ai primi anni dopo l'impianto della vegetazione, seppur possa fornire utili indicazioni, non consente di stabilire il successo del recupero. Infatti, le dinamiche vegetazionali nel medio/lungo periodo non sono sempre facilmente prevedibili e la possibile sofferenza dell'impianto e soprattutto delle specie commerciali, può rivelarsi solo dopo molti anni (Prach & Hobbs 2008).

Al fine di ottenere dati in grado di fornire un feedback scientificamente rilevante è utile valutare sistematicamente e periodicamente (es. semestralmente o annualmente) alcuni indicatori specifici, robusti, speditivi e facili da elaborare. I risultati dovrebbero poi essere confrontati con uno o più siti naturali e seminaturali di riferimento non disturbati.

#### **Parametri vegetazionali**

La vegetazione è un ottimo indicatore per monitorare la riuscita del recupero ed il passaggio dalla condizione iniziale di artificialità dell'impianto verso quella di naturalità, nonché per individuare aree su cui insistono i maggiori fattori limitanti. Pertanto, i parametri legati alle caratteristiche della vegetazione sono tra gli indicatori più utilizzati in quanto forniscono indicazioni sull'idoneità ambientale (es. caratteristiche del substrato, disponibilità di nutrienti ed acqua), sul grado di stabilizzazione dei versanti, sulla produttività degli ecosistemi, sul trend della ricolonizzazione (anche identificando eventuali blocchi o degradazione dell'impianto), sulla suscettibilità alle invasioni e resilienza degli ecosistemi e sul miglioramento dell'impatto visivo sul paesaggio (Ruiz-Jaén & Aide 2008).

Tra i molti tratti che possono essere misurati o stimati, sia a livello delle singole piante

sia di comunità vegetali e dinamiche di ricolonizzazione in atto, vi sono (es. Prach 2003; Muzzi & Rossi 2003):

- mortalità/sopravvivenza e condizioni sanitarie degli individui arboreo-arbustivi; l'altezza della pianta può essere un buon indicatore in tal senso;
- caratteristiche fisiologiche e riproduttive delle piante, come, per esempio: tasso di crescita, parametri fotosintetici, produttività e biomassa vegetale, capacità delle piante di auto-propagarsi senza apporti esterni aggiuntivi;
- profondità di penetrazione delle radici;
- germinazione e sviluppo delle specie erbacee, tenendo conto che i semi di alcune specie potrebbero germinare dopo 1-2 anni dall'impianto (Regione Lombardia 2011);
- copertura degli strati erbaceo, arbustivo ed arboreo, annotando particolari situazioni di diramento nel cotico erboso;
- copertura e distribuzione spaziale delle specie e degli individui (es. distribuzione localizzata o omogenea), tramite rilievi fitosociologici eseguiti su tutte le aree omogenee rilevate (Fig. 40);
- composizione e diversità floristica e sua variazione nel tempo;
- struttura della vegetazione (es. diversificazione degli individui in età, dimensioni, forma, stratificazione negli strati arboreo, arbustivo ed erbaceo);
- presenza nell'area recuperata di specie colonizzatrici autoctone locali;
- rapporto tra diversi gruppi ecologici; particolarmente utile è il rapporto tra la copertura delle specie ruderali ed aliene con le specie tipiche dei prati e boschi naturali locali.



**Fig. 40** Rilievo fitosociologico e analisi di parametri vegetazionali in seguito al recupero naturalistico dell'area estrattiva Italcementi di Monte Marguzzo (Comune di Mazzano).

Foto: F. Gilardelli

È necessario prestare attenzione nella scelta dei parametri da utilizzare, in quanto non tutti sono ugualmente attendibili. Per esempio, un'elevata copertura dello strato erbaceo non è di per sé positivo, ma anzi, uno strato troppo denso, compatto e costituito da poche specie dominanti competitive potrebbe deviare o arrestare la successione verso lo sviluppo di un ecosistema di scarso pregio naturalistico. Inoltre, una bassa diversità e ricchezza floristica potrebbe non essere significativa in quanto potrebbe avere un carattere temporaneo legato a fluttuazioni e cambiamenti repentini delle condizioni atmosferiche durante stagioni particolari (Jochimsen 2001).

### **Altri parametri biotici**

La comunità animale, microbica e fungina è un buon indicatore della dinamiche di ricostruzione dell'intero ecosistema (Mendez & Maier 2008). Tra i parametri utilizzabili vi sono:

- modifiche nella popolazione microbica del terreno;
- presenza di micorrize;
- insediamento e sviluppo di popolazioni di invertebrati ed animali superiori (Fig. 41).

Tra gli invertebrati, sarebbe utile valutare la presenza e la consistenza delle popolazioni di formiche e ragni. Un'elevata varietà di specie di formiche può indicare la ricostituzione di un ecosistema funzionante, essendo positivamente correlata all'abbondanza ed alla ricchezza di molti altri gruppi tassonomici di invertebrati (Majer et al. 2007). Inoltre, popolazioni consistenti di talune specie di ragni possono indicare una buona struttura dell'habitat, in quanto reagiscono alle variazioni nella profondità della lettiera e/o usano la vegetazione come punti di attacco per le tele (Wheater et al. 2000).

### **Parametri abiotici**

I parametri abiotici sono generalmente utilizzati per monitorare il miglioramento delle condizioni stazionali ed in particolar modo la pedogenesi; pertanto, tra i parametri più usati vi sono (Courtney et al. 2009):

**Fig. 41** *Mantide religiosa* (Mantis religiosa) in un'area di cava dismessa lasciata inerbire spontaneamente (ATE 013).  
Foto: F. Gilardelli



- pendenza e stabilità dei versanti e del suolo;
- riduzione dell'erosione e del deflusso idrico;
- aggregazione delle particelle del suolo;
- differenziazione in orizzonti e sub-orizzonti, compreso la valutazione della presenza di orizzonti compatti e poco permeabili;
- presenza, quantità e qualità della sostanza organica;
- presenza e disponibilità dell'azoto e degli altri nutrienti;
- biodisponibilità e mobilità degli inquinanti e dei metalli pesanti;
- effetti legati all'uso di ammendanti e fertilizzanti (da monitorare per lungo tempo).

## 5.2 Gestione

Nei primi anni dopo l'impianto, sono spesso necessari interventi correttivi per favorire l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione nonostante i fattori limitanti (es. distribuzione eterogenea di sostanze nutritive e umidità nel suolo, fenomeni erosivi, variabilità stagionale, pascolo intensivo da parte di conigli, rimozione dei semi con elaiosomi da parte delle formiche), rendere l'impianto autonomo, creare una riserva minerale ed organica sufficiente, riavviare i cicli biologici ed indirizzare la ricolonizzazione verso l'obiettivo del recupero.

Le irrigazioni di soccorso (Fig. 42) sono spesso indispensabili per evitare la sofferenza e la morte delle piante, soprattutto in ambienti caratterizzati da precipitazioni scarse ed irregolari, esposti a sud e con geomorfologia e substrato tali da limitare la disponibilità idrica e mantenere elevate temperature al suolo (Brofas & Karetsos 2002). Le irrigazioni dovrebbero interessare almeno i primi due anni dall'impianto, quando il cotico erboso risente maggiormente della siccità estiva, o comunque fino al completo attecchimento delle piante, programmando il numero di irrigazioni in base ai costi economici, al fabbisogno di acqua delle piante ed al regime annuale di precipitazioni.



**Fig. 42** Irrigazione di soccorso di alberi ed arbusti piantati in un'area di cava dismessa per un esperimento di rinaturazione. Foto: F. Gilardelli

### **Interventi sulle specie erbacee**

Nei primi anni dall'impianto è possibile prevedere degli interventi sullo strato erbaceo per incrementarne la diversità floristica e la produttività, accelerare i cicli biologici, stimolare l'accestimento delle *Poaceae* e, a seconda dei casi, contenere le specie cespugliose o favorire la crescita di alberi e arbusti. A seconda delle esigenze emerse dal monitoraggio, possono essere pianificati (Olyphant & Harper 1995):

- risemine, in aree dove la semina non ha dato risultati soddisfacenti e/o su pendii e scarpate soggetti a fenomeni erosivi; richiedono una preventiva preparazione del substrato;
- trasemine (a seguito di un evento meteorico): consentono di integrare le specie erbacee verso la composizione floristica desiderata, senza compromettere lo strato erbaceo esistente; possono essere effettuate anche dopo 3-4 anni dall'impianto, richiedono un preventivo sfalcio dello strato erbaceo esistente (per limitare il possibile soffocamento delle nuove piante), nonché la rottura del cotico tramite macchinari idonei come erpici, rulli dentati o seminatrici speciali con denti vibranti;
- semina di specie azoto-fissatrici;
- sfalci (uno o più all'anno); il materiale sfalcato, una volta trinciato, può essere lasciato in posto o asportato in casi di grandi quantitativi che potrebbero soffocare le piante sottostanti;
- decespugliamento;
- pascolo controllato: gli animali dovrebbero essere scelti in base alla diversa pressione ed azione selettiva degli stessi sulle specie vegetali;
- concimazione e/o ammendamento in copertura con composti azoto-fosforici con diversi tempi di rilascio.

Fitofarmaci e diserbanti chimici dovrebbero essere utilizzati solo se strettamente necessari ed in via eccezionale.

### **Interventi sulle specie arboreo-arbustive**

Gli interventi sugli individui arboreo-arbustivi sono generalmente richiesti per aumentarne le possibilità di attecchimento e sopravvivenza, limitando l'evaporazione al suolo, favorendo una più rapida infiltrazione nel substrato dell'acqua meteorica e l'approfondimento radicale, recuperando i danni dovuti a parassiti, vandalismi e disseccamenti e controllando lo sviluppo dello strato erbaceo. Tra i possibili interventi da effettuarsi nei primi anni per accelerare il rimboschimento vi sono (es. Warman 1988):

- risarcimenti, ovvero reimpianti per la sostituzione delle fallanze, che in condizioni molto avverse possono raggiungere il 50-70%;
- ripuliture, ceduzioni e potature (solo per le specie decidue);
- diradamenti, nei casi di densità di piantagione troppo elevate;
- lavorazioni primaverili attorno ai fusti di alberi e arbusti (es. sfalci localizzati) in cui non è stata prevista la pacciamatura in fase d'impianto;
- fornitura diretta di acqua in corrispondenza di ogni pianta (25-50 l per pianta) tramite irrigazione manuale a cadenza irregolare o sistema di irrigazione a goccia, mantenuto in funzione per 3-4 anni;
- impianto di specie esigenti.

Fitofarmaci e diserbanti chimici dovrebbero essere utilizzati solo se strettamente necessari ed in via eccezionale.

### Controllo delle specie indesiderate

Le condizioni abiotiche all'inizio della ricolonizzazione (es. lavorazioni del terreno, presenza antropica, elevato disturbo) potrebbero favorire la diffusione di specie indesiderate (es. Andrews & Broome 2006). Tra queste sono comprese le specie esotiche e particolarmente invasive nel territorio lombardo (vedi Lista nera della L.R. 10/2008), come, per esempio, *Ambrosia artemisiifolia* (Fig. 43), la cui propagazione è favorita nel bacino del Botticino sui terreni smossi.

La diffusione di tali specie va contrastata:

- **indirettamente:** non lasciando spazi privi di vegetazione, ma favorendo lo sviluppo di comunità autoctone eventualmente composte da specie a rapido accrescimento e fortemente competitive;
- **direttamente:** tramite sfalci e sradicamenti antecedenti le fioriture; l'uso di trattamenti selettivi, quali il diserbo chimico, deve essere promosso solo in via eccezionale.

### Interventi sulle specie animali

Una volta realizzato l'impianto della vegetazione, sarebbe opportuno limitare le attività venatorie, definire i sistemi di monitoraggio e controllo per le specie animali. Inoltre, potrebbero essere realizzate anche delle opere particolari per la fauna (es. nidi artificiali), provvedendo a periodici interventi di manutenzione al fine di garantirne la funzionalità nel tempo (es. pulizia e manutenzione annuale delle cassette-nido).

Il controllo delle specie indesiderate dovrebbe avvenire tramite catture ed allontanamenti, mentre l'uso di prodotti chimici ad azione repellente (che andrebbero distribuiti ripetutamente in inverno-autunno), è sconsigliato e dovrebbe essere utilizzato solo in via eccezionale.



**Fig. 43** Ricolonizzazione di *Ambrosia artemisiifolia* in un'area di cava dismessa lasciata inerbire spontaneamente (ATE o13).  
Foto: F. Gilardelli

## Primi risultati di un esperimento di rinaturazione nella cava ex-Sgotti (ATE o13)

Nell'ottobre 2011 è stato allestito un esperimento di rinaturazione nella cava dismessa "Ex Sgotti - Cava alta" nell'ATE o13 nel Comune di Nuvolento (394 m s.l.m., esposizione sud-ovest). Il sito, di 600 m<sup>2</sup>, è stato dapprima rimodellato in modo da ottenere tre terrazzi di circa 200 m<sup>2</sup> suborizzontali (pendenza tra 2-5°) e collegati da due piccole scarpate inclinate di 45° e 32°, rispettivamente. Sul sito è stato riportato uno strato omogeneo con spessore medio di 50 cm costituito da materiali di scarto misto a suolo originario proveniente dalla vicina cava "Marmi Spinetti Srl" (Figura E1).



Fig. E1 Sito per l'esperimento di rinaturazione nella cava dismessa "Ex Sgotti - Cava alta". Il substrato utilizzato, caratterizzato secondo la normativa vigente, presentava tessitura argillosa, un elevato contenuto di carbonati e calcio, e una forte carenza di nutrienti. Foto: F. Gilardelli

In tutti e tre i terrazzi sono stati piantati 98 individui arboreo-arbustivi di 1-2 anni, prevalentemente di roverella (35 individui), carpino nero (15 individui) e orniello (15 individui). Per quanto riguarda lo strato erbaceo (Fig. E2):

- nel terrazzo in alto è stato idroseminato del fiorume, raccolto da un prato sfalcato annualmente (mesobromion) nei pressi del sito sperimentale (Comune di Serle). Dopo essere stato caratterizzato, il fiorume è stato distribuito a spaglio con una densità di 36,28 g/m<sup>2</sup> (circa il 50% della densità ottimale calcolata durante la caratterizzazione); quindi è stata idroseminata la miscela di acqua, concimi, ammendanti e mulch per l'"idrosemina potenziata";
- nel terrazzo di mezzo è stato idroseminato un miscuglio di sementi commerciali composto da Poaceae e Fabaceae di provenienza estera (densità di semina: 40 g/m<sup>2</sup>) unitamente alla miscela di acqua, concimi, ammendanti e mulch per l'"idrosemina potenziata";
- lo strato erbaceo nel terrazzo in basso è stato lasciato inerbire spontaneamente.

Dopo l'impianto sono state eseguite delle irrigazioni di soccorso, di cui una immediatamente dopo la messa a dimora delle essenze vegetali e le altre durante i successivi periodi prolungati caratterizzati da assenza di precipitazioni.

Durante la prima stagione vegetativa, è stato monitorato lo sviluppo della vegetazione e, sulla base dei risultati ottenuti, sono stati valutati i costi ed i benefici nel breve periodo di ciascun approccio.

### Mortalità di alberi ed arbusti

La mortalità più elevata è stata registrata nel terrazzo a sementi commerciali (74,49% in media) in concomitanza con la massima produzione di biomassa (355,23 g), mentre è stata inferiore nel terrazzo a fiorume (18,37% in media; biomassa dello strato erbaceo: 190,19 g) e minima nel terrazzo lasciato all'inerbimento spontaneo (4,08% in media) in concomitanza



Fig. E2 Sito per l'esperimento dopo l'impianto della vegetazione:

a) terrazzo lasciato all'inerbimento spontaneo, b) terrazzo a sementi commerciali, c) terrazzo a fiorume. Foto: F. Gilardelli



Fig. E3 Individuo di rovere morto. Foto: F. Gilardelli

della minor produzione di biomassa (30,70 g). Si è osservato che uno strato erbaceo artificiale con densità di impianto elevata compete fortemente nel breve periodo con gli alberi ed arbusti trapiantati, a scapito di quest'ultimi (Fig. E3).

Sarebbe quindi opportuno evitare la creazione di una vegetazione erbacea troppo densa e compatta, ritardare la messa a dimora di alberi ed arbusti oppure utilizzare sistemi di protezione per le singole piante arboreo/arbustive.

### Biodiversità

Analizzando il numero medio di specie presenti in plot di 20 x 20 cm si è osservato che:

- il fiorume presenta un elevato numero medio di specie (16) e le specie con la più alta copertura sono *Arrhenatherum elatius* e *Lolium perenne*;
- l'inerbimento spontaneo presenta un minor numero medio di specie (11) e le specie che più contribuiscono alla copertura vegetale sono prettamente pioniere quali *Lactuca serriola*, *Setaria viridis* e *Senecio inaequidens*;
- le sementi commerciali presentano il più basso numero medio di specie, dovuto anche alla composizione originaria del miscuglio (6); *Lolium perenne* è nettamente dominante, rappresentando da solo anche il 100% della copertura totale dello strato erbaceo (Fig. E4).

L'uso delle sementi commerciali sarebbe quindi da evitare in quanto potrebbe impedire il recupero di un ecosistema di pregio, poichè:

- le erbe dominanti competitive (*Lolium perenne* in questo caso) potrebbero deviare o arrestare la successione nel medio/lungo termine impedendo alla flora autoctona locale di pregio di colonizzare la cava a causa dell'elevata produttività;
- la biodiversità potrebbe mantenersi a livelli bassi per lungo tempo;



Fig. E4 Terrazzo a sementi commerciali: la quasi totalità della copertura dello strato erbaceo è determinata da *Lolium perenne*. Foto: F. Gilardelli

- si potrebbero verificare fenomeni di inquinamento genetico delle popolazioni erbacee locali a causa dell'utilizzo di genotipi selezionati artificialmente e con provenienza non autoctona.

### Copertura ed altezza dello strato erbaceo

L'altezza dello strato erbaceo nel terrazzo lasciato all'inerbimento spontaneo ha mostrato valori bassi (altezza di 16,3 cm, con copertura del 10%). Invece, l'uso di fiorume e sementi commerciali hanno dato effetti paragonabili in termini di altezza e copertura vegetale (altezza superiore a 90 cm e coperture oltre l'80%), così che la mitigazione dell'impatto visivo è stata qui immediata già dalla prima stagione vegetativa dopo la semina (Fig. E5).

Per migliorare rapidamente l'impatto visivo degli accumuli e limitare eventuali fenomeni erosivi è quindi opportuno preferire il recupero tecnico alla successione spontanea.

### Analisi costi-benefici del caso di studio

Il costo del noleggio dell'attrezzatura necessaria per la raccolta del fiorume, comprensivo anche della sua caratterizzazione, è stato di 2,50 €/m<sup>2</sup>, superiore al costo totale delle sementi commerciali (0,20 €/m<sup>2</sup>). L'uso del fiorume richiede inoltre più tempo per la raccolta (che dipende dal periodo di

maturazione dei semi nel prato donatore) e caratterizzazione, a differenza delle sementi commerciali, che sono in genere subito disponibili.

Nonostante i costi relativamente superiori, il fiorume si è rivelata la tecnica d'inerbimento più adatta tra quelle testate per il recupero naturalistico delle cave di calcare del Botticino in quanto:

- grazie al rapido sviluppo di una buona copertura vegetale, è possibile migliorare nel breve termine l'impatto visivo delle aree degradate e contrastare la colonizzazione di specie ruderali ed esotiche;
- dal momento che le specie usate autoctone e locali dovrebbero essere resistenti o resilienti alle fluttuazioni e/o cambiamenti repentini delle condizioni ambientali locali, gli interventi post-impianto dovrebbero essere molto ridotti;

- è la tecnica più vantaggiosa in termini di valore naturalistico per la somiglianza con le comunità erbacee circostanti naturali o seminaturali, in termini di condizioni ecologiche e biodiversità;
- il raggiungimento di un ecosistema di pregio e autosufficiente ed il miglioramento delle condizioni ambientali abiotiche (es. esplorazione degli strati di suolo più diversificate) potrebbe essere ottenuto in tempi inferiori;
- l'introduzione deliberata di specie vegetali autoctone potrebbe sopperire alla mancanza di specie di pregio in grado di colonizzare la cava, essendo le cave del Botticino caratterizzate da vegetazione prettamente ruderale;
- si potrebbe accelerare lo sviluppo dell'intero ecosistema in quanto le specie locali potrebbero fornire cibo e rifugio per la fauna selvatica.



Fig. E5 Impatto visivo sui tre terrazzi durante la prima stagione vegetativa dopo l'impianto: a) terrazzo ad inerbimento spontaneo, b) terrazzo a sementi commerciali, c) terrazzo a fiorume. La copertura meno uniforme osservabile nel terrazzo a fiorume è dovuta alla distribuzione manuale a spaglio del fiorume stesso. Foto: F. Gilardelli





**parte 3**

## 6 Schede operative

### SCHEDA OPERATIVA 1

#### Risistemazione geomorfologica e stabilizzazione dei versanti

##### Scopo

La rimodellazione dei versanti deve tendere a morfologie congruenti con le destinazioni d'uso previste e dall'ambiente circostante. In particolare deve essere privilegiata la ricostruzione della morfologia dei luoghi, adottando configurazioni che si armonizzino il più possibile con l'esistente, evitando forme eccessivamente regolari e geometrizzanti, prevedendo anzi l'introduzione di accidenti morfologici tali da ricavare una sensazione di naturalità.

##### Criticità

- Creare delle superfici geomorfologiche stabili, in sicurezza ed in grado di controllare e/o limitare i processi geomorfologici di versante (es. frane, erosione superficiale);
- Creare delle superfici in grado di sostenere una comunità vegetale;
- Creare superfici interconnesse tra loro e l'ambiente circostante;
- Attuare idonee e differenziate opere di regimazione idraulica a seconda dei corsi d'acqua superficiali interessati, a seguito di studi idraulici specifici.



Figura S1 Versante di cava parzialmente attiva. Foto: R. Gentili

## Metodi e Materiali

- Studi idrologici, idraulici e geologici specifici;
- Rimodellazione dei versanti tramite appositi macchinari (es. ruspe);
- Apporto di materiale di scarto.

## Indicazioni per le cave del Botticino

- Profili finali di abbandono a gradoni con valori di alzata, pedata e inclinazione massima dell'alzata da definire in funzione della stabilità locale e generale ed in funzione del progetto di recupero ambientale in congruenza con la destinazione finale, con un fattore di sicurezza risultante dall'analisi di stabilità non inferiore a 1,3;
- Coltivazione preferibilmente dall'alto verso il basso, realizzando gradoni discendenti raggiungibili con apposite strade o rampe percorribili con mezzi cigolati o gommati;
- Nel caso in cui le giaciture di strato siano a franapoggio con inclinazione maggiore di 35° le scarpate dei gradoni possono coincidere con le superfici di strato;
- La scelta di gradoni con altezze superiori a 15 m devono essere corredate da uno studio di dettaglio sullo stato di fessurazione della roccia;
- Se la giacitura degli strati o delle superfici di discontinuità si presenta a franapoggio con inclinazione inferiore a 35°, circa, ma con presenza di giunti e interstrati argillosi, l'inclinazione delle scarpate non deve superare quella degli strati o delle superfici di discontinuità. Il rapporto minimo da considerare tra alzate e pedata in relazione al profilo finale di abbandono è di 2 su 5;
- In alcuni casi è possibile prevedere di ricorrere a delle non tecniche specifiche (sola azione naturale dei fattori climatici) per il recupero degli scenari visivi della cave della pietra ornamentale bresciana e ciò non tanto per evitare dispendiosi interventi di mitigazione percettiva o di recupero boschivo forzato, ma per evitare pratiche di mascheramento goffo;
- Prevedere una regimazione idraulica differenziata:
  - Zone culminanti e a mezza costa: prevedere sulle pedate in contropendenza verso monte, canalette che recapitino con pendenze opportune verso colatoi sub verticali per la discesa da gradone a gradone, poi verso canalette al piede della zona gradonata al limite dei piazzali, per poi recapitare o negli impluvi naturali regimati di cui si è fatto cenno, o in zone depresse di espansione e accumulo sui piazzali;
  - Zone pianeggianti: ove possibile si realizzano reti di raccolta dimensionate con tempi di ritorno almeno decennali degli eventi meteorici e recapitate poi nei corsi d'acqua costituenti gli impluvi naturali con sezioni idrauliche dimensionate a loro volta con tempi di ritorno adeguatamente superiori.

## Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.1.

## SCHEDA OPERATIVA 2

### Ricostruzione pedologica e miglioramento del substrato

#### Scopo

Creare delle condizioni pedologiche idonee per accelerare lo sviluppo della comunità vegetale, riattivare l'attività biologica ed isolare elementi tossici eventualmente presenti nell'area da recuperare.

#### Criticità

- Usare materiale di provenienza nota, privo di sostanze fitotossiche e preferibilmente già pedogenizzato;
- Evitare di utilizzare materiale con caratteristiche chimico-fisiche molto diverse da quelle dei suoli presenti localmente che potrebbe portare alla distorsione della successione vegetazionale;
- Garantire una profondità del substrato sufficiente per l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione;
- Evitare un apporto eccessivo di ammendanti e fertilizzanti che potrebbero comportare un aumento della mobilità di elementi tossici, una possibile contaminazione della falda acquifera sottostante, nonché favorire lo sviluppo di specie e comunità vegetali alloctone e ruderali;
- Nel caso in cui siano utilizzati fertilizzanti minerali, prestare attenzione alla loro miscibilità.



Figura S2 Preparazione del substrato mediante rimozione di massi e blocchi rocciosi dal terreno di riporto. Foto F. Gilardelli

## Metodi e Materiali

- Conservazione in aree idonee all'interno dell'area estrattiva (es. aree non interessate dall'estrazione, da fenomeni franosi e/o erosivi) del materiale che viene rimosso durante l'apertura o l'espansione delle cave (es. "cappellaccio"); ogni strato pedologico dovrebbe essere adeguatamente conservato in cumuli differenziati e reimpiegato nel più breve tempo possibile;
- Analisi pedologiche sul materiale da utilizzare nella rinaturazione per definirne le caratteristiche fisiche (es. scheletro, tessitura) e chimiche (es. disponibilità di nutrienti, contenuto di sostanza organica);
- Riporto del materiale per uno spessore minimo di 30-50 cm, riproponendo, nel caso di utilizzo di materiale pedogenizzato, la corretta sequenza degli strati pedologici;
- Lavorazioni meccaniche per migliorare le caratteristiche fisiche del substrato;
- Apporto di sostanza organica tramite l'uso di ammendanti preferibilmente organici (es. letame maturo, pollina, paglia);
- Incremento della disponibilità di nutrienti tramite l'apporto di concimi di origine organica (es. guano, farina di carne) o minerale (es. nitrato ammonico, solfato ammonico);
- Se necessario, correzione del pH;
- Trattamenti per favorire l'attività biologica del suolo (es. inoculi di micorrize, traslocazione dei primi strati del profilo pedologico).

## Indicazioni per le cave del Botticino

Interventi minimi consigliati nel caso in cui sia utilizzato materiale non pedogenizzato.

- Riportare il materiale per uno spessore minimo di 50 cm e rimodellare in modo da ottenere una superficie abbastanza omogenea;
- Dopo le prime piogge dal riporto, effettuare delle lavorazioni meccaniche superficiali tramite macchine operatrici leggere e manualmente in modo da rimuovere i soli massi di dimensioni maggiori e mantenere una buona pietrosità che consenta di limitare lo stress idrico;
- Non livellare ulteriormente la superficie in modo da mantenere una certa eterogeneità in superficie e creare microhabitat idonei alla germinazione ed allo sviluppo della vegetazione;
- Non sono consigliati interventi di correzione del pH, dal momento che la causa del pH elevato è da ricercare nella roccia madre;
- Limitare l'utilizzo di fertilizzanti ed ammendanti in modo da minimizzare il rischio di contaminazione della falda idrica; l'impiego di ammendanti e fertilizzanti può essere limitato alla sola idrosemina.

### Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.2.

## SCHEDA OPERATIVA 3

### Selezione delle specie vegetali e delle fitocenosi

#### Scopo

Selezionare specie vegetali e fitocenosi da utilizzare nella rinaturazione coerenti con le potenzialità del contesto ambientale in cui si trova la cava ed in grado di sopravvivere ed adattarsi alle condizioni locali, favorendo la ripresa spontanea della vegetazione naturale.

#### Criticità

- Non selezionare specie esotiche, a maggior ragione se considerate molto invasive;
- Selezionare specie autoctone e locali, già adattate alle condizioni locali (es. clima, suolo) e con elevata resistenza o resilienza ai cambiamenti ambientali;
- Per ogni superficie geomorfologica, selezionare specie adattate ai diversi fattori ambientali limitanti;
- Privilegiare le specie con elevate capacità riproduttive (es. elevata germinabilità, riproduzione anche per via agamica) e buone caratteristiche biotecniche (es. elevata produzione di biomassa);
- Se possibile, prediligere l'uso delle specie tipiche delle fasi avanzate delle successioni vegetazionali locali, usando, come modello, le fitocenosi presenti nel contesto in cui la cava da recuperare è inserita;
- Utilizzare materiale vegetale (es. germoplasma/semi, fiorume, plantule, talee) di provenienza autoctona e preferibilmente locale, nonché con buona variabilità genetica, per evitare l'inquinamento genetico delle popolazioni locali.



Figura S3 Esempio di fitocenosi boschive (a sinistra) e prative (a destra) prese come modello per la selezione di specie idonee all'utilizzo negli interventi di rinaturazione. Foto: R. Gentili

## Metodi e Materiali

- Definizione delle condizioni stazionali dell'area da recuperare;
- Studio floristico-vegetazionale (ecologico-naturalistico) all'interno delle aree estrattive e nelle aree (semi)naturali circostanti;
- Studio sull'autoecologia delle specie (es. tramite indici di Ellenberg o Landolt);
- Selezione delle specie autoctone più idonee a ricreare le potenzialità di vegetazione naturale, a seconda della superficie geomorfologica da recuperare (accumuli, rupi artificiali, piazzali);
- Eventuali test di germinazione preliminari sulle principali specie selezionate, preferibilmente in campo (soprattutto per le specie erbacee);
- Eventuali analisi genetiche sul materiale da utilizzare (soprattutto per le specie arboreo-arbustive o per le specie rare che si intende reintrodurre);
- Uso di materiale vegetale autoctono certificato; per il reperimento del materiale e per consulenze è possibile contattare:
  - 1) Centro Flora Autoctona della Regione Lombardia; Via Bertarelli 11, 23851 Galbiate (LC);
  - 2) Centro Vivaistico Forestale Regionale ERSAF di Curno; via Galilei 2, 24035 Curno (BG);
  - 3) Laboratorio di Biologia Vegetale (BIOVEG) del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio e di Scienze della Terra - Università degli Studi di Milano Bicocca; Piazza della Scienza 1, 20126 Milano (MI).

## Indicazioni per le cave del Botticino

Fitocenosi modello e specie da utilizzare nei ripristini.

### **Fitocenosi modello:**

vegetazione boschiva: 1) orno-ostrieto, 2) ostrio-querceto e querceto termofilo di roverella, 3) carpineto a *Carpinus betulus* (in aree pianeggianti interessate da fenomeni carsici); vegetazione arbustiva: 1) arbusteti termo-xerofili tipici di un substrato calcareo, 2) arbusteti termo-eliofili; vegetazione erbacea: 1) *Mesobromion*, 2) *Xerobromion*.

### **Specie arboree principali:**

*Acer campestre*, *Fraxinus excelsior*, *F. ornus*, *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*, *Prunus mahaleb*, *Sorbus aria*, *S. torminalis*

### **Specie arbustive principali:**

*Amelanchier ovalis*, *Berberis vulgaris*, *Cornus sanguinea*, *Coronilla emerus*, *Corylus avellana*, *Cotinus coggyria*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Frangula alnus*, *Juniperus communis*, *Ligustrum vulgare*, *Rosa spp.*, *Salix caprea*, *Spartium junceum*, *Viburnum lantana*, *V. opulus*

### **Specie erbacee principali:**

*Achillea millefolium*, *Anthoxanthum odoratum*, *Anthyllis vulneraria*, *Arrhenatherum elatius*, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus*, *Dactylis glomerata*, *Daucus carota*, *Dianthus carthusianorum*, *Festuca pratensis*, *Galium mollugo*, *Globularia nudicaulis*, *Helianthemum nummularium*, *Holcus lanatus*, *Linaria vulgaris*, *Lolium perenne*, *Lotus corniculatus*, *Malva sylvestris*, *Melilotus alba*, *M. officinalis*, *Phleum pratense*, *Plantago lanceolata*, *Poa pratensis*, *Polygala chamaebuxus*, *Salvia pratensis*, *Sesleria varia*, *Silene vulgaris*, *Teucrium chamaedrys*, *Trifolium hybridum*, *T. pratense*, *T. repens*

## Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.4.

## SCHEDA OPERATIVA 4

### Impianto della vegetazione

#### Scopo

Ricreare delle “unità ecologiche” autosufficienti, in grado di evolversi senza richiedere un’eccessiva manutenzione, che possano costituire a larga scala un mosaico ben inserito e connesso con la rete ecologica locale ed il paesaggio circostante (anche nei suoi caratteri storici e culturali).

#### Criticità

- Evitare di creare ambienti artificiali avulsi dal paesaggio circostante;
- Evitare di creare habitat troppo monotoni e non idonei ad ospitare la comunità animale;
- Creare aree omogenee (es. zone boscate, zone prative) di dimensioni adeguate, con struttura il più possibile naturaliforme, caratterizzata da un’elevata integrazione fisiologica e spaziale degli individui vegetali (es. variando l’età del materiale per ottenere una stratificazione verticale) e contorni irregolari in modo da ospitare sia la fauna che evita gli ambienti ecotonali, sia quella tipica di tali ambienti;
- Selezionare una densità di impianto adeguata, in modo da evitare di creare una copertura delle specie arboreo-arbustive troppo elevata con uno strato erbaceo non ben strutturato (con una minor efficacia dell’impianto da fenomeni erosivi); d’altro canto, si dovrebbe evitare di creare uno strato erbaceo monotono, denso e compatto e costituito da poche erbe dominanti (che potrebbe deviare o arrestare la successione a lungo termine).



Figura S4 Creazione di habitat prativi autosufficienti connessi al paesaggio circostante. Foto: F. Gilardelli

## Metodi e Materiali

- Analisi del paesaggio locale (es. ecomosaico, unità di paesaggio, dinamismi in atto, bacino visuale);
- Studio floristico-vegetazionale delle comunità vegetali (semi)naturali presenti nei dintorni delle cave, per definire i rapporti quantitativi tra le specie da usare nella rinaturazione (es. definizione delle specie dominanti, accompagnatrici e sporadiche), al fine di raggiungere un buon livello di biodiversità, migliorare le condizioni ambientali (es. caratteristiche pedologiche) e le funzioni ecosistemiche e creare habitat idonei per la fauna selvatica;
- Utilizzare diverse modalità di piantagione delle specie arboree ed arbustive (es. a elementi isolati, lineare, in blocco, sistema di tracciamento regolare, sinusoidale, a macchie seriali)

## Indicazioni per le cave del Botticino:

Modulo di impianto a “macchie seriali”.

Il modulo d’impianto a “macchie seriali” imita le dinamiche naturali di rimboschimento, consentendo di accelerare la ricolonizzazione e minimizzare gli interventi successivi. All’interno di una matrice prativa sono inserite delle macchie boschive ovali, con un nucleo centrale (“testa della serie”) di specie prettamente arboree caratteristiche degli stadi finali della successione locale. Procedendo verso l’esterno della macchia, le fasce sono costituite da vegetazione sempre meno evoluta (specie arbustive) fino a raggiungere gli stadi pionieri ecotonali (“base della serie”) a contatto con la matrice.

### Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.5.

## SCHEDA OPERATIVA 5

### Messa a dimora di alberi ed arbusti

#### Scopo

Messa a dimora di alberi ed arbusti autoctoni nelle aree di cava in cui è previsto il ripristino di aree arbustate e/o boscate, garantendone l'attecchimento e la sopravvivenza a lungo termine.

#### Criticità

- Evitare l'utilizzo di materiale vegetale non autoctono;
- Usare materiale di buona qualità (es. rapporto equilibrato tra la parte epigea ed ipogea, abbondante capillizio) ed in buono stato di conservazione (es. privo di ferite, cicatrici e parassiti);
- Usare plantule di 1-3 anni, in modo da evitare problemi legati alla germinazione dei semi o un eccessivo stress da impianto per gli individui più maturi;
- Prestare attenzione durante il trasporto del materiale, in modo da evitare possibili danneggiamenti (es. mutilazioni, disseccamenti);
- Limitare la mortalità degli individui tramite l'utilizzo di tecniche adeguate e del periodo migliore per la messa a dimora e degli interventi successivi (es. irrigazione);
- In previsione di un elevato numero di fallanze, usare una densità di piantagione maggiore rispetto a quella di riferimento (es. anche aumentata del 50%), prevedendo eventuali diradamenti negli anni successivi all'impianto;
- Evitare la creazione di modelli vegetazionali troppo artificiali, ossia con distribuzione degli individui arboreo-arbustivi non naturaliforme.



Figura S5 Plantule di specie arboree ed arbustive certificate (provenienti dal vivaio ERSAF di Curno, BG) utilizzate per l'impianto della vegetazione. Foto: R. Gentili

## Metodi e Materiali

- Previsione, se necessario, di un periodo di acclimatamento delle piante nell'area da recuperare;
- Rimozione di eventuali ostacoli al radicamento (es. massi di notevoli dimensioni);
- Scavo di fessure e/o buche di dimensioni idonee per la messa a dimora delle pianticelle (25x25x25 cm per piante di 1-2 anni, 40x40x40 cm per piante di più di 2 anni), con un sesto d'impianto tale da permettere il passaggio dei macchinari per la fase di manutenzione (es. 3x2m, 3x3m o 4x3m) e il più prossimo possibile a condizioni naturali;
- Rimozione di tutti i materiali non biodegradabili (es. vasi delle piante in contenitore) e delle parti danneggiate delle piante (es. parti disseccate);
- Messa a dimora delle plantule verticalmente al centro delle buche, orientate in modo da ottenere il miglior risultato tecnico ed estetico, con le radici ben distese ed il colletto a livello del terreno o poco più basso (1-2 cm) per evitare che le piantine marciscano o siano sradicate;
- Utilizzo di "protezioni individuali" quali biodischi e shelter per limitare la competizione con lo strato erbaceo ed il disturbo da parte della comunità animale;
- Irrigazione iniziale subito dopo la messa a dimora delle piante e successive irrigazioni "di soccorso" per i primi anni dopo l'impianto, con cadenza da prevedere, in relazione all'andamento meteo stagionale.

## Indicazioni per le cave del Botticino:

Indicazioni per contrastare lo stress idrico ed eventuali condizioni di aridità estrema nelle cave di calcare.

### ***Specie:***

è preferibile utilizzare una maggior numero di specie arbustive, più resistenti nel sopportare stress idrico.

### ***Periodo ideale per la messa a dimora:***

è preferibile il trapianto autunnale, che è consigliato in aree con estati caratterizzate da possibili carenze di acqua nel suolo per le scarse precipitazioni, anche considerata la necessità di limitare le irrigazioni per contenere i costi del recupero. Inoltre, l'autunno sarebbe comunque da preferire se è previsto l'uso di piante a radice nuda, per aumentarne le probabilità di sopravvivenza consentendo l'attivazione del sistema radicale prima del risveglio primaverile della pianta.

### ***Irrigazioni di soccorso:***

sono da prevedere, almeno nella stagione tardo primaverile ed estiva, durante il primo e secondo anno dopo l'impianto. La periodicità delle irrigazioni varia in funzione del costo economico degli interventi.

## **Approfondimento**

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.5.

## SCHEMA OPERATIVA 6

### Raccolta, caratterizzazione ed idrosemina del fiorume

#### Scopo

Messa a dimora di vegetazione erbacea autoctona per ricreare prati aridi con buoni livelli di biodiversità vegetale (e animale) ed un'adeguata copertura in grado di contrastare i fenomeni di erosione del suolo e mitigare l'impatto visivo dell'area estrattiva.

#### Criticità

- Se possibile, selezionare il prato donatore di fiorume il più prossimo possibile all'area di intervento;
- Selezionare il periodo e le specie guida più opportune per la raccolta del fiorume in modo da massimizzare la presenza di semi maturi ed il numero di specie durante lo sfalcio;
- Selezionare il periodo più opportuno per la semina, preferendo una semina autunnale per ovviare a problemi legati alla presenza di estati caratterizzate da periodi prolungati privi di precipitazioni;
- Selezionare un'idonea densità di semina in modo da evitare di creare uno strato erbaceo troppo denso e compatto che generi una forte competizione con le plantule di alberi ed arbusti; d'altro canto, si dovrebbe evitare di creare uno strato troppo diradato, che non sarebbe efficace nel limitare l'invasione di specie esotiche e ruderali, dannose per la salute umana (allergie) e per gli equilibri ecologici, quali, per esempio: *Ambrosia artemisiifolia*, *Buddleja davidii* e *Senecio inaequidens*.



Figura S6 Raccolta di fiorume autoctono da prato donatore con metodo semi-manuale. Foto: F. Gilardelli

## Metodi e Materiali

- Individuazione del prato donatore;
- Caratterizzazione del prato donatore tramite rilievi floristico-vegetazionali;
- Analisi di laboratorio per determinare la purezza del fiorume, il contenuto di semi ed il tasso di germinazione;
- Calcolo della densità di semina ottimale al fine di raggiungere al massimo 8000 plantule al m<sup>2</sup>;
- Spezzettamento del fiorume in modo da ottenere frammenti vegetali di dimensioni idonee da essere utilizzati nell'idroseminatrice;
- Composizione del miscuglio per l'idrosemina, composto da acqua, fiorume, ammendanti e fertilizzanti opportunamente selezionati in base alle condizionali stagionali locali, sementi di specie arboree arbustive (se possibile);
- Idrosemina del miscuglio composto;
- Irrigazione iniziale subito dopo la messa a dimora delle piante e successive irrigazioni "di soccorso" per i primi anni dopo l'impianto, con cadenza da prevedere in relazione all'andamento meteo stagionale.

## Indicazioni per le cave del Botticino:

Possibili alternative da attuare nel caso in cui l'idrosemina di fiorume sia associata alla messa a dimora di alberi e arbusti.

Per limitare la possibile competizione tra lo strato erbaceo e gli individui arboreo-arbustivi piantati con conseguente aumento della mortalità di quest'ultimi, è consigliabile utilizzare una densità di semina di fiorume minore rispetto a quella considerata ottimale (es. anche la metà). Inoltre è preferibile:

- effettuare l'idrosemina del fiorume e la messa a dimora di alberi ed arbusti in tempi differenti: a) prima seminando il fiorume e b) poi mettendo a dimora le specie arboreo-arbustive, dopo almeno un anno;
- effettuare l'idrosemina del fiorume e la messa a dimora di alberi ed arbusti contemporaneamente ma con una densità di semina del fiorume minore rispetto a quella considerata ottimale (es. anche la metà), conservando parte del fiorume in locali idonei; l'anno dopo l'impianto, prevedere, oltre all'eventuale recupero delle fallanze, la trasemina del fiorume.

In entrambi i casi sono necessari sistemi di protezione individuale (es. biodischi e shelter) per gli alberi ed arbusti messi a dimora.

## Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.4.

## SCHEDA OPERATIVA 7

### Idrosemina di sementi certificate

#### Scopo

Messa a dimora di vegetazione erbacea autoctona per ricreare prati aridi con buoni livelli di biodiversità vegetale (e animale) ed un'adeguata copertura in grado di contrastare i fenomeni di erosione del suolo e mitigare l'impatto visivo dell'area estrattiva.

#### Criticità

- Utilizzare materiale certificato e di provenienza nota ed il più prossimi possibile all'area di intervento;
- Selezionare il periodo più opportuno per la semina, preferendo una semina autunnale per ovviare a problemi legati alla presenza di estati caratterizzate da periodi prolungati privi di precipitazioni;
- Selezionare un'idonea densità di semina in modo da evitare di creare uno strato erbaceo troppo denso e compatto che generi una forte competizione con le plantule di alberi ed arbusti; d'altro canto, si dovrebbe evitare di creare uno strato troppo diradato, che non sarebbe efficace nel limitare l'invasione di specie esotiche e ruderali, dannose per la salute umana (allergie) e per gli equilibri ecologici, quali, per esempio: *Ambrosia artemisiifolia*, *Buddleja davidii* e *Senecio inaequidens*.

#### Metodi e Materiali

- Identificare ditte specializzate nella produzione e commercializzazione di sementi certificate preferibilmente autoctone oppure provenienti da ambienti naturali il più prossimo possibile ai siti di rinaturazione. Per il reperimento del materiale e consulenze specialistiche vedi scheda n° 3).
- Calcolo della densità di semina ottimale al fine di raggiungere al massimo 8000 plantule al m<sup>2</sup>;
- Composizione del miscuglio per l'idrosemina, composto da acqua, sementi, ammendanti e fertilizzanti opportunamente selezionati in base alle condizionali stagionali locali, sementi di specie arboree arbustive (se possibile);
- Idrosemina del miscuglio composto;
- Irrigazione iniziale subito dopo la messa a dimora delle piante e successive irrigazioni "di soccorso" per i primi anni dopo l'impianto, con cadenza da prevedere in relazione all'andamento meteo stagionale.

#### Indicazioni per le cave del Botticino:

Possibili alternative da attuare nel caso in cui l'idrosemina di sementi certificate sia associata alla messa a dimora di alberi e arbusti: vedi scheda n° 6.

#### Approfondimento

Confronta paragrafi 3.3.1 e 4.4.



Figura S7 A sinistra operatore durante fasi di idrosemina di sementi certificate; a destra particolare di terrazzo idroseminato; in evidenza la coltre di mulch (in verde scuro), in fibre di cellulosa, fondamentale per trattenere l'umidità e quindi favorire le prime fasi di sviluppo dei semi. Foto: V. Vlaykova, F. Tecchio

## SCHEDA OPERATIVA 8

### Monitoraggio

#### Scopo

- Registrare gli effetti a breve e medio/lungo termine delle procedure e delle tecniche di rinaturazione usate, nonché eventuali variazioni delle condizioni stazionali, individuando le situazioni che richiedono interventi correttivi;
- Verificare il grado di raggiungimento progressivo degli obiettivi del recupero, identificando le situazioni in cui sia raggiunta una fase di pregio naturalistico in equilibrio dinamico con l'ambiente circostante e per la quale non siano necessarie ulteriori manipolazioni.

#### Criticità

- Utilizzo di protocollo di monitoraggio e raccolta dati comunemente riconosciuti;
- Valutare gli effetti della rinaturazione in merito alla mitigazione degli impatti legati all'attività estrattiva (es. stabilità dei versanti e del suolo riportato, mitigazione visiva sul paesaggio);
- Monitorare l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione impiantata (es. mortalità e condizioni sanitarie di alberi ed arbusti, copertura vegetale, ricchezza floristica, tasso di crescita, parametri fotosintetici, produttività e biomassa vegetale, capacità delle piante di auto-propagarsi senza apporti esterni aggiuntivi, germinazione);
- Verificare l'efficacia del contenimento di specie esotiche invasive e ruderali;
- Controllare la colonizzazione dell'habitat ricreato da parte della comunità animale;



#### Metodi e Materiali

- Sopralluoghi periodici per un arco temporale di almeno 5 anni, con cadenza perlomeno semestrale per i primi due anni e in seguito annuali;
- Raccolta di dati ambientali (es. stabilità dei versanti);
- Analisi pedologiche;
- Rilievi floristico-vegetazionali;
- Rilievi faunistici.

#### Indicazioni per le cave del Botticino:

Esempio di scheda per il monitoraggio dei recuperi naturalistici nelle cave del Botticino.

#### Approfondimento

Confronta paragrafo 5.1.

*Figura S8 Operatore tecnico-scientifico durante fasi di monitoraggio in cava. Foto: R. Gentili*





## SCHEDA OPERATIVA 9

### Interventi correttivi

#### Scopo

Favorire l'attecchimento definitivo delle specie impiantate e lo sviluppo della vegetazione nonostante i fattori ambientali limitanti e/o eventi stocastici (es. frane, eventi climatici estremi), rendere l'impianto autonomo, creare una riserva minerale ed organica sufficiente, riavviare i cicli biologici ed indirizzare la ricolonizzazione verso l'obiettivo del recupero.

#### Criticità

- Garantire la stabilità e la messa in sicurezza dei versanti e del suolo;
- Limitare l'invasione di specie esotiche e ruderali che potenzialmente potrebbero invadere l'impianto, sia direttamente (es. sfalci) sia indirettamente (es. modifica della semina dello strato erbaceo);
- Limitare la competizione tra lo strato erbaceo e quello arboreo-arbustivo con sofferenza da parte di quest'ultimo;
- Garantire l'attecchimento della vegetazione nel medio/lungo periodo.

#### Metodi e Materiali

- Irrigazioni di soccorso;
- Controllo delle specie indesiderate;
- Decespugliamento in caso di invasione di specie invasive quali rovo (*Rubus* spp.) e robinia (*Robinia pseudo-acacia*);
- Risemine e trasemine, in aree dove la semina non ha dato risultati soddisfacenti e/o su pendii e scarpate soggetti a fenomeni erosivi;
- Sfalcio (uno o più all'anno);
- Risarcimenti per la sostituzione delle fallanze.



#### Indicazioni per le cave del Botticino

Per l'idrosemina associata a piantagione di alberi e arbusti vedi indicazioni della scheda n° 6.

#### Approfondimento

Confronta paragrafo 5.1.

Figura S9 Intervento di risemina di fiorume mediante spaglio manuale. Foto: R. Gentili



## Appendice

### **Le regole per le cave: l'attività estrattiva tra produzione, pianificazione territoriale e tutela ambientale** (a cura di Pierangelo Barossi)

Non è possibile tentare una lettura dell'attuale contesto in cui si svolge l'attività estrattiva se non considerando, seppur sommariamente, l'orizzonte normativo che storicamente l'ha connotata e l'evoluzione che l'ha caratterizzata in particolare nell'ultimo trentennio.

La vicenda dell'attività di estrazione dei materiali di cava si dipana secondo percorsi inizialmente connotati solo sotto il profilo della produzione industriale, profilo che solo recentemente si è intersecato (e, ancora più recentemente, fuso) con l'attività di programmazione e pianificazione del territorio e con la disciplina in materia di tutela ambientale (anche di derivazione comunitaria) nel frattempo introdotta nel nostro ordinamento.

Risale al 1927 (Regio Decreto 29 luglio 1927, n. 1443) la disciplina (1), ancora vigente, che regola la ricerca e la "coltivazione" delle miniere. È il provvedimento che distingue "le coltivazioni di sostanze minerali" nelle due categorie della miniera e della cava, in cui ancora oggi risultano suddivise ed alle quali è associato da una parte il regime della concessione e dall'altra quello dell'autorizzazione. I materiali "poveri" che soggiacciono alla disciplina della cava (tra i quali le pietre ornamentali del bacino del Botticino) sono lasciati nella "disponibilità del proprietario del suolo": il loro sfruttamento avviene per decenni senza particolari vincoli o oneri legati alle attività che oggi consideriamo invece intimamente connesse del recupero o riutilizzo delle aree nelle quali l'attività viene dismessa.

In tempi recenti, e con la maturazione di una più diffusa coscienza ambientale, si è fortemente evidenziata la contrapposizione tra l'interesse alla programmazione del territorio ed alla tutela dell'ambiente e quello alla produzione di beni fondamentali per l'economia quali i materiali di cava (quest'ultimo complicato dal fatto che, a differenza di altri settori produttivi, tali materiali sono una risorsa non rinnovabile e sono localizzati solo laddove la storia geologica locale li ha collocati).

È con l'avvento delle Regioni che si assiste al proliferare di iniziative di legge per imporre la programmazione nel comparto estrattivo, nel tentativo, condotto attraverso i Piani delle cave introdotti già verso la metà degli anni '70, di trovare una possibile composizione di tali diversi interessi. La Regione Lombardia emana un primo provvedimento per disciplinare la coltivazione delle cave (la legge regionale 14 giugno 1975 n. 92) che prevede la redazione di tale strumento su base provinciale ed introduce il regime dell'autorizzazione per la conduzione dell'attività estrattiva: la previsione rimane però inattuata.

Solo con il trasferimento alle Regioni delle funzioni amministrative in materia di cave e torbiere (operato attraverso il d.P.R. 24 luglio 1977 n. 616) prende davvero forma la regolamentazione e programmazione delle cave attraverso la disciplina regionale della materia: il trasferimento, avvenuto nella totale assenza di indirizzi statali verso la normazione regionale produce, tra l'altro, un mosaico di differenti discipline le cui tessere corrispondono a ciascuna delle 20 regioni italiane oltre alle varianti provinciali di Trento e Bolzano. Così, sostanzialmente fino all'inizio degli anni '80 del secolo scorso le modalità di assenso per la conduzione dell'attività di cava si sono confrontate esclusivamente, da un lato con

la disciplina tesa a tutelare la sicurezza sui luoghi di lavoro e quella dei manufatti quali strade, ferrovie, canali ed edifici **(2)** attraverso il controllo preventivo delle distanze minime da tenersi dagli scavi previsto dal d.P.R. n. 128/59 e dall'altro (ma solo per quei terreni che ne risultavano eventualmente gravati) con le norme del R.D.L. 30 dicembre 1923 n. 3267 in materia di vincolo idrogeologico a preservazione del suolo **(3)** per impedirne forme di utilizzazione che potessero determinarne denudazione, innesco di fenomeni erosivi, perdita di stabilità, turbamento del regime delle acque.

Del 1982 è la legge regionale lombarda n. 18 che definisce il sistema di ripartizione delle competenze tra Regione (indirizzo, coordinamento ed approvazione dei piani), Provincia (formazione dei piani e rilascio delle autorizzazioni) e Comune (attività di vigilanza e controllo) secondo l'impianto sostanzialmente ancora tutt'oggi vigente.

Il primo piano provinciale delle cave redatto sulla scorta di tale disciplina è approvato nel 1990: la stessa Regione Lombardia nelle premesse dell'atto di approvazione ben sintetizza lo sforzo che era stato posto alla base del progetto di piano qualificandolo come *"...primo programma di razionalizzazione delle attività estrattive sul territorio, conseguente alla gestione regionale della fase transitoria introdotta dalla L.R. n. 18/82 che ha prodotto una radicale inversione della tendenza nel settore"*.

Ma l'entrata in vigore della legge n. 431 del 08.08.1985 (c.d. legge Galasso) dà il via alla nuova stagione della pianificazione e del controllo paesaggistico del territorio con l'apposizione ope legis del vincolo paesaggistico-ambientale su vaste porzioni territoriali individuate per morfologia e tipologia: tra queste i boschi, i corsi d'acqua e le relative sponde, ma anche i territori soggetti ad uso civico, interessano direttamente le aree estrattive del bacino del Botticino. La normativa paesaggistica **(4)**, oggi riunita nel *Codice dei Beni culturali e del Paesaggio* (d.lgs. 22.01.2004 n. 42 e s.m.i.), incide sia sulla formazione dei piani delle cave (attraverso la necessaria verifica della compatibilità con le previsioni di tutela del Piano Paesaggistico) sia sul controllo preventivo dei progetti di cava e di recupero operato anche con l'intervento della Soprintendenza che si esprime con un proprio parere vincolante sul rilascio della relativa autorizzazione.

Nel 1989 la Legge n. 183 recante "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" **(5)**, istituisce le Autorità di bacino per i bacini idrografici di rilievo nazionale quali quello del fiume Po. Il principale strumento di pianificazione e programmazione dell'Autorità è costituito dal Piano di bacino idrografico: piano territoriale di settore e strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale vengono pianificate e programmate le attività e le norme d'uso.

Le disposizioni del Piano hanno carattere immediatamente vincolante per le amministrazioni e gli enti pubblici e per i soggetti privati. La normativa in materia di difesa del suolo oggi riunita nella parte II del Codice dell'Ambiente (d.lgs. 22.01.2004 n. 152 e s.m.i.), incide sulla formazione dei piani delle cave attraverso la preventiva verifica della compatibilità delle previsioni estrattive con la disciplina del Piano di Bacino.

Alle norme in materia di tutela del paesaggio si sovrappone la disciplina prevista per le Aree protette **(6)** nazionali (legge 6 dicembre 1991, n. 394 “*Legge quadro sulle aree protette*”) e regionali (legge regionale 30 novembre 1983, n. 86 “*Piano regionale delle aree regionali protette. Norme per l’istituzione e la gestione delle riserve, dei parchi e dei monumenti naturali nonché delle aree di particolare rilevanza naturale e ambientale*”) secondo modalità diversificate in funzione del rango di tutela di ciascuna area.

La normativa in materia di Aree protette rileva sulla formazione dei piani delle cave sia attraverso la necessità di verificare la compatibilità delle sue previsioni con quelle del Piano del Parco (nel caso di aree protette nazionali) sia attraverso l’acquisizione del parere tecnico dell’ente gestore (limitatamente alle opere di riassetto finale dell’area) in caso di aree protette regionali per le quali l’art. 10 della legge regionale n. 14/98 prevede espressamente la possibilità che il piano delle cave, in modo motivato ed espresso, apporti modifiche ai piani territoriali di coordinamento dei parchi già in vigore.

Dal 1996 **(7)** con la completa attuazione della direttiva comunitaria in materia di valutazione di impatto ambientale (d.P.R. 12 aprile 1996 “*Atto di indirizzo e coordinamento per l’attuazione dell’art. 40, comma 1, della L. 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale*”), le attività di cava iniziano a confrontarsi anche con tale nuova disciplina. La normativa in materia di valutazione ambientale di Piani e Programmi e dei Progetti oggi riunita nella parte II del Codice dell’Ambiente (d.lgs. 22.01.2004 n. 152 e s.m.i.), incide sia sulla formazione dei piani delle cave (attraverso la necessaria verifica della compatibilità delle previsioni di piano da operarsi mediante la Valutazione Ambientale Strategica (VAS) sia sul controllo preventivo dei progetti di cava e di recupero attraverso le procedure di Screening o di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA).

A far tempo dal 1997, **(8)** con l’emanazione del regolamento di attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali nonché della flora e della fauna selvatiche (d.P.R. 8 settembre 1997, n. 357) anche lo Stato italiano recepisce lo strumento della politica europea per la conservazione della biodiversità denominato “Natura 2000”: si tratta di una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell’Unione, istituita ai sensi della richiamata Direttiva (“Habitat”) con lo scopo di garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario. La rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC), successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC), e comprende anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS) istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE “Uccelli” concernente la conservazione degli uccelli selvatici. La normativa in materia di conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche (Rete Natura 2000), rileva sia sulla formazione dei piani delle cave attraverso la necessaria verifica della compatibilità di eventuali previsioni localizzative attraverso la Valutazione di Incidenza (VINCA) da svolgersi nell’ambito della VAS, sia sul controllo preventivo dei progetti di cava e di recupero attraverso le procedure della Valutazione di Incidenza dei progetti al fine di individuare e valutare i possibili impatti che la cava potrebbe generare sulle specie e sugli habitat dei siti localizzati nell’intorno della cava stessa.

Nel 1998 la disciplina regionale dell'attività estrattiva viene rinnovata con l'emanazione della legge regionale n. 14 del 08 agosto (*Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava*) che lascia sostanzialmente intatta l'articolazione delle competenze già delineate dalla legge regionale n. 18/82 ma introduce, quale elemento innovativo della pianificazione, l'ambito territoriale estrattivo (ATE) destinato a comprendere l'area prevista per la estrazione e lo sfruttamento del giacimento, l'area per impianti di lavorazione e trasformazione, l'area per strutture di servizio, l'area di stoccaggio e l'area circostante necessaria a garantire un corretto rapporto tra l'area di intervento e il territorio adiacente. Con l'introduzione di questo nuovo elemento l'attuazione del piano a livello di ogni singolo ATE viene gestita attraverso il progetto di gestione produttiva dell'ATE una sorta di piano attuativo di livello intermedio tra il piano stesso ed il progetto esecutivo di ogni singola area estrattiva.

#### **Principali riferimenti normativi**

Nell'elenco che segue, suddiviso per materie, sono riportate nell'ordine, le norme comunitarie di riferimento, quelle statali, quelle regionali e, ove pertinenti, i Piani di riferimento vigenti alla data del 30.06.2013. Non sono descritte le norme di riferimento degli eventuali ulteriori assenti ambientali (per esempio quelli relativi alle emissioni in atmosfera, agli scarichi idrici o le norme in materia di rumore) che costituiscono assenso ulteriore rispetto all'autorizzazione all'attività estrattiva.

## **(1) (2) Norme in materia di attività estrattiva.**

**Regio Decreto 29 luglio 1927, n. 1443** “Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere del Regno”;

**Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1977 n. 616** “Attuazione della delega di cui art. 1 della L. 22 luglio 1975 n. 382”;

**Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 117** “Attuazione della direttiva 2006/21/CE relativa alla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive e che modifica la direttiva 2004/35/CE”;

**Decreto Presidente della Repubblica 9 aprile 1959 n. 128** Norme di polizia delle miniere e delle cave”;

**Decreto legislativo 25 novembre 1996 n. 624** “Attuazione della direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee”;

**Decreto legislativo 9 aprile 2008 , n. 81** “Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;

**Legge Regionale 8 agosto 1998, n. 14** “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava.”

**Deliberazioni della Giunta regionale n. 8/11347 del 10/02/2010** “Revisione dei “Criteri e direttive per la formazione dei piani cave provinciali” di cui al 1° comma dell’art. 2 e al 1° comma dell’art. 5 della l.r. 14/1998”;

**Deliberazione Giunta Regionale 24 giugno 1999, n. 6/43831** “Approvazione dello schema tipo di convenzione di cui al 1° comma dell’art. 15 della L.R. 8 agosto 1998, n. 14 “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze di cava”;

**Deliberazione Giunta Regionale 25 gennaio 2002, n.7/7857** “Determinazione dei criteri e delle modalità per l’esercizio delle funzioni delegate di cui al 1° comma dell’art. 42 della l.r. 8 agosto 1998, n. 14 “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”.

**Deliberazione Giunta Regionale 21 dicembre 2001, n.7/7576** “Determinazione delle linee guida e dei criteri per l’ammissibilità dei progetti di recupero di siti degradati da cave cessate ai sensi dell’art. 39 l.r. 8 agosto 1998, n. 14 non ricomprese nei piani cave provinciali”;

**Deliberazione Giunta Regionale 16 settembre 2002, n. 7/10316** “Determinazione dei criteri di cui al 2° comma dell’art. 11 della l.r. 8

agosto 1998, n. 14 “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”, relativi al progetto degli ambiti territoriali estrattivi, in attuazione del comma 5-bis dell’art. 11 (Rif. Obiettivo Gestionale 9.8.2.1 del P.R.S.)”;

**Deliberazioni della Giunta regionale n. 7/15490 del 05/12/2003** “Determinazione dei criteri e delle procedure per il rilascio delle autorizzazioni al recupero dei materiali di risulta da attività estrattive posti a discarica, di cui all’art. 35 della l.r. 8 agosto 1998, n. 14 “ Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”;

**Deliberazione Giunta Regionale 22 dicembre 2011, n. IX/2752** “Revisione della normativa tecnica di riferimento per la formazione dei piani cave provinciali delle cave, ai sensi del terzo comma dell’art. 2 e del secondo comma, lettera g), dell’art. 6 della l.r. 8 agosto 1998, n. 14”.

**Piano delle cave della Provincia di Brescia-Settori argille, pietre ornamentali e calcari** (approvato con deliberazione del Consiglio regionale n. VI/120 del 21 dicembre 2000 del e variato con n. VIII/582 del 19/03/2008).

## **(3) Norme in materia di vincolo idrogeologico e forestale.**

**Regio decreto-legge 30 dicembre 1923, n. 3267** “Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani”;

**R.D. 16 maggio 1926, n. 1126** “Approvazione del regolamento per l’applicazione del R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267 concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani”;

**Decreto Legislativo 18 maggio 2001, n. 227** “Orientamento e modernizzazione del settore forestale, a norma dell’articolo 7 della legge 5 marzo 2001, n. 57”;

**Legge regionale n. 31 del 2008 del 5 dicembre 2008 e s.m.i.** “Testo unico delle leggi regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale” (Titolo IV);

**Deliberazione della Giunta Regionale n. 8/675 del 21 settembre 2005 e s.m.i.** “Criteri per la trasformazione del bosco e per i relativi interventi compensativi”;

**Piano di Indirizzo Forestale (PIF) della Provincia di Brescia** (Approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 26 del 20 aprile 2009).

**(4) Norme in materia di paesaggio.**

**Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e s.m.i.** “Codice dei beni culturali e del paesaggio”;

**D.P.R. 9 luglio 2010, n. 139** “Regolamento recante procedimento semplificato di autorizzazione paesaggistica per gli interventi di lieve entità, a norma dell’articolo 146, comma 9, del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, e successive modificazioni”;

**Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 dicembre 2005** “Individuazione della documentazione necessaria alla verifica della compatibilità paesaggistica degli interventi proposti, ai sensi dell’articolo 146, comma 3, del Codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42”;

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 e s.m.i.** “Legge per il governo del territorio” (Titolo V - Beni Paesaggistici);

**Deliberazione Giunta regionale 22 dicembre 2011 - n. IX/2727** “Criteri e procedure per l’esercizio delle funzioni amministrative in materia di beni paesaggistici in attuazione della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 - Contestuale revoca della d.g.r. 2121/2006”;

**Piano Paesaggistico Regionale** (approvato con deliberazione del Consiglio regionale 19 gennaio 2010, n. 951);

**Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale** (approvato con deliberazione del Consiglio Provinciale n. 22 del 21.04.2004).

**(5) Norme in materia di difesa del suolo.**

**Decreto legislativo 03.04.2006 n. 152 e s.m.i.** “Norme in materia ambientale” (Parte III);

**Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po-PAI** (Approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 24 maggio 2001)

**(6) Norme in materia di Aree protette**

**legge 6 dicembre 1991, n. 394** “Legge quadro sulle aree protette”;

**legge regionale 30 novembre 1983, n. 86** “Piano regionale delle aree regionali protette. Norme per l’ istituzione e la gestione delle

riserve, dei parchi e dei monumenti naturali nonché delle aree di particolare rilevanza naturale e ambientale”.

**(7) Norme in materia di Valutazione Ambientale di piani programmi e progetti.**

**Decreto legislativo 03.04.2006 n. 152 e s.m.i.** “Norme in materia ambientale” (Parte II);

**Legge regionale 2 febbraio 2010 n. 5 e s.m.i.** “Norme in materia di valutazione di impatto ambientale”;

**Regolamento regionale 21 novembre 2011 n. 5** “Attuazione della legge regionale 2 febbraio 2010, n.5 (Norme in materia di valutazione di impatto ambientale)”;

**Deliberazione della Giunta Regionale, 27 dicembre 2007, n. 6420** “Determinazione della procedura per la valutazione ambientale di piani e programmi”;

**Deliberazione della Giunta Regionale 18 aprile 2008, n. 7110** “Valutazione ambientale di piani e programmi VAS. Ulteriori adempimenti di disciplina in attuazione dell’art. 4 della legge regionale 11 Marzo n. 12, ‘Legge per il governo del territorio’ e degli ‘Indirizzi generali per la valutazione ambientale dei piani e programmi’ approvati con deliberazione del Consiglio Regionale 13 Marzo 2007, (Provvedimento n. 2)”;

**Deliberazione della Giunta Regionale, 28.11.2006 n. VIII/3667 e s.m.i.** “Determinazione in merito alle procedure previste dalla vigente normativa in materia della valutazione dell’impatto ambientale nell’ambito dei procedimenti autorizzativi connessi all’attività estrattiva di cava”;

**Deliberazioni della Giunta regionale n. 8/10964 del 30/12/2009** “Nuove determinazioni in materia di attività estrattive di cava, relativamente alle procedure per le verifiche di assoggettabilità a VIA di cave e torbiere, all’autorizzazione all’esercizio di cave per opere pubbliche e al funzionamento del Comitato tecnico consultivo per le attività estrattive”

**(8) Norme in materia di conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche (Rete Natura 2000).**

**Direttiva 92/43/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1992** (c.d. direttiva Habitat), relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, che prevede la

costituzione di una rete ecologica europea di zone speciali di conservazione (ZSC), denominata Natura 2000, comprendente anche le zone di protezione speciale (ZPS) classificate a norma della direttiva 79/409/CEE del Consiglio del 2 aprile 1979 (c.d. direttiva Uccelli), concernente la conservazione degli uccelli selvatici

**Decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357** "Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali nonché della flora e della fauna selvatiche" e s.m.i

**Decreto del Ministero dell'Ambiente del 3 settembre 2002**, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 224 del 24 settembre 2002, con il quale sono state dettate le linee guida per la gestione dei siti Natura 2000;

**Deliberazione della Giunta Regionale 8 agosto 2003, n. 7/14106** "Elenco dei proposti Siti di Importanza Comunitaria ai sensi della direttiva 92/43/CEE per la Lombardia, individuazione dei soggetti gestori e modalità procedurali per l'applicazione della valutazione d'incidenza. P.R.S. 9.5.7 - Obiettivo 9.5.7.2";

**Deliberazione della Giunta Regionale 30 luglio 2004, n. 18453**, con la quale sono stati individuati gli enti gestori dei SIC non ricadenti all'interno di aree protette e delle ZPS designate con il decreto del Ministero dell'ambiente 3 aprile 2000;

**Deliberazione della Giunta Regionale 15 ottobre 2004, n. 7/19018** "Procedure per l'applicazione della valutazione di incidenza alle Zone di Protezione Speciale (Z.P.S.) ai sensi della Dir. 79/409/CEE, contestuale presa d'atto dell'avvenuta classificazione di 14 Z.P.S. ed individuazione dei relativi soggetti gestori", con la quale si è altresì stabilito

che alle ZPS classificate si applichi la disciplina prevista dagli allegati B, C e D della deliberazione della giunta regionale 14106/2003;

**Deliberazione della Giunta Regionale 25 gennaio 2006, n.8/1791** "Rete Europea Natura 2000: individuazione degli enti gestori di 40 Zone di Protezione Speciale (ZPS) e delle misure di conservazione transitorie per le ZPS e definizione delle procedure per l'adozione e l'approvazione dei piani di gestione dei siti";

**Deliberazione della Giunta Regionale 18 luglio 2007 n. 8/5119** "Rete natura 2000: determinazioni relative all'avvenuta classificazione come ZPS nelle aree individuate come dd.gg.rr. 3624/06 e 4197/07 e individuazione dei relativi enti gestori";

**Deliberazione della Giunta Regionale 20 febbraio 2008 n. 8/6648** "Nuova classificazione delle Zone di Protezione Speciale (ZPS) e individuazione di relativi divieti, obblighi e attività in attuazione degli articoli 3,4,5 e 6 del d.m. 17 ottobre 2007 n. 184 "Criteri minimi uniformi per la definizione di misure di conservazione relative a Zone Speciali di Conservazione (ZCS) e a zone di Protezione Speciale (ZPS);

**Deliberazione della Giunta Regionale 30 luglio 2008 n. 8/7884** "Misure di conservazione per la tutela delle ZPS lombarde ai sensi del d.m. 17 ottobre 2007, n. 184 - Integrazione alla d.g.r. 6648/2008" e s.m.i.;

**Deliberazione della Giunta Regionale del 8 aprile 2009 n. 8/9275** "Determinazioni relative alle misure di conservazione per la tutela delle ZPS lombarde in attuazione della Direttiva 92/43/CEE e del D.P.R. 357/97 ed ai sensi degli articoli 3,4,5,6, del d.m. 17 ottobre 2007, n. 184 - Modificazioni alla d.g.r. n. 7884/2008";

## Bibliografia essenziale citata

### Capitolo 1

Baldiraghi R., Milanesi A., Allegrini A., Piccio A., Meisina C., Rossi G., Dominione V., Bogliani G., Gaiani G., Notti D., Fumagalli C., Mocchi F., Mondoni A. 2009. Linee guida per il recupero ambientale delle aree di cava in Provincia di Pavia. Provincia di Pavia, Settore Tutela Ambientale, Pavia 211 pagine

Carò F., Im S. 2012. Khmer sandstone quarries of Kulen Mountain and Koh Ker: a petrographic and geochemical study. *Journal of Archaeological Science* 39: 1455-1466

Gimblett H.R., Fitzgibbon J.E., Bechard K.P., Wightman J.A., Itami R.M. 1987. Procedure for assessing visual quality for landscape planning and management. *Environmental Management* Vol. 11 No. 3: 359-367

Hodačová D., Prach K. 2003. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation versus spontaneous revegetation. *Restoration Ecology* Vol. 11 No. 3: 385-391

Milgrom T. 2008. Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study- *Landscape and Urban Planning* 87: 172-179

Prach K. 2003. Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: what information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science* 6: 125-129

Prach K., Bartha S., Joyce C.B., Pyšek P., van Diggelen R., Wiegleb G. 2001. The role of spontaneous vegetation succession in ecosystem restoration: a perspective. *Applied Vegetation Science* 4: 111-114

Schultz F., Wiegleb G. 2000. Development options of natural habitats in a post-mining landscape. *Land Degradation & Development* 11: 99-110

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group 2004. The SER international primer on ecological restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson: Society for Ecological Restoration International

Tischew S., Kirmer A. 2007. Implementation of basic studies in the ecological restoration of surface-mined land. *Restoration Ecology* Vol. 15 No. 2: 321-325

Tropek R., Kadlec T., Karesova P., Spitzer L., Kocarek P., Malenovsky I., Banar P., Tuf I.H., Hejda M., Konvicka M. 2010. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* 47: 139-147

Wali M.K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195-220

### Capitolo 2

Andreis C., Sartori F. 2009. Sintassonomia dei boschi lombardi. *Natura Bresciana* 36: 173-178

Beluffi E., Bettinzoli M. 2010. Il museo diffuso del Botticino. Proposte per la valorizzazione di territorio, cultura e lavoro del bacino marmifero bresciano. Tesi di Laurea in Architettura degli Interni. Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura e Società. Relatore: Basso Peressut L., Correlatore: Sacchetti M.

Blasi C. (a cura di) 2010. La vegetazione d'Italia. Palombi and Partner Srl, Roma

Clerici A., Meda A. 2005. Confronto tra le caratteristiche meccaniche di diversi livelli di estrazione del Botticino Classico. *Giornale di Geologia Applicata* 2: 307-312

Deliberazione del Consiglio Regionale 21 dicembre 2000, n. VII/120 – Nuovo piano delle attività estrattive della Provincia di Brescia – Settori argille, pietre ornamentali e calcari, ai sensi dell'art. 8 della l.r. n. 14/98. *Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia* 20.03.2001, n. 12, 1° supplemento straordinario

Deliberazione Consiglio Regionale 19 marzo 2008, n. VIII/582 – Variazione e rettifica del vigente piano cave della Provincia di Brescia relativo ai settori merceologici argilla, pietre ornamentali e calcari, ai sensi della l.r. n. 14/1998. *Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia* 13 maggio 2008, n. 20, 1° supplemento straordinario

ERSAL 1997. I suoli dell'area morenica gardesana – settore bresciano SSR 23"1:25000

FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Gentili R., Sborbati S., Baroni C. 2011. Plant species patterns and restoration perspectives in the highly disturbed environment of the Carrara marble quarries (Apuan Alps, Italy). *Restoration Ecology* 19: 32-42.

Khater C., Arnaud M. 2007. Application of Restoration Ecology principles to the practice of limestone quarry rehabilitation in Lebanon. *Lebanese Science Journal* Vol. 8 No. 1: 19-28

Morelli C., 1997. Il Piano Territoriale Paesistico della Provincia di Brescia. Provincia di Brescia. Grafo

Rusterholz H.-P., Müller S.W., Baur B. 2004. Effects of rock climbing on plant communities on exposed limestone cliffs in the Swiss Jura mountains. *Applied Vegetation Science* 7: 35-40

Savoldi S., Agostini M., Lucchini F., Papa F., Quecchia G., Serena C., Bellini R., Gilardelli F., Motta M., Nicoli B., Testa R., Zola G. 2011a. S.I.A. di bacino. Bacino estrattivo delle pietre ornamentali e dei pietrischi. Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Comune di Botticino, Comune di Nuvolento, Comune di Nuvolera, Comune di Paitone, Comune di Serle

Savoldi S., Agostini M., Lucchini F., Papa F., Quecchia G., Serena C., Bellini R., Gilardelli F., Motta M., Nicoli B., Testa R., Zola G. 2011b. S.I.A. di bacino. Bacino estrattivo delle pietre ornamentali e dei pietrischi. Studio di Incidenza Ambientale Sito di Interesse Comunitario (S.I.C.) Altopiano di Cariadeghe. Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Comune di Botticino, Comune di Nuvolento, Comune di Nuvolera, Comune di Paitone, Comune di Serle

Schirolli P. 2008. Corna. Carta Geologica d'Italia 1:50000 – Catalogo delle Formazioni. ISPRA

Servizio Geologico d'Italia – ISPRA, a cura di Compagnoni B., Galluzzo F., Bonomo R., Capotorti F., D'Ambrogi C., Di Stefano R., Graziano R., Martarelli L., Pampaloni M.L., Pantaloni M., Ricci, Tacchia V.D., Masella G., Pannuti V., Ventura R., Vitale V. 2001. Carta geologica d'Italia - scala 1:1.000.000 (V edizione). S.EL.CA. Firenze

Soil Survey Staff 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA – Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

#### Database consultati

Carta naturalistica della Lombardia - Regione Lombardia. <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>

Carta turistica "La Via del Marmo". Provincia di Brescia, Settore Ambiente

Centro Agrometeorologico Provinciale – Settore Agricoltura – Provincia di Brescia <http://meteo.provincia.brescia.it>

Database Museo di Storia Naturale di Brescia

Database Ufficio Autorizzazione Cave, Settore Ambiente - Provincia di Brescia

Geoportale della Regione Lombardia. Dati, mappe, servizi geografici del territorio lombardo disponibili in rete. Sistema Informativo per la consultazione dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Lombardia. Unità Organizzativa Infrastruttura per l'Informazione Territoriale, Direzione Generale Territorio e Urbanistica – Regione Lombardia <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>

Mostra permanente presso il Museo del Marmo di Botticino, via Cave 74, Botticino Mattina

Progetto CARG – Regione Lombardia. Fogli D5c4, D5b4 <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/CARGWEB>

Servizio Meteorologico Regionale - Arpa Lombardia <http://ita.arpalombardia.it/meteo/meteo.asp>

### Capitolo 3

Andrews R.L., Broome S.W. 2006. Oak flat restoration on phosphate-mine spoils. *Restoration Ecology* 14(2): 210-219

Baldiraghi R., Milanese A., Allegrini A., Piccio A., Meisina C., Rossi G., Dominione V., Bogliani G., Gaiani G., Notti D., Fumagalli C., Mocchi F., Mondoni A. 2009. Linee guida per il recupero ambientale delle aree di cava in Provincia di Pavia. Provincia di Pavia, Settore Tutela Ambientale, Pavia 211 pagine

Baldrian P., Trögl J., Frouz J., Šnajdr J., Valášková V., Merhautová V., Cajthaml T., Herinková J. 2008. Enzyme activities and microbial biomass in topsoil layer during spontaneous succession in spoil heaps after brown coal mining. *Soil biology & Biochemistry* 40: 2107-2115

Bell F.G., Bullock S.E.T., Hålbich T.F.J., Lindsay P. 2001. Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield, South Africa. *International Journal of Coal Geology* 45: 195-216

Brändle M., Durka W., Altmöös M. 2000. Diversity of surface dwelling beetle assemblages in open-cast lignite mines in Central Germany. *Biodiversity and Conservation* 9: 1297-1311

Brichetti P., Cambi D. 1985. Atlante degli uccelli nidificanti in provincia di Brescia (Lombardia) 1980-1984. *Natura Bresciana, Monografia* 8

Brofas G., Varelides C. 2000. Hydro-seeding and mulching for establishing vegetation on mining spoils in Greece. *Land Degradation Development* 11: 375-382

Campbell D.R., Rochefort L., Lavoie C. 2003. Determining the immigration potential of plants colonizing disturbed environments: the case of milled peatlands in Quebec. *Journal of Applied Ecology* 40: 78-91

Castillejo J.M., Castelló R., San Cristobal A.G., Abad S. 2011. Soil-plant relationship along a semiarid gypsum gradient (Rio de Aguas, SE Spain). *Plant Ecology* 212: 1287-1297

- Clemente A.S., Werner C., Máguas C., Cabral M.S., Martins-Loução M.A., Correia O. 2004. Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean shrubs. *Restoration Ecology* Vol. 12 No. 1: 20-28
- Courtney R., Mullen G., Harrington T. 2009. An evaluation of revegetation success on bauxite residue. *Restoration Ecology* 17(3): 350-358
- Del Guasta M. 1994. Modifica della vegetazione dei licheni epifiti indotta da polveri calcaree in prossimità di una cava. *Acqua Aria* 6: 539-543
- Fierro A., Angers D.A., Beauchamp C.J. 2000. Decomposition of paper de-inking sludge in a sandpit minesoil during its revegetation. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 143-150
- Frouz J., Prach K., Pižl V., Háněl L., Starý J., Tajovský K., Materna J., Balík V., Kalčík J., Řehounková K. 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44: 109-121
- Griffith J.J., Toy T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. *Unasylva* 207 52: 9-15
- Holec M., Frouz J. 2005. Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic. *Pedobiologia* 49: 345-357
- Holl K.D. 2003. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surfaces mines in the eastern USA. *Journal of Applied Ecology* 39: 960-970
- Jochimsen M.E. 2001. Vegetation development and species assemblages in a long-term reclamation project on mine spoil. *Ecological Engineering* 17: 187-198
- Khater C., Arnaud M. 2007. Application of Restoration Ecology principles to the practice of limestone quarry rehabilitation in Lebanon. *Lebanese Science Journal* Vol. 8 No. 1: 19-28
- Khater C., Martin A., Maillet J. 2003. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestones quarries in Lebanon. *Applied Vegetation Science* 6: 199-204
- Kirmer A., Mahn E.-G. 2001. Spontaneous and initiated succession on unvegetated slopes in the abandoned lignite-mining area of Goitsche, Germany. *Applied Vegetation Science* 4: 19-27
- Konvalinková P., Prach K. 2010. Spontaneous succession of vegetation in mined peatlands: a multi-site study. *Preslia* 82: 423-435
- Krauss J., Alfert T., Steffan-Dewenter I. 2009. Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. *Journal of Applied Ecology* 46: 194-202
- Leavitt K.J., Fernandez G.C.J., Nowak R.S. 2000. Plant establishment on angle of repose mine waste dumps. *Journal of Range Management* Vol. 53 No. 4: 442-452
- Leteinturier B., Baker A.J.M., Malaisse F. 1999. Early stages of natural revegetation of metalliferous mine workings in South Central Africa: a preliminary survey. *Biotechnologie Agronomie Societe et Environment* 3(1): 28-41
- Martínez-Ruiz C., Fernández-Santos B., Gómez-Gutiérrez J.M. 2001. Effects of substrate coarseness and exposure on plant succession in uranium-mining wastes. *Plant Ecology* 155: 79-89
- Martínez-Ruiz C., Fernández-Santos B. 2005. Natural revegetation on topsoiled mining-spoils according to the exposure. *Acta Oecologica* 28: 231-238
- Martínez-Ruiz C., Fernández-Santos B., Putwain P.D., Fernández-Gómez M.J. 2007. Natural and man-induced revegetation on mining wastes: changes in the floristic composition during early succession. *Ecological Engineering* 30: 286-294
- Mendez M.O., Maier R.M. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives* Vol. 116 No.3: 278-283
- Moreno-de las Heras M., Nicolau J.M., Espigares T. 2008. Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering* 34: 168-178
- Mota J.F., Sola A.J., Jiménez-Sánchez M.L., Pérez-garcía F.J., Merlo M.E. 2004. Gypsicolous flora, conservation and restoration of quarries in the southeast of the Iberian Peninsula. *Biodiversity and Conservation* 13: 1797-1808
- Muzzi E., Rossi G. 2003. Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia – Romagna. *Manuale teorico – pratico*. Regione Emilia-Romagna. Bologna, 491 pp.
- Novák J., Konvička M. 2006. Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. *Ecological Engineering* 26: 113-122
- Novák J., Prach K. 2003. Vegetation succession in basalt quarries: pattern on a landscape scale. *Applied Vegetation Science* 6: 111-116
- Ortiz O., Ojeda G., Espelta J.M., Alcañiz J.M. 2012. Improving substrate fertility to enhance growth and reproductive ability of a *Pinus halepensis* Mill. afforestation in a restored limestone quarry. *New Forests* 43: 365-381

Parrotta J.A., Knowles O.H. 2001. Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: examples from the Brazilian Amazon. *Ecological Engineering* 17: 219-239

Phillips J. 2012. The level and nature of sustainability for clusters of abandoned limestone quarries in the Southern Palestinian West Bank. *Applied Geography* 32: 376-392

Prach K. 2003. Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: what information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science* 6: 125-129

Prach K., Pyšek P. 2001. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: experience from Central Europe. *Ecological Engineering* 17: 55-62

Savoldi S., Agostini M., Lucchini F., Papa F., Quecchia G., Serena C., Bellini R., Gilardelli F., Motta M., Nicoli B., Testa R., Zola G. 2011a. S.I.A. di bacino. Bacino estrattivo delle pietre ornamentali e dei pietrischi. Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Comune di Botticino, Comune di Nuvolato, Comune di Nuvolera, Comune di Paitone, Comune di Serle

Shu W.S., Ye Z.H., Zhang Z.Q., Lan C.Y., Wong M.H. 2005. Natural colonization of plants on five lead/zinc mine tailings in Southern China. *Restoration Ecology* Vol. 13 No. 1: 49-60

Šourková M., Frouz J., Fettweis U., Bens O., Hüttl R.F., Šantrůčková H. 2005. Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). *Geoderma* 129: 73-80

Tischew S., Kirmer A. 2007. Implementation of basic studies in the ecological restoration of surface-mined land. *Restoration Ecology* Vol. 15 No. 2: 321-325

Tropek R., Kadlec T., Karesova P., Spitzer L., Kocarek P., Malenovsky I., Banar P., Tuf I.H., Hejda M., Konvicka M. 2010. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* 47: 139-147

Wali M.K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195-220

Wiegleb G., Felinks B. 2001. Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusitania – chance or necessity. *Ecological Engineering* 17: 199-217

Yuan J.-G., Fang W., Fan L., Chen Y., Wang D.-Q., Yang Z.-Y. 2006. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology* Vol. 14 No. 3: 349-356

Zhang Z.Q., Shu W.S., Lan C.Y., Wong M.H. 2001. Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. *Restoration Ecology* 9(4): 378-385

## Capitolo 4

Baldiraghi R., Milanese A., Allegrini A., Piccio A., Meisina C., Rossi G., Dominione V., Bogliani G., Gaiani G., Notti D., Fumagalli C., Mocchi F., Mondoni A. 2009. Linee guida per il recupero ambientale delle aree di cava in Provincia di Pavia. Provincia di Pavia, Settore Tutela Ambientale, Pavia 211 pagine

Ballesteros M., Cañadas E.M., Foronda A., Fernández-Ondoño E., Peñas J., Lorite J. 2012. Vegetation recovery of gypsum quarries: short-term soling response to different soil treatments. *Applied Vegetation Science* 15: 187-197

Brichetti P., Cambi D. 1985. Atlante degli uccelli nidificanti in provincia di Brescia (Lombardia) 1980-1984. *Natura Bresciana, Monografia* 8

Carchidi M., Martino E., Sartori F., 2001. Primi risultati di impianti boschivi con il metodo delle "macchie seriali". *Informatore Botanico Italiano* 33 (1): 211-214

Carrick P.J., Krüger R. 2007. Restoring degraded landscapes in lowland Namaqualad: lessons from the mining experience and from regional ecological dynamics. *Journal of Arid Environments* 70: 767-781

Fierro A., Angers D.A., Beauchamp C.J. 2000. Decomposition of paper de-inking sludge in a sandpit minesoil during its revegetation. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 143-150

Holliman P.J., Clark J.A., Williamson J.C., Jones D.L. 2005. Model and field studies of the degradation of cross-linked polyacrylamide gels used during the revegetation of slate waste. *Science of the Total Environment* 336: 13-24

Kirmer A., Mahn E.-G. 2001. Spontaneous and initiated succession on unvegetated slopes in the abandoned lignite-mining area of Goitsche, Germany. *Applied Vegetation Science* 4: 19-27

Leavitt K.J., Fernandez G.C.J., Nowak R.S. 2000. Plant establishment on angle of repose mine waste dumps. *Journal of Range Management* Vol. 53 No. 4: 442-452

Muzzi E., Rossi G. 2003. Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia – Romagna. Manuale teorico – pratico. Regione Emilia-Romagna. Bologna, 491 pp.

Ortiz O., Ojeda G., Espelta J.M., Alcañiz J.M. 2012. Improving substrate fertility to enhance growth and reproductive ability of a *Pinus halepensis* Mill. afforestation in a restored limestone quarry. *New Forests* 43: 365-381

Prach K., Hobbs R.J. 2008. Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology* Vol. 16 No. 3: 363-366

Sartori F., 1992. Utilizzo delle macchie seriali di vegetazione negli interventi di ricostruzione della copertura vegetale naturale spontanea. *Verde Ambiente, Suppl.* 6: 38-39

Savoldi S., Agostini M., Lucchini F., Papa F., Quecchia G., Serena C., Bellini R., Gilardelli F., Motta M., Nicoli B., Testa R., Zola G. 2011a. S.I.A. di bacino. Bacino estrattivo delle pietre ornamentali e dei pietrischi. Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Comune di Botticino, Comune di Nuvolento, Comune di Nuvolera, Comune di Paitone, Comune di Serle

Tischew S., Kirmer A. 2007. Implementation of basic studies in the ecological restoration of surface-mined land. *Restoration Ecology* Vol. 15 No. 2: 321-325

## Capitolo 5

Andrews R.L., Broome S.W. 2006. Oak flat restoration on phosphate-mine spoils. *Restoration Ecology* 14(2): 210-219

Ballesteros M., Cañadas E.M., Foronda A., Fernández-Ondoño E., Peñas J., Lorite J. 2012. Vegetation recovery of gypsum quarries: short-term soling response to different soil treatments. *Applied Vegetation Science* 15: 187-197

Brofas G., Karetso G. 2002. Revegetation of mining spoils by seeding of woody species on Ghiona Mountain, Central Greece. *Land Degradation & Development* 13: 461-467

Corbett E.A., Anderson R.C., Rodgers C.S. 1996. Prairie revegetation of a strip mine in Illinois: fifteen years after establishment. *Restoration Ecology* 4(4): 346-354

Courtney R., Mullen G., Harrington T. 2009. An evaluation of revegetation success on bauxite residue. *Restoration Ecology* 17(3): 350-358

Densmore R.V. 2005. Succession on subalpine placer mine spoil: effects of revegetation with *Alnus viridis*, Alaska, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37(3): 297-303

Jochimsen M.E. 2001. Vegetation development and species assemblages in a long-term reclamation project on mine spoil. *Ecological Engineering* 17: 187-198

Majer J.D., Brennan K.E.C, Moir M.L. 2007. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 years of research following bauxite mining in Western Australia. *Restoration Ecology* Vol. 15 No. 4 (Supplement): S104-S115

Moreno-de las Heras M., Nicolau J.M., Espigares T. 2008. Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering* 34: 168-178

Mendez M.O., Maier R.M. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives* Vol. 116 No.3: 278-283

Muzzi E., Rossi G. 2003. Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia – Romagna. *Manuale teorico – pratico. Regione Emilia-Romagna. Bologna, 491 pp.*

Olyphant G.A., Harper D. 1995. Effects of direct revegetation on the hydrology, erosion and sediment yield of an abandoned deposit of coal-mine refuse. *Geomorphology* 11: 261-272

Prach K. 2003. Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: what information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science* 6: 125-129

Regione Lombardia 2011. Inerbimenti tecnici ad alta quota. *Quaderni della ricerca n. 134 – Settembre 2011. 47 pages*

Wang J., Li Z., Hu X., Wang J., Wang D., Qin P. 2011. The ecological potential of a restored abandoned quarry ecosystem in Mt. Mufu, Nanjing, China. *Ecological Engineering* 37: 833-841

Warman P.R. 1988. The gays river mine tailing revegetation study. *Landscape and Urban Planning* 16: 283-288

Wheater C.P., Cullen W.R., Bell J.R. 2000. Spider communities as tools in monitoring reclaimed limestone quarry landforms. *Landscape Ecology* 15: 401-406

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Provincia di Brescia, ed in particolare Pierangelo Barossi, ed il Comune di Nuvolento, dal Sindaco Angelo Pasini, a Marica Franchini e Leonardo Lombardi, che hanno permesso la realizzazione del presente manuale e della sperimentazione di rinaturazione in campo.

Desideriamo inoltre ringraziare coloro che, con la loro esperienza e disponibilità, hanno collaborato alla stesura di sezioni specifiche del presente manuale: Sergio Savoldi, Pierangelo Barossi, Roberta Ceriani e Andrea Ferrario. Un sentito ringraziamento anche a coloro che hanno messo a disposizione il materiale fotografico: Corrado Serena, Federico Tecchio, Violeta Vlaykova.

Vorremmo infine ringraziare tutti coloro che negli ultimi tre anni hanno contribuito alla caratterizzazione delle problematiche ambientali nel bacino estrattivo del Botticino, allo studio delle dinamiche di ricolonizzazione delle cave ed alla realizzazione di esperimenti di laboratorio e in campo per individuare le migliori tecniche di rinaturazione: Mariano Agostini, Alberto Antonelli, Elisabetta Antonelli, Stefano Armiraglio, Roberto Bellini, Maurizio Bettinzoli, Gian Battista Bischetti, Marco Bodei, Anne Bonis, Marco Caccianiga, Domenico Cafaro, Pierre Chanteloup, Enrico Casati, Enrico Chiaradia, Patrizia Digiovinazzo, Andrea Filippini, Lorenzo Fongaro, Michele Gasperini, Gianluca Gaiani, Alessandra Ghiani, Daniela Grassia, Diego Kodric, Flavio Lucchini, Mara Lucisano, Daniela Mandelli, Salvatore Manzo, Fabio Moia, Andrea Mondoni, Marino Motta, Battista Nicoli, Lorenzo Panena, Francesco Papa, Mattia Piganzoli, Preti Osvaldo, Gianbattista Quecchia, Giovanni Ravanelli, Paolo Ravasio, Corrado Serena, Federico Tecchio, Rudiano Testa, Gianbattista Tonni, Chiara Vergani, Eugenio Zanotti, Gabriele Zola, i volontari del "Museo del Marmo di Botticino" e i lavoratori del Vivaio Forestale ERSAF di Curno.

Un ringraziamento speciale va a tutti i cavatori del bacino estrattivo del Botticino per la grande ospitalità, disponibilità ed attenzione durante tutto lo studio.



Finito di stampare ottobre 2013

Grafica e impaginazione: Adasto, Milano  
Stampa: Pixartprinting Srl, Quarto d'Altino (VE)





ISBN 978-88-909167-0-0



9 788890 916700