

Regione Abruzzo



Agenzia Regionale  
per i Servizi di Sviluppo Agricolo



Università di Pisa

*a cura di*  
Andrea Peruzzi

# **La gestione fisica della flora spontanea in area urbana: un mezzo concreto per la tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini**

Le strategie, le attrezzature ed i risultati acquisiti  
nelle ricerche poliennali condotte in Toscana dall'Università di Pisa



**Gli autori di questo libro sono:**

*Andrea Peruzzi,  
Marco Fontanelli,  
Christian Frasconi,  
Marco Ginanni,  
Michele Raffaelli,  
Francesca Sorelli,  
Leonardo Lulli.*

**Sezione Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola del Dipartimento  
di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema  
Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi"  
Università di Pisa**

Alle ricerche oggetto della presente pubblicazione, oltre agli autori, hanno partecipato attivamente, collaborando alla realizzazione delle attrezzature innovative, occupandosi della gestione in campo ed in laboratorio delle prove sperimentali ed effettuando una prima elaborazione dei dati:

*Roberta Del Sarto, Calogero Plaia e Giovanni Bolognesi*

**Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa**

*Silvano Toniolo, Alessandro Pannocchia, Claudio Marchi, Paolo Gronchi, Luciano Pulga,  
Calogero Plaia, Giovanni Melai.*

**Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa**

**Ringraziamenti:**

Gli autori desiderano ringraziare per la partecipazione alle ricerche effettuate a Pisa e finanziate dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa, i colleghi della Scuola Superiore di Studi Universitari e Perfezionamento "Sant'Anna" di Pisa:

*Enrico Bonari, Paolo Bàrberi, Emiliano Piccioni, Federica Bigongiali e Daniele Antichi*

**Un doveroso e sentito ringraziamento va anche a:**

*Mirco Branchetti ed a tutti gli operatori dell'Ufficio "Verde e Decoro Urbano"*

*Comune di Livorno*

*Cosimo Bracci Torsi*

*Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa*

*Edoardo Mangano ed Ivo Gabellieri*

*Fondazione Cassa di Risparmio di Volterra*

*Elena Fantoni e Andrea Corti*

*Comune di San Giuliano Terme*

*Sergio Paglialunga e Gianfranco Lunardi*

*Ente Parco Regionale Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli*

Un ringraziamento particolare va al Dottor *Goffredo Carbonelli* per la pazienza, per l'aiuto e per avermi fatto capire l'importanza della fantasia-memoria e dell'irrazionalità nel processo creativo e la speranza di una società basata sull'uomo e sulla soddisfazione del desiderio.

Andrea Peruzzi

I disegni e gli schemi presenti in questo volume sono originali e sono stati interamente realizzati da *Uliva Foà*  
Impaginazione e grafica di *Uliva Foà*

# La gestione fisica della flora spontanea in area urbana: un mezzo concreto per la tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini

Le strategie, le attrezzature ed i risultati acquisiti nelle ricerche poliennali condotte in Toscana dall'Università di Pisa

## PARTE GENERALE

### Capitolo 1. Le piante spontanee nelle aree urbane

- 1.1. Generalità e considerazioni preliminari
- 1.2. I danni provocati dalla flora spontanea in area urbana
- 1.3. Criteri di valutazione dei danni provocati da piante spontanee in area urbana

### Capitolo 2. Il controllo della flora spontanea in area urbana

- 2.1. Le strategie impiegabili
- 2.2. Lo sfalcio meccanico attuato mediante il decespugliatore
- 2.3. I mezzi chimici per la gestione delle infestanti nelle zone non-agricole ed urbane
- 2.4. Efficacia e pericolosità dei trattamenti erbicidi
- 2.5. La lisciviazione degli erbicidi in area urbana
- 2.6. I rischi per la salute derivanti dalla distribuzione di erbicidi

### Capitolo 3. Il controllo non-chimico delle piante spontanee in area urbana

- 3.1. Le motivazioni: l'esempio del Nord-Europa
- 3.2. Strategie e macchine operatrici utilizzabili
  - 3.2.1. Mezzi meccanici
  - 3.2.2. Mezzi termici
- 3.3. Tecniche preventive
- 3.4. L'utilizzo di erbicidi "naturali"
  - 3.4.1. Gli erbicidi "naturali"
  - 3.4.2. Sostanze ad azione allelopatica
  - 3.4.3. Il controllo biologico delle infestanti
  - 3.4.4. Altre sostanze "naturali" ad azione erbicida

## Capitolo 4. Il pirodiserbo e gli altri mezzi termici

- 4.1. Definizione e cenni storici
- 4.2. Caratteristiche tecniche delle attrezzature per il pirodiserbo
- 4.3. Macchine per il controllo termico delle infestanti con il vapore, l'acqua e l'aria calda
- 4.4. I vantaggi dell'impiego del pirodiserbo per la gestione delle infestanti in area urbana
- 4.5. Ideazione, progettazione e realizzazione di attrezzature e di macchine operatrici innovative per il pirodiserbo in area urbana

### CASI DI STUDIO

## Capitolo 5. Le ricerche realizzate nei Comuni di Livorno e di Pisa

- 5.1. Obiettivi della ricerche
- 5.2. Definizione delle strategie per la gestione termica della flora spontanea
- 5.3. Il caso del Comune di Livorno
  - 5.3.1 La sperimentazione
  - 5.3.2 I risultati ottenuti
    - 5.3.2.1 Analisi della copertura della flora infestante
    - 5.3.2.2 Analisi dell'impiego di manodopera e dei costi di esercizio
  - 5.3.3. Riflessioni sui risultati ottenuti
- 5.4. Il caso del Comune di Pisa
  - 5.4.1 La sperimentazione
  - 5.4.2 I risultati ottenuti
    - 5.4.2.1. Analisi della copertura della flora infestante
    - 5.4.2.2. Analisi dell'impiego di manodopera e dei costi di esercizio
  - 5.4.3. Riflessioni sui risultati ottenuti

## Capitolo 6. Gestione fisica della flora spontanea come mezzo per combattere il bio-deterioramento di aree di interesse archeologico, monumentale, artistico, etc.

- 6.1. Risultati preliminari delle ricerche condotte presso il Comune di Volterra

## Capitolo 7. Gestione fisica della flora spontanea in aree periurbane

- 7.1. Risultati preliminari delle ricerche condotte presso il Comune di San Giuliano Terme

## Capitolo 8. Considerazioni conclusive e prospettive per il futuro

### Bibliografia

## PRESENTAZIONE

Nell'Altopiano del Fucino, un bacino di circa 16.000 ettari sito lungo la catena Appenninica Abruzzese, la coltivazione della carota risale agli inizi degli anni cinquanta quando intrepidi agricoltori vollero dedicarsi alla coltivazione dell'ombrellifera per ampliare la gamma della produzione basata su patata, barbabietola da zucchero e cereali. Da allora gli investimenti, che contavano solo pochi ettari, sono man mano aumentati ed oggi nell'area si ottiene circa il 30% della produzione nazionale di carote che conferisce all'Altopiano l'appellativo di "Primo Polo caroticolo nazionale".

Ad inizio del nuovo millennio, sotto l'impulso della sempre più crescente richiesta di prodotti ad elevata "igienicità", una nuova esigenza è stata avvertita dalla base produttiva: la coltivazione della carota con il metodo biologico.

L'assenza di precedenti esperienze nazionali tuttavia trovava nel controllo delle infestanti una seria problematica amplificata dal fatto che l'impianto della carota è possibile solo con la semina.

A partire dalla stagione agraria 2000 l'Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo della Regione Abruzzo (ARSSA), con la collaborazione tecnico-scientifica del Centro di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa (CIRAA), ha voluto affrontare questa problematica e nel corso di un ciclo sperimentale di quattro anni è stata messa a punto la tecnica di controllo delle infestanti basata sulla combinazione tra diversi metodi di gestione delle malerbe.

Risultato questo di grande rilevanza, non solo perchè consente finalmente agli agricoltori di disporre di una collaudata strategia operativa per la produzione della carota con il metodo biologico, ma anche perchè rappresenta un emblematico esempio di ricerca applicata e di trasferimento di conoscenze dal mondo accademico al settore produttivo primario attraverso il servizio pubblico di assistenza tecnica.

Si può affermare che l'attenta lettura del testo possa fornire, a tutti quelli che oggi vogliono praticare la coltivazione biologica della carota, le conoscenze basilari per la corretta gestione della produzione.

Una pubblicazione utile anche per studenti delle scuole medie superiori ed universitari perchè analizza dettagliatamente il comparto partendo dalla problematica connessa alla flora infestante, si addentra nella descrizione delle macchine operatrici fornendo una panoramica di quelle che attualmente sono nel mercato ma anche di prototipi, per concludersi con la sequenza delle operazioni che risultano vincenti contro le infestanti della carota coltivata con il metodo biologico.

Il testo può anche rappresentare il punto di partenza per quei ricercatori che desiderassero proseguire nello studio del controllo fisico delle infestanti perchè nuovi materiali, macchine ed agrotecniche, sicuramente potranno perfezionare il lavoro fin qui svolto.

Si ribadisce qui l'impegno della Regione Abruzzo a sviluppare una attenta ricerca per fornire alla filiera agricola le necessarie risorse tecniche a supporto di un sistema produttivo agricolo rispettoso dell'ambiente ed attento alla domanda di "salubrità" e di "igienicità" delle produzioni alimentari.

**Dr. Donatantonio De Falcis**

*Commissario ARSSA*

## PREFAZIONE

Per molti, troppi, anni l'agricoltura biologica si è sviluppata affrontando i problemi tecnici, che inevitabilmente si pongono in azienda nel momento in cui essa si converte al biologico, senza il sostanziale supporto del mondo della ricerca.

I problemi tecnici delle aziende biologiche nel campo delle produzioni vegetali, principalmente riconducibili alla difficoltà di controllo della flora infestante ed alla disponibilità di nutrienti per le colture, sono ancora oggi in gran parte irrisolti, sia per la scarsa attenzione posta dalla ricerca in questo settore, sia per l'insufficiente divulgazione delle informazioni già disponibili e per la scarsa efficacia dei servizi di assistenza in agricoltura.

Questo libro rappresenta un esempio di come la ricerca e la divulgazione dei risultati possano e debbano coesistere e produrre una continua interazione tra mondo operativo e ricerca applicata che sfoci in una progressiva ottimizzazione delle conoscenze e delle tecniche.

Nel campo della ricerca in agricoltura, gli studi "on farm" condotti dagli autori rappresentano, inoltre, un metodo di lavoro, nel campo della ricerca in agricoltura, estremamente importante nel caso dei sistemi "bio", che consente la immediata trasferibilità dell'innovazione.

Questa pubblicazione oltre ad inquadrare in maniera "sistemica" la problematica della gestione della flora spontanea ne approfondisce le strategie di controllo con particolare riferimento alle macchine operatrici utilizzabili per il controllo delle malerbe nella carota ed in altre colture ortive ed erbacee di pieno campo riportando i risultati di numerose ed interessanti ricerche condotte nell'Altopiano del Fucino.

I risultati ottenuti, grazie ad un inquadramento spiccatamente aziendale delle ricerche, possono essere estesi a molte altre realtà produttive del nostro Paese e fornire utilissime indicazioni agli agricoltori biologici, ai tecnici del settore e anche agli studenti ed ai giovani ricercatori interessati alle problematiche dell'agricoltura biologica.

**Concetta Vazzana**

*Professore Ordinario di Agronomia Generale e Coltivazioni Erbacee  
Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-forestale  
Università degli Studi di Firenze*



*Istruitevi, perché avremo bisogno di tutta la nostra intelligenza.  
Agitatevi, perché avremo bisogno di tutto il nostro entusiasmo.  
Organizzatevi, perché avremo bisogno di tutta la nostra forza.*

Antonio Gramsci

*Tutti sanno che una cosa è impossibile da realizzare, finché arriva uno  
sprovveduto che non lo sa e la inventa. . .*

Albert Einstein

*“Ora basta, stai zitta, chetati. . . o ti si da foo!”*

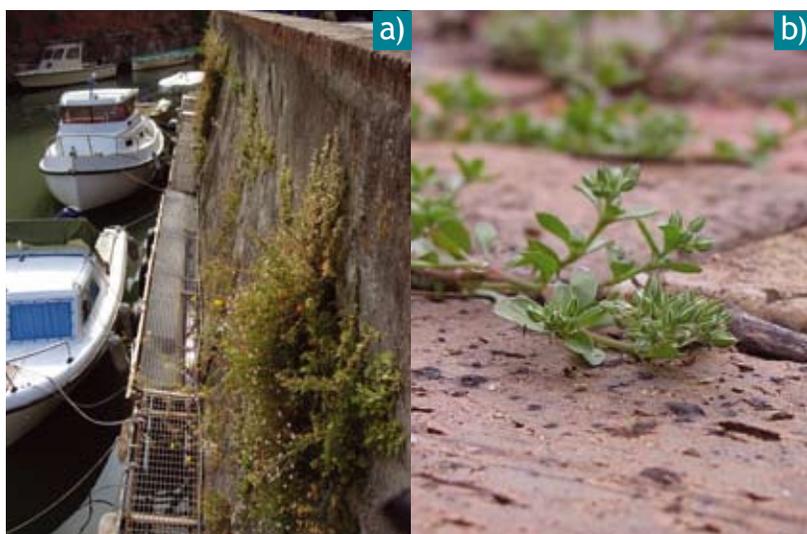
Bobo Rondelli



# 1. Le piante spontanee nelle aree urbane

## 1.1. Generalità e considerazioni preliminari

Molte specie vegetali spontanee si sono evolute adattandosi a crescere ed a diffondersi anche in quelle nicchie ecologiche altamente antropizzate ed in quegli ambienti caratterizzati da condizioni fortemente limitanti come quelli cittadini. La flora spontanea tipica delle aree urbane, infatti, tende a svilupparsi anche su substrati poveri di nutrienti o su quelli nei quali la disponibilità idrica e lo spazio a disposizione degli apparati radicali sono ridotti, ed è sottoposta a fonti di stress come l'inquinamento atmosferico o il calpestio causato dai pedoni, dagli animali o dai veicoli, che possono ripercuotersi sulla fisiologia delle piante e sul loro accrescimento (Fig. 1.1).



**Fig. 1.1.** La flora infestante in ambiente urbano riesce a svilupparsi su substrati poveri di nutrienti, con scarsa disponibilità idrica e con poco spazio per gli apparati radicali, come i commentati o gli intonaci delle murature (a). Il *Polycarpon tetraphyllum* è una infestante che ben si adatta al calpestio per cui può svilupparsi anche tra gli interstizi degli elementi che compongono le pavimentazioni (b).

Nonostante le avverse condizioni ambientali, le erbe spontanee delle aree urbane riescono comunque a sfruttare con successo le poche risorse idriche e nutritive ed il poco spazio di cui dispongono per compiere il loro ciclo, riuscendo a propagarsi o a riprodursi. È per il fatto di essere particolarmente resistenti e di diffondersi in maniera intensa e rapida, oltre che essere fonte di danneggiamento o comunque di interferenza con le attività dell'uomo, che le piante spontanee che si sviluppano negli ambienti antropizzati vengono definite "infestanti" (Fig. 1.2).

Le dinamiche di diffusione di queste specie botaniche non sono completamente indipendenti dall'azione dell'uomo, che anzi può facilitare la loro disseminazione o la loro propagazione, così come può in vari modi esercitare una pressione selettiva all'interno dei vari gruppi sistematici.



**Fig. 1.2** Le piante che si sviluppano negli ambienti antropizzati e che danneggiano o comunque interferiscono con le attività dell'uomo vengono definite infestanti.

**Fig. 1.3** Alcuni esempi di danno provocato da infestanti in area urbana: **a)** superficie asfaltata danneggiata da *Cyperus* sp.; **b)** elevata presenza di infestanti affrancate su una muratura storica; **c)** intralcio al passaggio pedonale su un marciapiede e danneggiamento della pavimentazione; **d)** limitazione del campo visivo per i conducenti di veicoli stradali; **e)** occlusione della rete fognaria.

## 1.2. I danni provocati dalla flora spontanea in area urbana

Quando non correttamente gestite, le erbe infestanti delle aree urbane possono (Fig. 1.3):

- danneggiare o contribuire a danneggiare le superfici dure;
- rovinare l'estetica di strade, piazze, percorsi pedonali o piste ciclabili;
- intralciare il passaggio dei pedoni;
- essere fonte di allergeni;
- occludere i canali della rete fognaria;
- limitare la visibilità dei conducenti di autoveicoli o motocicli;
- trattenere la sporcizia stradale ed intralciare le operazioni di spazzamento manuale o meccanico da parte degli operatori ecologici.

I tipi di danno che sono stati appena elencati hanno tutti un'elevata rilevanza nei contesti urbani. Tra questi, però, almeno tre dovrebbero essere tenuti in particolare considerazione: il danno alle superfici, quello estetico e quello sanitario.

Il danneggiamento delle superfici dure avviene principalmente in conseguenza dell'accrescimento dell'apparato radicale o delle strutture vegetative (rizomi, stoloni, tuberi, bulbi, etc.).

I sistemi radicali e gli organi vegetativi esplicano un danno meccanico durante il loro sviluppo in quanto esercitano delle forze sulle strutture dei manufatti che portano alla disgregazione dei materiali meno resistenti (asfalto, intonaci, cementi tra i mattoni di un muro o tra i blocchi di una pavimentazione, etc.) (Fig. 1.4).

Inoltre, il danneggiamento delle superfici avviene anche per l'azione chimica esercitata dalle radici attraverso l'acidità degli apici radicali e le proprietà chelanti degli essudati. Il danno che si manifesta secondo le modalità de-



scritte coinvolge inizialmente solo le parti più esterne delle superfici, ma le lesioni prodotte dagli apparati radicali o dagli altri organi vegetativi facilitano, da una parte, il formarsi di un substrato idoneo allo sviluppo di altre piante spontanee, e, dall'altro, espongono le strutture agli agenti atmosferici che con il tempo ne compromettono la stabilità più interna (Fig. 1.5).



**Fig. 1.4** *Danni meccanici causati dalle infestanti su manufatti: particolare dei danni causati da *Cyperus* sp. su una superficie asfaltata.*

### 1.3. Criteri di valutazione dei danni provocati da piante spontanee in area urbana

Il danno causato dalla flora spontanea è legato alle caratteristiche botaniche, all'habitus vegetativo ed al tipo di accrescimento delle specie vegetali. Le piante erbacee come ad esempio quelle appartenenti ai generi *Parietaria* sp., *Sonchus* sp., *Coryza* sp. (Fig. 1.6) sono sicuramente meno distruttive di quelle arboree o arbustive come *Ailanthus altissima* Mill., *Capparis spinosa* L., *Ficus carica* L. o *Hedera helix* L. (Fig. 1.7), mentre le specie erbacee perenni (es. *Cynodon dactylon* L.) (Fig. 1.8) sono più dannose di quelle erbacee annuali.

**Fig. 1.5** *Danni meccanici causati dalle infestanti su una muratura storica*



d)



e)



**Fig. 1.6** Generi di piante infestanti considerate meno distruttive: **a)** *Parietaria* sp.; **b)** *Sonchus* sp.; **c)** *Conyza* sp.

Interessante sotto questo aspetto è il contributo di Signorini (1995 e 1996) che ha proposto un Indice di Pericolosità (I.P.) delle specie vegetali che si sviluppano nelle aree monumentali ed archeologiche che esprime sinteticamente per ciascuna specie vegetale presente nel sito in esame la pericolosità nei confronti delle strutture architettoniche.

L'Indice di Pericolosità è un numero compreso tra 0 e 10 (le specie con I.P. da 0 a 3 sono considerate poco pericolose, quelle con I.P. da 4 a 6 mediamente pericolose, quelle con I.P. da 7 a 10 molto pericolose) che esprime non solo la capacità di ogni singola specie di arrecare danni a causa delle sue dimensioni o delle caratteristiche degli apparati ipogei, ma anche le proprie potenzialità competitive nei confronti delle altre piante, nonché la resistenza agli stress da sfalcio manuale o meccanico. Ad esempio tra le specie con I.P. compreso da 0 a 3 sono annoverate *Hordeum murinum*, *Chenopodium album* e *Solanum nigrum*, quelle classificate con un I.P. da 4 a 6 sono *Hyoseris radiata*, *Malva sylvestris* e *Echballium elaterium*, tra le specie più pericolose ricordiamo *Ficus carica* con un I.P. di 10, cioè il massimo.

**Fig. 1.7** Specie di piante infestanti che possono arrecare gravi danni ai manufatti urbani: **a)** *Ailanthus altissima* Mill.; **b)** *Capparis spinosa* L.; **c)** *Ficus carica* L.; **d)** *Hedera helix* L.



Poiché lo sviluppo delle piante superiori sulle superfici dure innesca una serie di processi degradativi che devono essere valutati e tenuti sotto controllo costantemente, ma che possono essere limitati riducendo la popolazione di specie vegetali fin dai primi stadi di infestazione, l'Indice di Pericolosità può rappresentare un utile strumento per guidare le scelte tecniche di diserbo, sia nelle aree particolarmente sensibili come quelle monumentali ed archeologiche, sia nei diversi contesti urbani italiani, in cui spesso i manufat-



**Fig. 1.8** Infestazione di *Cynodon dactylon* L. su un marciapiede di un'area cittadina residenziale e periferica.

**Fig. 1.9** La crescita incontrollata delle piante infestanti nelle aree urbane trasmette ai frequentatori un senso di trascuratezza.

ti architettonici di importanza storica fanno parte integrante dell'urbanistica delle città.

La crescita incontrollata della flora spontanea nei luoghi frequentati dalla popolazione cittadina o dai turisti, in modo particolare nelle aree di pregio, tende a generare una sensazione di trascuratezza che non viene apprezzata (Fig. 1.9).

Purtroppo nelle città italiane questo è un evento che si verifica di frequente, a causa della poca attenzione che di solito viene rivolta alla cura degli spazi



**Fig. 1.10** Piante spontanee allegeriche tipiche dei contesti urbani: **a)** orzo selvatico (*Hordeum murinum* L.); **b)** vetriola (*Parietaria officinalis* L.); **c)** parietaria minore (*Parietaria diffusa* Mert e Koch **d)** assenzio selvatico (*Artemisia vulgaris* L.).



**Fig. 1.11** *La Parietaria officinalis* L. oltre a produrre pollini allergenici può arrecare danni meccanici ed estetici sulle superfici su cui cresce.

pubblici, ma che inevitabilmente si ripercuote in maniera negativa sull'immagine delle municipalità.

Infine, è ormai noto che, durante il periodo di fioritura, i pollini prodotti da alcune piante spontanee erbacee tipiche delle aree cittadine, appartenenti principalmente alle famiglie delle Poaceae, delle Urticaceae e delle Astera-ceae (*Hordeum murinum* L., *Parietaria officinalis* L., *Parietaria diffusa* Mert. et Koch., *Artemisia vulgaris* L., etc.), provocano reazioni allergiche (“pollinosi”) di varia entità in parte della popolazione (Fig. 1.10).

Ridurre la presenza di queste specie di piante almeno nelle aree delle città maggiormente frequentate, contribuirebbe senza dubbio a migliorare la qualità della vita di molti adulti e bambini.

Di solito le tre tipologie di danno precedentemente ricordate si manifestano contemporaneamente. Molte infestanti che producono pollini con caratteristiche allergeniche, infatti, quando crescono su una superficie dura determinano anche un danno meccanico ed estetico (Fig. 1.11). È per questo che il controllo delle “malerbe” dovrebbe essere una delle priorità per tutti coloro che si occupano, a vario titolo, della gestione del verde, sia pubblico che privato, nelle aree cittadine.

## 2. Il controllo della flora spontanea in area urbana

### 2.1. Le strategie impiegabili

In Italia, per il controllo della flora infestante in area urbana vengono utilizzati principalmente metodi diretti di tipo meccanico e chimico. Il mezzo meccanico più usato è lo sfalcio, operato impiegando attrezzature come le trinciatrici, i rasaerba o i decespugliatori. Le trinciatrici vengono usate per lo sfalcio grossolano di estese superfici inerbite, come i bordi delle strade o gli argini dei fiumi o dei canali. I rasaerba, invece, trovano impiego prevalentemente nella cura dei tappeti erbosi, dove cioè la qualità del taglio riveste una certa importanza (Fig. 2.1). I decespugliatori, infine, sono utilizzati per le rifiniture e per il taglio delle piante infestanti su superficie dura (Fig. 2.2).



**Fig. 2.1.** *Macchine operatrici utilizzate per lo sfalcio di estese superfici inerbite: a) trinciatrice; b) trattorino rasaerba.*

I diserbanti sono ampiamente adoperati nelle aree cittadine, sia urbane che periurbane e periferiche, in alternativa o in maniera complementare ai mezzi di controllo fisico. Generalmente i diserbanti più utilizzati sono quelli non selettivi ad azione sistemica, come quelli a base di N-(fosfometil)glicina (glyphosate), ma non di rado vengono impiegati erbicidi ad azione dissecante della sola parte aerea (diquat, paraquat), sia individualmente che in miscela per ampliarne lo spettro di azione.

I mezzi meccanici e quelli chimici appena citati sono ampiamente diffusi poiché il loro utilizzo è relativamente semplice e la loro efficacia è soddisfacente, almeno nel breve periodo. Ciononostante, i punti deboli di questo tipo di strategie di controllo delle infestanti nelle aree urbane sono diversi, ed hanno ricadute non soltanto sulla efficacia dei trattamenti, ma anche sulla salvaguardia della salute dei cittadini e dell'ambiente.

### 2.2. Lo sfalcio meccanico attuato mediante il decespugliatore

I decespugliatori sono attrezzature motorizzate ad asta rigida o flessibile (Fig. 2.3) nate per lo sfalcio di piante erbacee o lignificate nelle aree agricole,



**Fig. 2.2** *Il decespugliatore sono utilizzati per le rifiniture e per il taglio delle piante infestanti su superficie dura.*



Asta flessibile



Asta flessibile

**Fig. 2.3** Schema delle diverse tipologie di decespugliatore.

**Fig. 2.4** Schema illustrante i differenti organi di taglio di un decespugliatore, che devono essere correttamente scelti in base alle diverse tipologie di infestanti ed al loro grado di sviluppo.

molto utili per raggiungere zone non accessibili ai mezzi semoventi in virtù della loro leggerezza e versatilità.

Il taglio delle piante avviene grazie alla rotazione, trasmessa dal motore, di un disco dentato di metallo o di un rotore (detto anche “testa”) che sostiene due fili di nylon (Fig. 2.4).

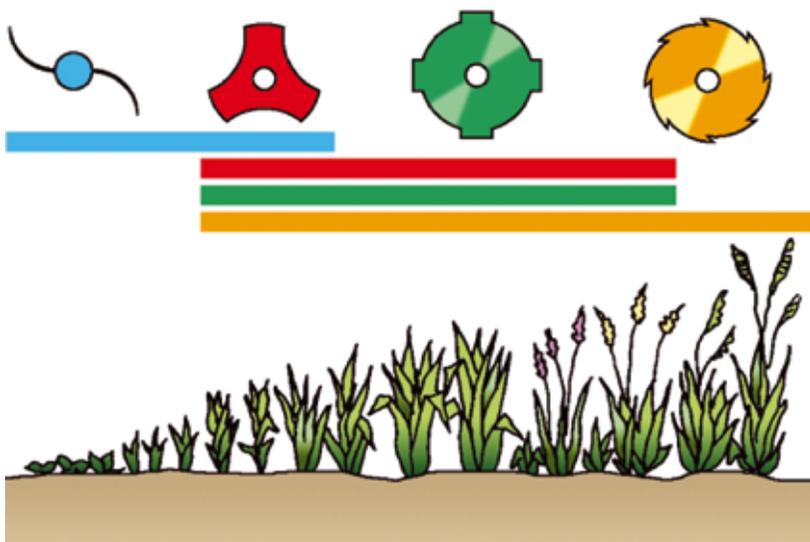
La facilità d'uso e la maneggevolezza hanno permesso la rapida diffusione dei decespugliatori tra chi si occupa di giardinaggio e della cura del verde urbano, proprio perché in città le zone da trattare sono molto diversificate e spesso non idonee all'impiego di altri tipi di macchine operatrici.

Per esempio, i decespugliatori sono divenuti praticamente gli unici mezzi usati per lo sfalcio delle piante infestanti sulle superfici dure, siano esse asfaltate, pavimentate od inghiaiate, grazie alla possibilità di utilizzare per il taglio la testa a fili di nylon.

Il maggior difetto che hanno i decespugliatori, però, è legato proprio alla modalità di taglio che eseguono.

Al riguardo, infatti, l'elevata velocità periferica che raggiungono i fili di nylon per la rotazione impressa alla testa dal motore fa sì che ogni qualvolta essi incontrino oggetti di materiale resistente, non fissati al terreno e non eccessivamente pesanti (ghiaia, piccole pietre, lattine vuote, pezzi di metallo, etc.), siano in grado di proiettarli con forza a distanze decisamente ragguardevoli.

Per questa ragione, è esplicitamente previsto dalle normative vigenti in materia di sicurezza sul lavoro ed infortunistica che l'operatore ispezioni



la zona da trattare rimuovendo tutti gli oggetti potenzialmente pericolosi, osservare durante il lavoro una distanza di sicurezza di 15 m dalle persone, dagli animali e dalle cose e che utilizzi un'attrezzatura debitamente equipaggiata con involucri o schermi protettivi. Dato che queste regole, purtroppo, raramente vengono seguite, gli infortuni o i danneggiamenti a terzi causati da un uso improprio dei decespugliatori sono all'ordine del giorno nelle nostre città (Fig. 2.5).

Oltre a provocare il lancio di oggetti a distanza, l'elevato regime di rotazione della testa del decespugliatore favorisce la disseminazione delle infestanti quando esse vengono raggiunte dai fili di nylon, così come è possibile che vengano danneggiati dai fili in rotazione i materiali che compongono le superfici da trattare od altre strutture di diversa natura, come ad esempio i fusti degli alberi (Fig. 2.6).

Un altro difetto che caratterizza queste attrezzature è che con il filo di nylon si può ottenere un buon taglio delle piante infestanti su superficie dura solo se questa è piana, priva cioè di fessure, piccole buche od altri ostacoli. Nelle aree urbane questa condizione ideale si realizza soltanto in rare occasioni, e perciò gli sfalci eseguiti con il decespugliatore determinano quasi sempre soltanto il taglio grossolano di una porzione (seppur in certi casi di notevole entità) della parte epigea delle infestanti, senza andare a rimuovere o danneggiare le gemme o i meristemi basali e, soprattutto, senza colpire tutte quelle piante che si trovano allo stadio cotiledonare o di prime foglie vere all'interno delle fessure presenti sulle superfici trattate (Fig. 2.7).

Sotto il profilo tecnico, infine, la procedura da seguire quando viene effettuata la gestione delle infestanti per mezzo dello sfalcio con decespugliatore prevede la seguente sequenza di operazioni:

a) taglio delle piante; b) andatura del materiale vegetale sfalcio per mezzo di soffiatore motorizzato; c) raccolta; d) smaltimento della biomassa in discarica (Fig. 2.8). È utile ricordare che tale procedura richiede necessariamente l'intervento di due operatori per ridurre i tempi di lavoro, e che lo



**Fig. 2.5** *L'elevato regime di rotazione della testa del decespugliatore può provocare la proiezione di materiali (piccoli sassi frammenti di vetro etc.) che possono provocare danni a persone o cose presenti nelle vicinanze del cantiere, un classico esempio e la rottura dei cristalli delle macchine parcheggiate.*



**Fig. 2.6** *Esempio dei danni provocati dai fili in rotazione del decespugliatore, sulla corteccia dei fusti degli alberi.*



**Fig. 2.7** *Due esempi di superficie non idonea alla gestione delle infestanti a mezzo del decespugliatore a fili di nylon.*



**Fig. 2.8** Sequenza di operazioni di controllo delle infestanti a mezzo di decespugliatore: **a)** sfalcio; **b)** andanatura con soffiatore motorizzato; **c)** raccolta della biomassa vegetale tagliata.

smaltimento della biomassa vegetale in discarica rappresenta un notevole dispendio di tempo (con conseguente riduzione dell'efficienza lavorativa) e di denaro.

Principio attivo	Classe	Meccanismo d'azione
Bromacil	Uracile	Inibizione della fotosintesi clorofilliana
Picloram	Acido piridil acetico	Azione auxino-simile, con alterazione della biosintesi degli acidi nucleici
Diquat dibromide	Dipiridilico	Inibizione della fotosintesi, con produzione di H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> che distrugge cellule e cloroplasti
Paraquat dichloride	Dipiridilico	Inibizione della fotosintesi, con produzione di H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> che distrugge cellule e cloroplasti
Glyphosate	Fosfonato	Interferenze sintesi proteica
Diuron	Fenilurea	Inibizione fotosintesi clorofilliana
Mecoprop	Derivato di acidi fenossicarbossilici	Interferenze sul metabolismo degli acidi nucleici e sulla biosintesi delle proteine
Dalapon-sodium	Derivato di acidi carbossilici alifatici	Alterazione metabolismo proteico
2,4 D	Derivato di acidi fenossicarbossilici	Interferenze sul metabolismo degli acidi nucleici e sulla biosintesi delle proteine
MCPA	Derivato di acidi fenossicarbossilici	Interferenze sul metabolismo degli acidi nucleici e sulla biosintesi delle proteine
Triclopyr	Acido piridilossiacetico	Azione auxino-simile, con alterazione della biosintesi degli acidi nucleici
Fluoroxypir	Acido piridilossiacetico	Azione auxino-simile, con alterazione della biosintesi degli acidi nucleici
Dicamba	Derivato dell'acido benzoico	Azione auxino-simile, con interferenze su crescita e sviluppo

### 2.3. I mezzi chimici per la gestione delle infestanti nelle zone non-agricole ed urbane

In commercio è possibile reperire un numero elevato di sostanze chimiche ad azione erbicida, il cui meccanismo e spettro d'azione è molto diversificato (Tabella 1).

La maggior parte degli erbicidi ha un'azione "selettiva" nei confronti delle piante infestanti, cioè i loro principi attivi interferiscono sul metabolismo di alcune piante, ma non su quello di altre.

Ad esempio, un erbicida può essere utile per controllare le infestanti dicotiledoni preservando le monocotiledoni, e questo costituisce indubbiamente un vantaggio nell'utilizzazione di questi prodotti in campo agricolo.

Alcune sostanze, invece, agiscono in maniera "non selettiva", danneggiando

**Tabella 2.3.1** *Principali principi attivi utilizzati per il controllo chimico delle piante infestanti nelle aree non-agricole ed urbane (Muccinelli, 2002).*

Tipologia	Tempo di degradazione nel terreno	Classificazione CE
Non selettivo, ad assorbimento radicale	3-12 mesi	Non classificato
Non selettivo, ad azione sistemica	≥ 12 mesi	Irritante
Non selettivo ad azione disseccante per contatto	Non residuale	Non classificato
Non selettivo ad azione disseccante per contatto	Non residuale	Molto tossico
Non selettivo, ad azione sistemica	2 settimane	Non classificato
Selettivo verso le dicotiledoni ed alcune monocotiledoni, ad assorbimento radicale	6-12 mesi	Nocivo
Selettivo verso le dicotiledoni, ad azione sistemica	2-3 settimane	Non classificato
Selettivo verso le graminacee annuali e perenni, ad azione sistemica	15-40 giorni	Nocivo Non classificato
Selettivo verso le dicotiledoni, ad azione sistemica	1-4 settimane	Nocivo Irritante
Selettivo verso le dicotiledoni, ad azione sistemica	2-3 settimane	Nocivo Irritante
Selettivo verso le dicotiledoni, ad azione sistemica	3-5 mesi	Nocivo
Selettivo verso le dicotiledoni, ad azione sistemica	-	Irritante
Selettivo verso le dicotiledoni, anche quelle perennanti, ad azione sistemica e per assorbimento radicale	3-12 settimane	Nocivo Irritante



**Fig. 2.9** *Distribuzione di erbicida su margine stradale.*

le piante senza distinzione, poiché determinano alterazioni a vie metaboliche che sono comuni a tutti i vegetali. Questo tipo di erbicidi viene utilizzato sia per il diserbo delle colture agrarie che per quello delle aree ad esse non destinate: canali, argini, fossi, scoline, banchine stradali, piazzali, parchi, giardini, aree civili ed industriali (Fig. 2.9).

Gli erbicidi, inoltre, vengono distinti sulla base del modo in cui il principio attivo riesce a raggiungere il “bersaglio” all’interno della pianta. Alcuni vengono assorbiti dalle radici e quindi distribuiti nelle varie parti della pianta attraverso il flusso xilematico; altri penetrano attraverso la cuticola fogliare per poi essere traslocati per via sistemica nelle foglie, negli steli, nelle radici e negli organi vegetativi delle perennanti (rizomi, tuberi, bulbi, stoloni, etc.) (erbicidi “sistemici”); altri ancora agiscono solo per contatto sulle parti verdi delle piante, e non esplicano alcuna azione sulle parti legnose e sulle radici (erbicidi “disseccanti della parte aerea”).

Per il controllo della flora infestante nelle aree non-agricole ed urbane, i diserbanti possono essere utilizzati individualmente o, come più spesso capita, in miscela tra loro per rendere più efficace l’azione erbicida.

Le miscele di diserbanti possono essere preparate dall’operatore oppure acquistate in formulati commerciali pronti all’uso. Esempi di miscele ad azione erbicida possono essere i seguenti:

Bromacil+Dalapon-sodium+Diuron;

Bromacil+Picloram;

2,4-D+Picloram;

Dicamba+Mecoprop;

Diquat dibromide+Paraquat dichloride;

Fluoroxypir+Triclopyr;

Glyphosate+MCPA.

## 2.4. Efficacia e pericolosità dei trattamenti erbicidi

L'efficacia dei trattamenti non dipende, però, soltanto dal tipo di sostanze utilizzate, ma anche dalla modalità di distribuzione e dalla tempistica di intervento. I diserbanti vengono di norma applicati facendo ricorso alle comuni barre irroratrici di tipo "portato" dalla trattrice in tutti quei casi in cui lo spazio di manovra è sufficientemente ampio per il transito di queste macchine ed attrezzature (diserbo di canali, fossi, bordi delle strade, piazzali, aree industriali, etc.). (Fig. 2.10)



Nelle aree urbane, invece, dove le zone da trattare non sono sempre facilmente accessibili o dove i trattamenti devono essere eseguiti con precisione per evitare di danneggiare le piante ornamentali eventualmente presenti, risulta più idoneo utilizzare trattatrici di dimensioni ridotte ed irroratrici portate equipaggiate con una lancia manuale, oppure le più maneggevoli irroratrici spalleggiate (Fig. 2.11).

La distribuzione degli erbicidi nelle aree non agricole ed urbane avviene di solito durante il periodo primaverile-estivo, quando le infestanti tendono a svilupparsi maggiormente grazie alle favorevoli condizioni meteorologiche (Fig. 2.12).

Nei Comuni italiani non sempre viene realizzata una pianificazione razionale per questo tipo di interventi, così come non vengono effettuati controlli tesi a verificare la correttezza delle tecniche e dei prodotti utilizzati. Generalmente, attuando la stessa strategia impiegata per lo sfalcio mecca-

**Fig. 2.10** A causa dei limitati spazi di manovra e dei numerosi ostacoli, la distribuzione di erbicidi in area urbana viene solitamente effettuata con macchine irroratrici di dimensioni più contenute rispetto a quelle utilizzate in agricoltura.



**Fig. 2.11** Attrezzature ordinariamente utilizzate per il diserbo chimico nelle aree cittadine: **a)** irroratrice portata equipaggiata con lancia manuale; **b)** irroratrice spalleggiate.



**Fig. 2.12** Distribuzione di erbicida su un margine stradale, per contenere lo sviluppo della vegetazione nel periodo primaverile-estivo.

nico, i diserbanti per uso non agricolo vengono applicati quando le infestanti hanno raggiunto un notevole sviluppo e la maggior parte di esse ha già completato il proprio ciclo.

Tale approccio non solo non contribuisce a risolvere il problema della flora infestante, ma in più ha indubbe ricadute sulle persone e sull'ambiente.

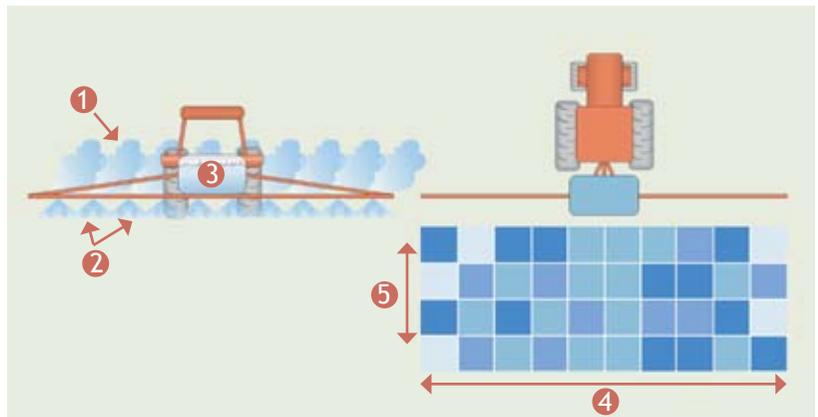
I diserbanti, infatti, se distribuiti in condizioni di vento non ottimali, possono essere dispersi nell'atmosfera e trasportati dalle correnti d'aria a notevole distanza dal luogo in cui viene eseguito il trattamento, oppure possono essere lisciviati nelle

acque superficiali od in quelle di falda con le precipitazioni. A questo riguardo, numerosi studi hanno evidenziato come gli erbicidi presenti nelle acque di percolazione costituiscano un agente di tossicità per gli animali ed i vegetali.

Il problema della lisciviazione dei diserbanti utilizzati per scopi non agricoli è stato preso in seria considerazione da alcuni Paesi europei (Olanda, Danimarca, Germania, Regno Unito) in seguito all'evidente inquinamento da erbicidi riscontrato nelle acque di falda che vengono utilizzate per scopi alimentari (Fig. 2.13). Contrariamente a quanto si pensa, gli erbicidi impiegati per il controllo delle infestanti in ambiti non agricoli, ed in particolare sulle superfici dure, possono contribuire all'inquinamento delle falde acquifere in misura maggiore rispetto a quelli destinati agli usi agricoli.

Le superfici dure, infatti, hanno generalmente un ridotto contenuto di sostanza organica, un ridotto contenuto di microrganismi, una maggiore con-

**Fig. 2.13** Schema raffigurante le perdite operative di un agrofarmaco durante la sua distribuzione: 1) deriva; 2) gocciolamento e percolazione; 3) variazione di concentrazione; 4) disuniformità trasversale; 5) disuniformità longitudinale.



centrazione di materiale grossolano drenante (ghiaia e pietrisco) rispetto ai terreni agricoli, ed in molti casi hanno una giacitura tale da determinare un rapido allontanamento delle acque piovane indirizzandole verso i canali di scolo od altri punti di raccolta (Fig. 2.14).



**Fig. 2.14** *La distribuzione degli erbicidi in aree non agricole contribuisce alla contaminazione delle falde acquifere a causa del materiale che caratterizza le superfici delle città e della loro giacitura che deve agevolare lo sgrondo delle acque piovane.*

Il movimento degli erbicidi trasportati da un flusso di acqua su un terreno o lungo il suo profilo può essere attenuato dai processi di adsorbimento o dalla degradazione da parte dei microrganismi tellurici, ma nel caso di substrati come quelli che caratterizzano le strade, le massicciate ferroviarie o le pavimentazioni, l'assenza di uno strato o di una fascia tampone consente alle sostanze contaminanti di raggiungere le acque superficiali o di infiltrarsi in quelle di falda.

## 2.5. La lisciviazione degli erbicidi in area urbana

Nonostante i meccanismi che regolano la lisciviazione degli erbicidi dalle superfici dure non siano ancora completamente noti e necessitino di approfondimenti scientifici e sperimentali, le ricerche degli ultimi anni hanno permesso di chiarirne alcuni aspetti.

La quantità di principio attivo ad azione diserbante che viene lisciviata da un terreno agrario dipende dalle caratteristiche delle precipitazioni (intensità e durata), dalle proprietà chimiche dell'erbicida (solubilità in acqua, coefficiente di ripartizione octanolo-acqua, coefficiente di ripartizione carbonio

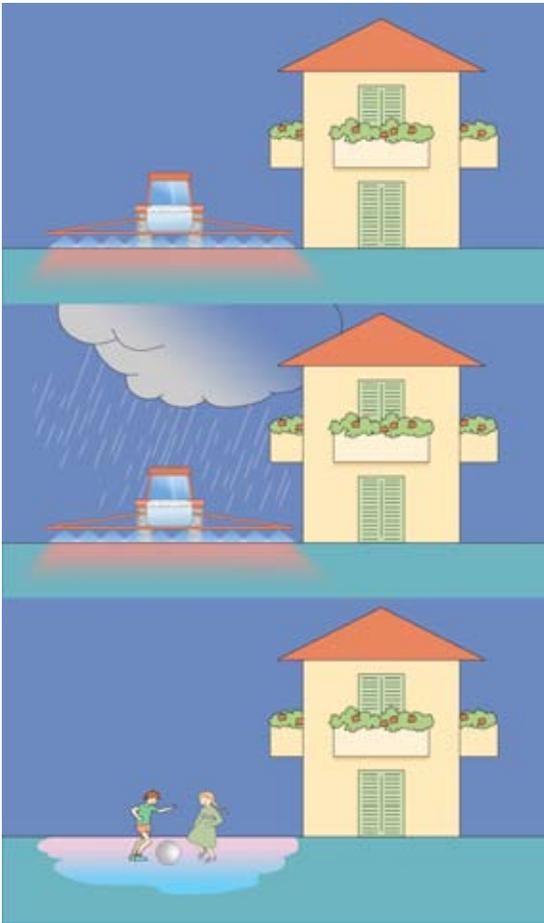


Fig. 2.15 Schema

organico-acqua), dalle caratteristiche del suolo o del substrato (tessitura, umidità, copertura vegetale), dalla giacitura della superficie, dalle lavorazioni del terreno che sono state eseguite, dalla modalità di applicazione del diserbante (epoca di intervento, dose distribuita) e dalla distanza del sito trattato dalla falda o dalle acque superficiali. In maniera analoga, l'allontanamento di un erbicida da una superficie dura dopo la sua distribuzione dipende principalmente:

a) dal materiale che compone la superficie (asfalto, cemento, pietra, ghiaia, etc.), b) dal tipo di erbicida utilizzato, c) dal periodo di tempo intercorrente tra la distribuzione ed il primo evento piovoso, d) dall'intensità del primo evento piovoso (Fig. 2.15).

I principi attivi dei più comuni erbicidi utilizzati per il controllo delle infestanti su superficie dura vengono lisciviati con le precipitazioni in media dal 35 al 73% rispetto al totale distribuito. Il 35-40% di questa quantità viene allontanato con i primi 2 mm di pioggia, mentre con un'ulteriore precipitazione di 3 mm si può superare l'80%.

Gli erbicidi caratterizzati da ridotta solubilità in acqua, ridotto coefficiente di ripartizione carbonio organico-acqua ( $K_{oc}$ ), ed elevato coefficiente di ripartizione octanolo-acqua ( $\log K_{ow}$ ) tendono

ad essere allontanati con difficoltà dalla maggior parte dei materiali che costituiscono le superfici dure in ambito non agricolo ed urbano, a causa della loro ridotta affinità con l'acqua.

Ad esempio, Spanoghe e colleghi hanno verificato che la quantità massima di diuron ( $\text{solubilità}=42 \text{ mgL}^{-1}$ ;  $K_{oc}=218 \text{ mgL}^{-1}$ ;  $\log K_{ow}=2,85$ ) che viene lisciviata dopo la simulazione di tre precipitazioni (di cui la seconda e la terza effettuate a distanza di 2 e 7 giorni dalla prima) di 3 mm ciascuna è pari a circa il 20% per le superfici inghiaiate, al 35% per le pavimentazioni in cemento ed al 30% per le superfici asfaltate.

Al contrario, gli erbicidi caratterizzati da elevata solubilità in acqua, elevato  $K_{oc}$  e ridotto  $\log K_{ow}$  come il glyphosate ( $\text{solubilità}=12000 \text{ mgL}^{-1}$ ;  $K_{oc}=28000 \text{ mgL}^{-1}$ ;  $\log K_{ow}=-5,40$ ) tendono ad essere allontanati dalle superfici asfaltate per il 70% con i primi 3 mm di pioggia, raggiungendo il 90% dopo l'ultimo

intervento piovoso, mentre vengono maggiormente adsorbiti dalla ghiaia e dal cemento, con percentuali di dispersione rispettivamente pari al 5 ed al 20% del totale distribuito.

Il motivo di questo fenomeno è legato alla elevata solubilità in acqua del glyphosate ed alle sue caratteristiche polari. Quando distribuito su una superficie apolare come l'asfalto, il glyphosate non viene adsorbito e quindi può essere facilmente allontanato già con la prima precipitazione.

Le superfici inghiaiate (suolo+ghiaia) e le pavimentazioni in cemento, invece, presentano sulla loro superficie degli ioni  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$  che sono in grado di legare gli ioni dissociati di glyphosate, riducendo così le probabilità di un suo allontanamento con le precipitazioni.

La dispersione dei principi attivi ad azione erbicida nell'ambiente in seguito alla loro distribuzione su un terreno agrario o su una superficie dura costituisce soltanto una parte del problema.

I prodotti che derivano dalla degradazione di tali molecole ad opera degli agenti biotici ed abiotici possono presentare caratteristiche fisico-chimiche diverse rispetto a quelle del composto di origine, così come diverse possono essere le loro dinamiche ambientali.

Un esempio in tal senso è dato dal comportamento dell'acido aminometilfosfonico (AMPA), che

è il principale prodotto della degradazione del glyphosate. È stato infatti osservato che il glyphosate, considerata la molecola tal quale, nonostante la sua elevata solubilità in acqua in determinate condizioni viene disperso con difficoltà dalle precipitazioni. Il glyphosate, però, una volta distribuito viene rapidamente trasformato in AMPA, che è una molecola molto solubile e mobile, che può infiltrarsi con facilità nel terreno o essere facilmente adsorbita dalle particelle colloidali. Infatti, mentre il principio attivo del glyphosate può essere trasportato fino ad una profondità di 25-36 cm, la molecola di AMPA può attraversare il profilo di un suolo giungendo fino 50 cm di profondità. (Fig. 2.16)

È per queste ragioni che le trasformazioni degli erbicidi a carico dei fattori biotici ed abiotici dovrebbero essere sempre considerate quando si effettuano i monitoraggi ambientali, perché i prodotti della degradazione dei

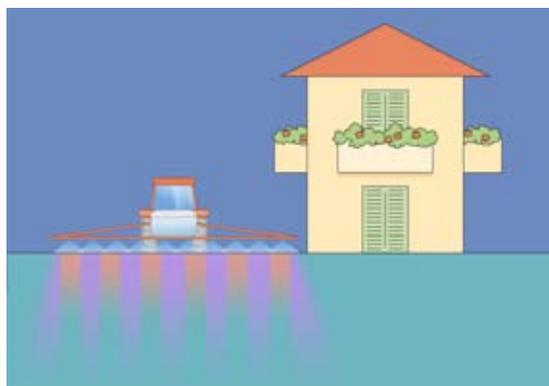


Fig. 2.16 Schema

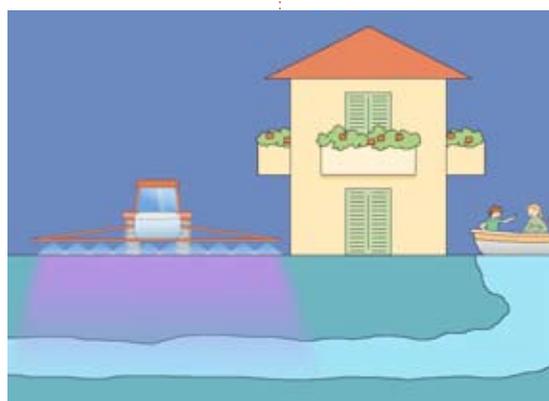


Fig. 2.17 Schema

principi attivi possono essere caratterizzati da più elevati coefficienti di dispersione e da una più elevata tossicità rispetto ai composti di origine. Inoltre, un aspetto importante da segnalare è che alcuni erbicidi possono raggiungere i corsi d'acqua anche durante un periodo in cui non si verificano precipitazioni. Una volta che hanno attraversato il profilo di un terreno, infatti, queste molecole possono essere trasferite da una zona ad un'altra con lo scorrimento sotterraneo delle acque di falda, così come è stato evidenziato da Skark e colleghi e da Ng e Clegg). (Fig. 2.17)

## 2.6. I rischi per la salute derivanti dalla distribuzione di erbicidi

La presenza nell'atmosfera, nel terreno o nelle acque dei prodotti fitosanitari o dei loro metaboliti secondari espone gli organismi viventi, almeno potenzialmente, ad elevati rischi. Tutt'oggi sono ancora dibattuti dal mondo scientifico e medico gli effetti, diretti o indiretti, che queste molecole hanno sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, ed è per questo che le ricerche in questo senso sono sempre più numerose.

Gli erbicidi (e gli agrofarmaci in generale) sono sostanze utilizzate in maniera diffusa, sia in agricoltura che nella gestione del verde in area urbana, sia dai professionisti che dai comuni cittadini. Ciò che preoccupa maggiormente è che la dispersione di queste sostanze segue flussi di larga scala, interessando vaste aree intorno alle zone di distribuzione e coinvolgendo, quindi, non soltanto chi le maneggia direttamente.

Nonostante in alcuni studi non venga riscontrata un'evidente relazione tra l'esposizione ai diserbanti o ad altri agrofarmaci e l'incidenza di gravi patologie umane, in altre ricerche realizzate in tempi più recenti da molti scienziati tale relazione appare più chiara.

Inoltre, nella maggior parte dei casi l'attenzione dei ricercatori è rivolta all'azione che i singoli principi attivi hanno sul metabolismo umano, trascurando il fatto che i formulati commerciali contengono eccipienti che possono aumentare il livello di biodisponibilità e di bioaccumulazione degli stessi principi attivi, aumentandone la tossicità.

# 3 Il controllo non-chimico delle piante spontanee in area urbana

## 3.1. Le motivazioni: l'esempio del Nord-Europa

In Olanda, circa il 40% dell'acqua utilizzata per scopi alimentari viene raccolta dalle acque superficiali in determinate zone del Paese.

La maggior parte delle acque prelevate proviene dai fiumi Mosa e Reno, ed alcune aree del bacino di questi due fiumi includono le città di Amsterdam e Rotterdam.

Nel 1993 l'afflusso di acqua potabile proveniente dal fiume Mosa destinata alla città di Rotterdam fu bloccato per 49 giorni in seguito alla rilevazione di concentrazioni dell'erbicida "diuron" superiori ai limiti consentiti.

Questo evento suscitò grande attenzione da parte dei media e da quel momento fu avviata un'intensa attività di ricerca volta ad individuare ad analizzare le fonti di inquinamento delle acque potabili, tra le quali i diserbanti utilizzati per scopi non agricoli risultarono le principali.

Dato che nello stesso periodo anche in Danimarca ed in Germania si resero evidenti gli effetti negativi che la dispersione degli erbicidi aveva sulla qualità delle acque superficiali potabili, in questa parte dell'Europa Settentrionale, tra la fine del secolo scorso e l'inizio del presente, furono avviati accordi tra le Amministrazioni, i cittadini, le industrie chimiche che producono agrofarmaci e le società distributrici di acque potabili, nonché le principali istituzioni di ricerca scientifica, tesi a determinare una sensibile riduzione dell'impiego di diserbanti su superficie dura.

Il percorso seguito fu quello di:

- prefiggersi un obiettivo preciso in termini di riduzione dell'impiego di agrofarmaci nelle aree non-agricole ed urbane (in Olanda, ad esempio, fu stabilito di ridurre l'utilizzo di agrofarmaci del 43% e le loro emissioni nell'ambiente del 90%);
- informare le municipalità ed i cittadini riguardo all'esigenza di ridurre l'impiego di diserbanti nelle aree caratterizzate da superfici dure;
- pianificare le tipologie di intervento assegnando al contempo le responsabilità dirette;
- definire, sperimentare ed applicare tecniche e strategie innovative per il controllo non-chimico della flora infestante su superficie dura;
- produrre pubblicazioni come manuali tecnici od opuscoli informativi destinati agli operatori del verde pubblico e privato, alle Amministrazioni ed ai cittadini, con lo scopo di educare ad un approccio diverso alla gestione delle infestanti nelle aree non agricole, fornendo nello stesso momento gli strumenti teorici e pratici necessari per poter operare questo cambiamento.

## 3.2. Strategie e macchine operatrici utilizzabili

Il controllo non-chimico della flora infestante su superficie dura viene praticato prevalentemente con metodi diretti facendo ricorso a mezzi fisici (meccanici e termici), ed in misura minore a metodi preventivi ed a sostanze “naturali” ad azione erbicida.

Il controllo non-chimico delle piante spontanee richiede in alcuni casi un approccio più complesso rispetto al diserbo chimico, ma presenta il grande vantaggio di non lasciare residui nell'ambiente dopo l'intervento e di permettere quindi l'immediata fruibilità dell'area trattata.

### 3.2.1. Mezzi meccanici

I mezzi meccanici “innovativi” che sono stati sperimentati con successo in Danimarca, in Olanda ed in altri Paesi del Nord-Europa sono quelli che prevedono l'utilizzo di spazzolatrici rotative, cioè di macchine operatrici equipaggiate con spazzole rotanti su asse orizzontale o verticale con le quali si ottiene un buon controllo delle infestanti in seguito all'azione di lacerazione dei tessuti vegetali e di estirpamento (Fig. 3.1).

Le setole che compongono le spazzole possono essere realizzate in plastica o in metallo, e le attrezzature nel loro complesso possono variare dai semplici carrelli dotati di una o più spazzole (semoventi o spinti dall'operatore), alle attrezzature accoppiabili ad una trattrice, o, infine, alle operatrici semoventi, che presentano il vantaggio di essere dotate di apparato aspirante o spazzante che elimina direttamente i residui formati in seguito all'azione delle spazzole (Fig. 3.2).

Oltre ad esplicare un controllo diretto sulle infestanti, le spazzolatrici svolgono anche un'azione preventiva, in quanto permettono la rimozione parziale

**Fig. 3.1** Due modelli di spazzolatrici impiegate per il controllo fisico delle infestanti su superficie dura: **a)** ad asse verticale; **b)** ad asse orizzontale.





o totale di quei residui (polveri, terra, materiale organico) che tendono ad accumularsi ai bordi delle strade, lungo i cordoli dei marciapiedi o tra le fessure di una pavimentazione, e che rappresentano il substrato su cui le infestanti urbane prevalentemente germinano.

I principali difetti delle spazzolatrici risiedono nella loro ridotta velocità di lavoro, nella necessità di effettuare frequenti interventi di manutenzione, nella loro scarsa efficacia sulle infestanti ben sviluppate o comunque ben affrancate, su superfici non piane, e nell'impossibilità di essere utilizzate in caso di interventi su superfici facilmente danneggiabili dai trattamenti meccanici.

**Fig. 3.2** Spazzolatrice semovente con apparato aspirante.

**Fig. 3.3** Effetto di un trattamento termico sulla vegetazione sviluppatasi su una superficie asfaltata: **a)** appena dopo il trattamento; **b)** a due giorni dal trattamento; **c)** a sette giorni dal trattamento.



### 3.2.2. Mezzi termici

I mezzi termici rappresentano un valido strumento per il controllo diretto delle infestanti in area urbana, e possono essere utilizzati in alternativa o in maniera integrata con i mezzi meccanici, nell'ottica di una gestione non-chimica delle malerbe.

Le attrezzature per il controllo termico delle infestanti basano tutte il loro principio di azione sull'impiego del calore per indurre un rapido innalzamento della temperatura delle parti verdi delle piante, che provoca alterazioni a livello sia fisiologico che citologico, che successivamente determinerà il disseccamento degli organi colpiti (Fig. 3.3).

A livello metabolico l'esposizione delle piante al calore determina la disidratazione dei tessuti, la denaturazione delle proteine e degli enzimi, il cambiamento della conformazione delle membrane cellulari con conseguente aumento della permeabilità in seguito al danneggiamento dei lipidi di membrana, l'alterazione della conduttività stomatica e quindi della fissazione della CO<sub>2</sub> e della sintesi dei carboidrati, nonché l'alterazione dei processi respiratori e della divisione cellulare.

In pratica il calore determina una sorta di "scottatura" o "lessatura" delle parti verdi, e l'effetto che i mezzi termici producono ai danni della vegetazione è in tutto simile a quello di un erbicida chimico ad azione disseccante della parte aerea. La differenza tra i vari tipi di attrezzature per la gestione termica delle infestanti risiede nei diversi mezzi fisici che vengono impiegati per trasmettere il calore ed innalzare la temperatura della zona trattata. Attualmente i metodi più efficienti utilizzano: a) la fiamma libera; b) il vapore; c) l'acqua calda.

Nonostante esistano e siano state sperimentate nel tempo macchine operatrici in grado di utilizzare altri mezzi rispetto a quelli precedentemente elencati per determinare un innalzamento termico nelle piante da trattare (raggi infrarossi, microonde, laser), queste presentano un elevato dispendio energetico, una ridotta capacità di lavoro, una ridotta efficienza rinettante, ed inoltre, come nel caso delle microonde, un potenziale rischio per la salute dell'operatore. Il vapore, l'acqua calda e, in particolare, la fiamma libera, consentono invece un più efficiente controllo delle infestanti, accompagnato da una più elevata capacità operativa, ed è per questo motivo che oggi sono i mezzi più utilizzati in ambito urbano.

### 3.3. Tecniche preventive

Possono essere definiti preventivi tutti quei metodi che minimizzano la necessità di controllo della flora spontanea. Al riguardo, uno dei sistemi più promettenti consiste nell'uso di particolari tessuti per terreno che vengono posti in lamina prima della stesura dell'asfalto, per ovviare ai problemi creati da piante dotate di organi di propagazione vegetativa molto profondi e che hanno quindi la capacità di emergere e crescere, sfondando e danneggiando la superficie. Tali tessuti sono costituiti da filati di polipropilene, che sono praticamente impermeabili dalla parte apicale delle piante che stanno crescendo nel terreno. Per la loro corretta stesura è necessario interporre tra tessuto e asfalto un substrato sicuramente non idoneo alla crescita di piante che se dotate di apparato radicale molto "penetrante" sono in grado di forarlo vanificando l'opera di prevenzione (Fig. 3.4). Utilizzando questa tecnica le superfici asfaltate, lastricate, pavimentate con autobloccanti, etc. risultano quasi totalmente protette dal successivo sviluppo delle avventizie. L'unico problema risiede nel costo molto più elevato di messa in opera che però può risultare economicamente sostenibile in considerazione dell'utilizzazione collettiva delle strade e della successiva bassissima richiesta di operazioni di manutenzione.

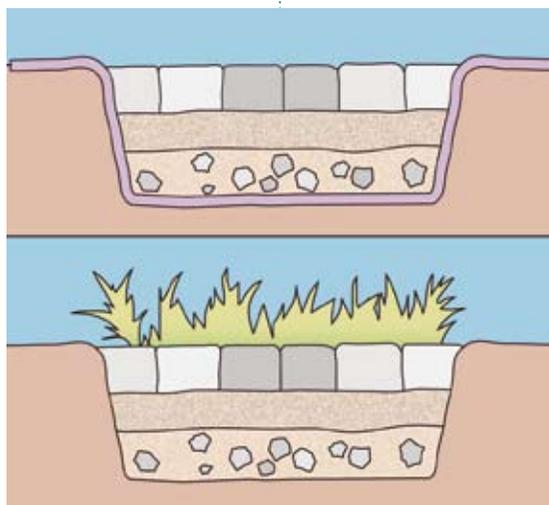


Fig. 3.4 *Schema*

### 3.4 L'utilizzo di erbicidi naturali: una possibile prospettiva per il futuro.

#### 3.4.1 Gli erbicidi "naturali"

Il crescente interesse per le tematiche ambientali ha stimolato il mondo della ricerca scientifica, ad individuare sostanze fitotossiche e/o di microrganismi patogeni utilizzabili per controllare la flora spontanea, con le finalità di rendere disponibili sul mercato erbicidi naturali ad impatto ambientale molto basso o addirittura nullo.

Ovviamente l'impiego di questi prodotti sarebbe molto utile proprio nella gestione delle avventizie in area urbana. Gli erbicidi "ecompatibili" costituiscono una categoria molto eterogenea che comprende: sostanze ad

azione allelopatica, agenti per il controllo biologico ed altri composti di origine naturale.

### 3.4.2 Sostanze ad azione allelopatica

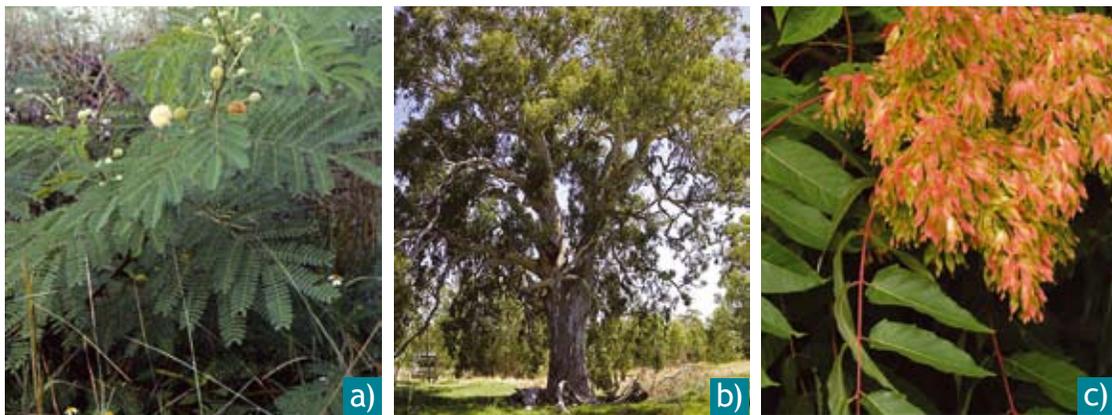
Col termine allelopatia, insieme di fenomeni noti da circa 2500 anni, si indicano i meccanismi chimici del metabolismo secondario, di interferenza tra specie vegetali, che causano un decremento sensibile della vitalità della pianta e/o della germinazione dei semi. Il termine deriva dal greco *Allo* (uno verso l'altro) e *pathos* (sofferenza) e fu introdotto da Molish nel 1937. Sovente l'allelopatia determina decremento della biomassa nella specie che subisce l'effetto. Può riguardare relazioni tra seme e seme, tra pianta e seme oppure tra pianta e pianta e può essere mediata dalle radici, dalle foglie oppure da sostanze volatili emesse da organi epigei o ipogei.

Il fenomeno dell'allelopatia può anche essere ulteriormente definito come un importante meccanismo di interferenza tra le piante dovuta alla produzione ed al rilascio di metaboliti secondari nell'ambiente. Le sostanze chimiche ad azione allelopatica se rilasciate in quantità sufficienti possono rallentare o impedire la crescita di altre specie presenti nelle vicinanze. Le famiglie dei composti allelopatici più importanti sono classificabili in tre categorie distinte: composti volatili, acidi organici e aldeidi e composti fenolici. Il loro rilascio avviene tramite i processi di volatilizzazione (la prima categoria), essudazione radicale, lisciviazione e decomposizione dei residui vegetali (le altre due categorie). L'interferenza dovuta all'azione di sostanze allelopatiche prodotte da una pianta, si esplica attraverso meccanismi fisici o biochimici che portano alla riduzione della crescita di un'altra pianta sensibile che si trova nelle vicinanze.

Alcuni esempi di sostanze ad azione allelopatica sono: la partenina estratta da *Parthenium hysterophorus* L. e l'artemisina estratta da *Artemisia* spp che

**Fig. 3.5** Alcune piante erbacee da cui si estraggono sostanze ad azione allelopatica: **a)** *Parthenium hysterophorus* L.; **b)** *Artemisia annua* L.





si è rivelata essere una fitotossina selettiva (Fig. 3.5). La presenza di sostanze ad azione allelopatica è stata riscontrata anche su essenze arboree: la mimosina estratta da *Leucaena leucocephala* (Lamk) de Wit, oli volatili estratti da *Eucalyptus* spp. e l'ailantone estratto da *Ailantus altissima* (Mill.) Swingle (Fig. 3.6).

Tuttavia, nonostante siano state isolate numerose molecole naturali ad azione allelopatica, la loro applicazione pratica appare ad oggi ancora limitata. Ciò è dovuto principalmente alla difficoltà ed agli alti costi di produzione dei metaboliti naturali o della loro sintesi ed alla loro ridotta persistenza rispetto agli erbicidi chimici tradizionali.

I risultati, attualmente sono limitati nella pratica alla commercializzazione di erbicidi chimici di sintesi il cui meccanismo d'azione è "ispirato" a quello dei composti naturali, tra cui è possibile ricordare il Cinmethylin (principio attivo dell'erbicida CINCH® commercializzato dalla Du Pont®), che rappresenta una nuova classe di erbicidi con struttura chimica simile ai cinneoli, monoterpeni volatili prodotti da diverse specie vegetali (*Laurus nobilis*, *Salvia leucophylla*, *Rosmarinus officinalis*, *Eucalyptus polybractea*, *Artemisia maritima* e *Piper cubeba*) (Figura 3.7).

### 3.4.3 Il Controllo biologico delle infestanti

Il controllo biologico delle infestanti ottenuto per mezzo di organismi antagonisti può essere suddiviso in due strategie:

**Fig. 3.6** Alcune piante ad habitus arboreo da cui si estraggono sostanze ad azione allelopatica:

- a)** *Leucaena leucocephala* (Lamk) de Wit; **b)** *Eucalyptus camaldulensis* Debn; **c)** *Ailantus altissima* (Mill.) Swingle.

**Fig. 3.7** I cinneoli, composti monoterpenici aromatici sono prodotti da molte piante tra cui:

- a)** *Laurus nobilis* L.; **b)** *Salvia leucophylla* Greene; **c)** *Rosmarinus officinalis* L.; **d)** *Eucalyptus polybractea* R. Baker; **e)** *Artemisia maritima* L.; **f)** *Piper cubeba* L.





**Fig. 3.8** La pianta *Chondrilla juncea* è stata accidentalmente introdotta in Australia dall'Europa, il programma di controllo biologico ha previsto l'uso del fungo patogeno *Puccinia chondrillina*.



**Fig. 3.9** La pianta *Rottboellia cochinchinensis* è stata accidentalmente introdotta in America Latina dall'Europa per controllarla biologicamente è stato utilizzato il fungo patogeno *Sporisorium ophiuri*.

**Fig. 3.10** La pianta *Mimosa pigra* è stata accidentalmente introdotta in Messico dall'Australia, il fungo patogeno *Phloeospora mimosae* è stato utilizzato come agente di controllo biologico.



- controllo di una pianta spontanea di nuova introduzione, mediante inserimento nell'ecosistema di un organismo antagonista specifico originario dello stesso areale dell'infestante e che quindi si è coevoluto con essa (metodo inoculativo);
- controllo biologico inondativo, utilizzato per infestanti endemiche, che prevede la produzione massale di organismi antagonisti indigeni della pianta, che verranno poi introdotti nell'ambiente e distribuiti alla stregua di un erbicida classico (metodo inondativo).

Il controllo biologico classico, che prevede l'uso di fitopatogeni per controllare specie infestanti invasive accidentalmente neointrodotte è una branca di ricerca relativamente recente, ma in continuo sviluppo. Il primo patogeno utilizzato per le finalità di controllo biologico classico di una pianta infestante invasiva è stato il fungo *Puccinia chondrillina* rilasciato in Australia nel 1972 per contrastare la pianta *Chondrilla juncea*, accidentalmente introdotta dall'Europa (Fig. 3.8). In considerazione del fatto che queste “nuove” infestanti hanno un vantaggio rispetto alle altre specie spontanee, dovuto all'assenza di antagonisti naturali e che in condizioni ambientali favorevoli possono dar luogo ad una vera e propria “invasione incontrollata” del nuovo areale, il controllo biologico classico rappresenta un mezzo idoneo a riequilibrare questo sbilanciamento dell'ecosistema, attraverso l'introduzione di uno o più organismi antagonisti provenienti dalla zona di origine dell'infestante. E' comunque opportuno precisare che il rilascio di un organismo estraneo in un nuovo ecosistema appare connesso ad una serie di rischi che devono essere attentamente presi in considerazione. Alcuni esempi recenti di impiego efficace del controllo biologico classico sono rappresentati dall'utilizzo del fungo *Sporisorium ophiuri* (Ustilaginales) per contrastare l'infestante *Rottboellia cochinchinensis* (Fig. 3.9) introdotta accidentalmente dall' Europa in America Latina e del Coelomicete *Phloeospora mimosae* per effettuare il controllo di *Mimosa pigra* (Fig. 3.10) introdotta in Messico dall'Australia, con una metodologia che rappresenta un connubio tra il metodo “inoculativo” e quello “inondativo”.

Il controllo biologico inondativo, che prevede l'utilizzo di patogeni indigeni



come “bioerbicidi” ha suscitato un concreto interesse soltanto a partire dai primi anni '70.

Il controllo della flora spontanea, avviene “riproducendo” artificialmente un'epidemia naturale, attraverso una massiccia distribuzione di un organismo fitopatogeno sulle infestanti target.

Questa strategia, che era apparsa inizialmente molto promettente, si è rivelata in seguito problematica a causa di ostacoli non solo di tipo biologico, ma soprattutto di ordine tecnico ed economico.

Tuttavia tra i bioerbicidi registrati appare opportuno ricordare: “Collego ©” a base del fungo *Colleotrichum gloeosporoides* f.sp. *aeschynomene* impiegato per controllare la leguminosa infestante *Aeschynomene virginica* (Fig. 3.11), “De Vine ©” a base di preparato fresco del micete *Phytophthora palmivora* utilizzato per controllare la cucurbitacea *Morrenia odorata* (Fig. 3.12), “Dr Biosedge ©” a base di un ceppo di *Puccinia canaliculata* un patogeno specifico e virulento del temibile *Cyperus esculentus* (Fig. 3.13). Quest'ultimo prodotto era costituito da una miscela di spore del patogeno e una bassa dose di erbicida chimico. Tuttavia la commercializzazione del prodotto è fallita a causa delle difficoltà connesse alla produzione di quantitativi idonei di inoculo del patogeno. Gli altri due prodotti menzionati invece sono stati commercializzati per oltre 15 anni. Nonostante il loro successo tecnologico ed il buon riscontro degli agricoltori, non sono riusciti ad attirare l'interesse delle grandi multinazionali produttrici di agrofarmaci a causa della loro dimensione di mercato molto limitata.

Attualmente i campi d'applicazione più promettenti sono quelli che prevedono l'uso di patogeni polifagi per il trattamento delle ceppaie degli alberi infestanti negli ecosistemi forestali, ed il controllo della *Poa annua* in tappeti erbosi di alto pregio (campi da golf) (Fig. 3.14). A questo riguardo appare opportuno ricordare il CAMPERICO © primo erbicida batterico registrato nel 1997 a base di *Xanthomonas campestris* pv *poae*, un endofita patogeno altamente specifico per la *Poa annua*. Questo prodotto viene distribuito sul tappeto erboso subito dopo lo sfalcio, in modo da consentire la penetrazione del micorganismo all'interno dei tessuti della pianta infestante, attraverso

**Fig. 3.11** La leguminosa infestante *Aeschynomene virginica* viene controllata con un bioerbicida a base del micete *Colleotrichum gloeosporoides* f.sp. *aeschynomene*.

**Fig. 3.12** La pianta *Morrenia odorata* viene controllata con un bioerbicida a base del patogeno *Phytophthora palmivora*.

**Fig. 3.13** L'erbicida Dr. Biosedge ® a base di una miscela di propaguli del micete patogeno *Puccinia canaliculata* e una bassa dose di erbicida chimico di sintesi sarebbe dovuto servire per contrastare le infestazioni della temibile infestante *Cyperus esculentus*, (in foto) tuttavia a causa di ostacoli di ordine tecnologico non è stato mai commercializzato.



Fig.3.14 – Il bioerbicida CAMPERICO a base di un isolato batterico fitopatogeno *Xanthomonas campestris pv poae* viene utilizzato nei campi da golf per contrastare le infestazioni di *Poa annua* (in foto).

le lesioni inevitabilmente prodotte dagli organi di taglio.

In conclusione, in accordo con quanto affermato da Charudattan nel 2005

- le piante infestanti con spiccata capacità di rigenerazione sono più difficilmente controllabili con patogeni, rispetto a quelle che non presentano tale caratteristica;
- l'habitus vegetativo dell'infestante non rappresenta un idoneo criterio di scelta;
- é più facile controllare specie con una elevata omogeneità genetica;
- é di fondamentale importanza abbinare la virulenza dell'agente di controllo biologico alla suscettibilità dell'infestante bersaglio;
- la ricerca sui bioerbicidi dovrebbe essere attuata solo nei casi in cui esiste la prospettiva di un congruo ritorno economico;

#### 3.4.4 Altre sostanze “naturali” ad azione erbicida

Tra le diverse sostanze naturali ad effetto erbicida, che potrebbero proficuamente essere utilizzate nella gestione “sostenibile” della flora spontanea, quelle più promettenti sembrano essere la farina di glutine del mais (FGM) e l'acido acetico (aceto).

La farina di glutine di mais (FGM), costituisce un sottoprodotto dell'industria di raffinazione del mais ed è comunemente utilizzata per l'alimentazione animale. L'azione della FGM, brevettata come erbicida negli USA, è quella di inibire la germinazione, impedendo la formazione dell'apparato radicale. Nonostante le difficoltà iniziali dovute alla non solubilità in acqua di questa sostanza, sembrano sussistere attualmente buone prospettive per il suo utilizzo come erbicida naturale.

Le potenzialità dell'uso dell'aceto come erbicida naturale sono state riscontrate da numerosi studi. L'aceto agisce come un'erbicida di contatto non selettivo, distruggendo le membrane cellulari e provocando quindi il disseccamento dei tessuti. E' opportuno precisare che per avere un'azione erbicida significativa, sono necessarie concentrazioni di acido acetico comprese tra il 10% ed il 20%, di fatto molto più elevate di quelle presenti nell'aceto per uso alimentare (5%). In ottemperanza alle normative in materia di sicurezza l'acido acetico a concentrazioni superiori del 10% risulta “irritante” e quindi deve essere manipolato con cautela. L'utilizzo in area urbana ( e specialmente in area periurbana ) appare promettente, sebbene debba essere attentamente valutato l'effetto corrosivo prodotto dall'acido acetico su materiali “delicati” (es. marmo). L'impiego dell' acido acetico viene attualmente testato nei Paesi Scandinavi per il controllo della flora spontanea nelle aree ferroviarie, nelle piste ciclabili ed in altri contesti periurbani “assimilabili”.

## 4. Il pirodiserbo e gli altri mezzi termici

### 4.1 Definizione e cenni storici

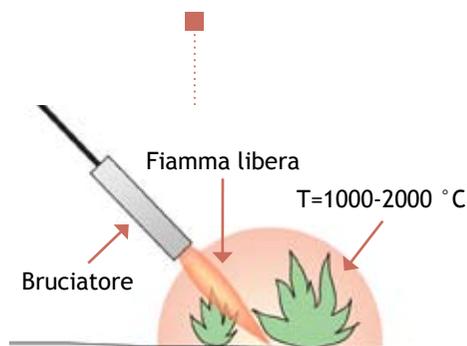
Il pirodiserbo è un mezzo di controllo fisico delle infestanti che agisce in maniera sia selettiva che non selettiva mediante radiazioni termiche generate da apposite attrezzature, rappresentate nella maggior parte dei casi da bruciatori alimentati a gas.

Il meccanismo di azione erbicida del pirodiserbo è quello del così detto “shock termico”, ossia della “lessatura” dei tessuti vegetali sottoposti ad alte temperature (1000-2000°C) per pochi decimi di secondo (Fig. 4.1) ed è stato già descritto in modo esaustivo nel paragrafo 3.22 del presente volume, cui si rimanda per maggiori dettagli.

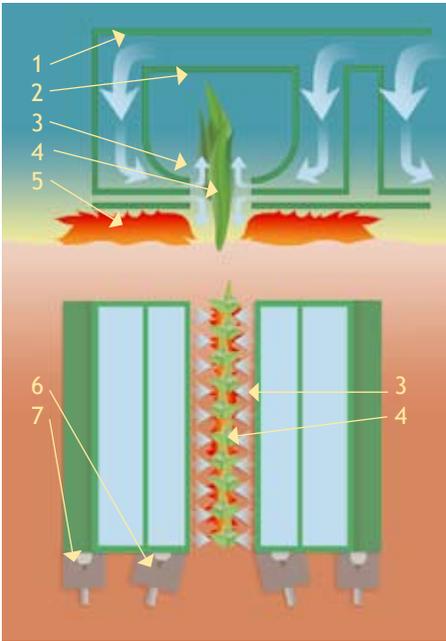
Il primo brevetto di una macchina per il pirodiserbo risale al 1852, e fu depositato da J.A. Graig di Columbia Arkansas (USA). La tecnica del pirodiserbo iniziò ad essere studiata ed introdotta in campo agricolo negli USA intorno agli anni '40 del secolo scorso, dopo le prime esperienze di P.C. Mc Lomore effettuate su coltivazioni di cotone ed ananas negli anni '30. Le ricerche andarono avanti fino agli anni '70 (giungendo alla costruzione di macchine estremamente innovative come quella realizzata da Lalor & Buchele nel 1969 – Fig. 4.2 -), momento in cui quasi si interruppero a causa delle difficoltà riscontrate nella diffusione della pratica del pirodiserbo legate alla crisi petrolifera.

Il lavoro di sperimentazione proseguì, invece, in alcuni Paesi del Nord Europa (Germania, Olanda, Svizzera), dove il pirodiserbo venne impiegato, sia per il controllo delle infestanti (Fig. 4.3) che per la devitalizzazione della parte epigea di alcune colture (patate e cipolle) in fase di pre-raccolta (Fig. 4.4). In Italia, invece, si cominciò a parlare di pirodiserbo all'inizio degli anni '60, e poco dopo cominciarono ad essere impiegate sperimentalmente alcune attrezzature specifiche, in verità con poca convinzione.

Recentemente, il diffondersi delle aziende agricole a conduzione biologica ha spinto il mondo della ricerca a studiare metodi alternativi al diserbo chimico che siano efficaci nel controllo delle erbe infestanti, le quali costituiscono la principale fonte di danno produttivo ed economico soprattutto nelle colture orticole. Diverse sono le ricerche effettuate in Italia ed all'estero che hanno evidenziato come la pratica del pirodiserbo, quando inserita correttamente in uno schema agronomico ed operativo adeguatamente progettato, permetta un ottimo controllo delle infestanti sia da un punto di vista agronomico che economico.



**Fig. 4.1** Meccanismo di azione erbicida del pirodiserbo.



**Fig. 4.2** Schematizzazione della macchina per il pirodiserbo "a cortina d'aria", sviluppata da Lalor e Buchele in sezione ed in pianta: (1) condotto d'aria orizzontale; (2) condotto d'aria verticale; (3) flusso d'aria generato; (4) pianta coltivata (cotone, mais, etc.); (5) fiamma; (6) bruciatore laterale; (7) bruciatore centrale; (rielaborato da Lalor e Buchele, 1968).

**Fig. 4.3** Trattamento selettivo di pirodiserbo effettuato in post-emergenza precoce su cipolla.

I promettenti risultati ottenuti in agricoltura, hanno incoraggiato le Amministrazioni di alcuni Paesi del Nord Europa ad utilizzare questa tecnica anche nella gestione delle infestanti negli ambiti non agricoli, ed in particolare nelle aree urbane su superfici dure. Nel nostro Paese le sperimentazioni relative all'impiego del pirodiserbo per il controllo delle infestanti nei contesti urbani e periurbani sono state piuttosto scarse, nonostante sia evidentemente interessante studiare la gestione termica proprio in aree caratterizzate da condizioni climatiche ed ambientali più favorevoli alla sua applicazione rispetto a quelle dell'Europa del nord, dove l'adozione dei trattamenti a fiamma libera ha dato risultati molto positivi ed è attualmente una pratica ordinaria nella gestione del verde urbano (Fig. 4.5).

Le prime sperimentazioni di controllo delle infestanti in area urbana mediante pirodiserbo veramente rigorose dal punto di vista scientifico sono state condotte in Italia dalla Sezione di Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola

del Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema (MAMA – DAGA) dell'Università di Pisa a partire dal 2004 nella città di Livorno (Fig. 4.6) ed hanno permesso di verificare come l'impiego di attrezzature appropriate a fiamma libera possa determinare una significativa riduzione della copertura di infestanti su diverse tipologie di superficie dura, consentendo





**Fig. 4.4** *Trattamento di pirodiserbo effettuato in pre-raccolta su patata.*

**Fig. 4.5** *Attrezzatura semovente per il pirodiserbo in fase di lavoro in area urbana in Danimarca.*

rispetto alle altre tecniche convenzionalmente utilizzate (applicazione di erbicidi e/o sfalcio – vedi paragrafi 2.2 e 2.3) di controllare il livello di re-infestazione post-intervento in maniera migliore, a costi tendenzialmente più bassi o praticamente comparabili, con un livello di sicurezza dell'operatore decisamente più elevato e con rischi molto praticamente nulli per l'ambiente e per la salute dei cittadini.

## 4.2 Caratteristiche tecniche delle attrezzature per il pirodiserbo

Durante gli anni '30 ed i primi anni '40 le attrezzature utilizzate negli USA per il pirodiserbo derivavano direttamente dalle macchine progettate per effettuare il diserbo non selettivo lungo le linee ferroviarie o i fossati. Queste impiegavano per la generazione della fiamma combustibili quali il petrolio, la benzina o il kerosene, che risultavano poco adatti per un impiego agricolo del pirodiserbo, in quanto producevano una fiamma instabile e di difficile regolazione, potevano provocare gocciolamenti di liquido incombusto e potenzialmente fitotossico dai bruciatori e richiedevano aria compressa o altre soluzioni tecniche per arrivare agli ugelli con sufficiente pressione. Il processo di combustione di tali sostanze, inoltre, risultava inquinante per l'atmosfera.

L'esigenza di adottare un tipo di combustibile alternativo portò, in-



**Fig. 4.6** *Trattamento di pirodiserbo con attrezzatura spalleggiata effettuato a Livorno nel 2004.*



**Fig. 4.7** *Attrezzatura carrellata per il pirodiserbo in area urbana equipaggiata con un bruciatore a infrarosso.*



**Fig. 4.8** *Attrezzatura per il pirodiserbo accoppiata frontalmente alla trattrice e dotata di adeguata copertura per operare nel punto di raccordo tra strada e marciapiede, in fase di lavoro in Danimarca.*



**Fig. 4.9** *Attrezzatura per pirodiserbo spalleggiata (Uliva).*

torno agli anni '50, alla commercializzazione delle prime macchine per il pirodiserbo alimentate a GPL (Gas di Petrolio Liquefatti), una miscela di gas propano (85-90%) e butano (10-15%) resa liquida sotto pressione. A differenza dei combustibili utilizzati nei primi anni di sperimentazione, il GPL presenta caratteristiche migliori, sia come efficienza di utilizzo che di impatto ambientale.

Attraverso l'utilizzo del GPL siamo infatti in grado di:

- ottenere una combustione "pulita" del gas (in pratica i "prodotti finali" sono CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O);
- generare una fiamma stabile e di facile regolazione;
- raggiungere la pressione di esercizio richiesta con semplici soluzioni costruttive;
- mantenere il combustibile in sicurezza senza particolari e costosi accorgimenti tecnici;
- reperire il combustibile facilmente ed a costi sostenibili.

Per queste ragioni le attrezzature per il pirodiserbo ancora oggi sono alimentate a GPL, e le innovazioni tecnologiche hanno reso l'impiego di questo tipo di combustibile sempre più sicuro.

Le attrezzature per il pirodiserbo presenti sul mercato sono dotate di bruciatori a fiamma libera oppure ad infrarossi. I bruciatori a fiamma libera sono indubbiamente i più utilizzati perché termodinamicamente più efficienti e decisamente più versatili. Quelli ad infrarossi, che presentano il vantaggio operativo di non avere fiamma libera, sono meno efficienti termodinamicamente e decisamente troppo fragili (Fig. 4.7).

Inoltre, i bruciatori possono essere liberi oppure dotati di copertura, che può avere varia dimensione e foggia (Fig. 4.8). La copertura del bruciatore permette una migliore utilizzazione del calore prodotto ma limita la versatilità delle attrezzature specialmente in previsione di utilizzi in contesti variegati e su superfici non regolari.

Le macchine per il pirodiserbo nel loro complesso possono essere di diversa tipologia. Le operatrici più piccole e leggere sono di tipo spalleggiato (Fig. 4.9) o carrellate spinte direttamente dall'operatore (Fig. 4.10). Esistono poi attrezzature di dimensioni maggiori accoppiate a macchine semoventi come motocoltivatori o lawn tractors (Fig. 4.11) oppure a trattori (Fig. 4.12). In questo ultimo caso la trattrice può essere di bassa potenza, dato che il peso delle macchine rimane sempre molto limitato ben al di sotto della capacità di sollevamento dei trattori più piccoli.

Una moderna macchina operatrice per il pirodiserbo ha una struttura semplice ed è composta dai seguenti elementi (Fig. 4.13):



**Fig. 4.10** Attrezzature per pirodiserbo carrellate spinte dall'operatore con bruciatori coperti.



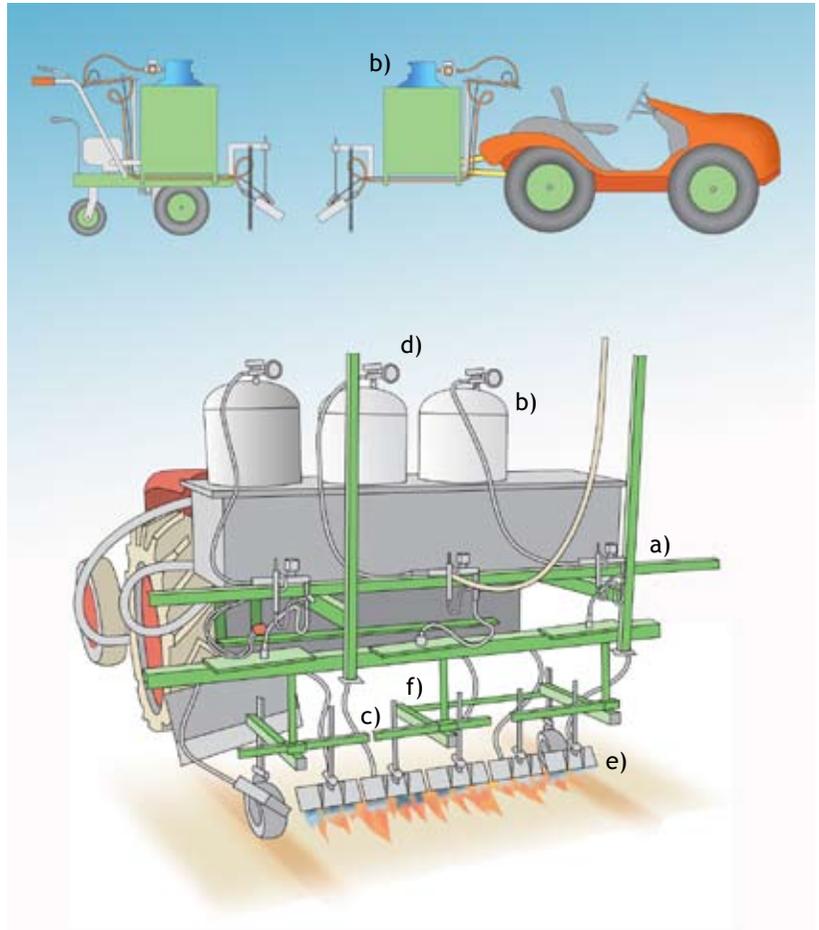
**Fig. 4.11** Attrezzature accoppiate a lawn tractor con bruciatori coperti.



**Fig. 4.12** Operatrice portata per il pirodiserbo, progettata e realizzata presso l'Università di Pisa, accoppiata ad una trattrice di bassa potenza.

**Fig. 4.13** Struttura base di operatrice per pirodiserbo applicata a macchine semoventi.

**a)** telaio; **b)** serbatoi del combustibile;  
**c)** scambiatore termico;  
**d)** dispositivi di regolazione e sicurezza;  
**e)** bruciatori; **f)** dispositivi per mantenere la corretta distanza fra bruciatori e terreno



- telaio;
- serbatoio del combustibile;
- scambiatore termico (non presente sulle attrezzature spalleggiate ed in genere anche su tutte quelle manuali);
- dispositivi di regolazione e di sicurezza;
- bruciatori;
- dispositivi per l'accensione dei bruciatori;
- dispositivi per consentire il mantenimento della corretta distanza tra il bruciatore ed il terreno (non sempre presenti sulle attrezzature manuali).

Il telaio ha la funzione di supportare uno o più serbatoi, lo scambiatore termico (se presente), i dispositivi di regolazione e di sicurezza e i bruciatori

con i relativi meccanismi di supporto e di distanziamento dal terreno. E' poi completato dagli organi di collegamento al mezzo di propulsione.

Il serbatoio del combustibile quasi sempre è costituito da una bombola di GPL commerciale di dimensione variabile tra i 5 kg per le attrezzature spalleggiate, i 15 kg per quelle carrellate ed i 25 kg per quelle collegate ad una operatrice semovente o di tipo portato. Nelle macchine ad elevata capacità di lavoro vengono usate una serie di bombole. Per problemi di omologazione questa soluzione è preferita a quella che prevede l'utilizzo di un unico serbatoio periodicamente rifornito.

Lo scambiatore termico è impiegato soltanto nelle macchine semoventi o portate dalla trattrice e la sua funzione è quella di fornire calore alle bombole di GPL durante il trattamento di pirodiserbo.

Il GPL è una miscela di gas che evapora a temperatura ambiente e viene quindi immagazzinata sotto pressione all'interno di apposite bombole di metallo. Durante l'erogazione del GPL, avviene un cambiamento di fase, da quella liquida a quella gassosa che richiede energia. Questa richiesta di energia può essere tale (e lo è praticamente quasi sempre nelle condizioni operative) da non poter essere soddisfatta pienamente dallo scambio di calore tra la superficie della bombola e l'aria esterna. Ciò comporta praticamente il raffreddamento della bombola che determina una progressiva diminuzione della pressione di esercizio del gas con conseguente "malfunzionamento" del bruciatore e quindi della macchina nel suo complesso. Per ovviare a questo problema è possibile fornire calore alle bombole per mezzo di uno scambiatore termico.

Gli scambiatori termici che si trovano in commercio sono normalmente costituiti da una tramoggia metallica riempita di acqua, in cui passano "serpentine" percorse da aria calda che permettono lo scambio termico, al cui interno vengono collocate le bombole. L'acqua viene riscaldata utilizzando il calore prodotto, o da una fiamma (che di solito viene alimentata prelevando una parte del GPL destinato ai bruciatori), oppure, sulla base di un'idea del tutto originale ed innovativa scaturita presso la sezione MAMA del DAGA dell'Università di Pisa, recuperando i gas di scarico della macchina motrice. I dispositivi di regolazione comunemente usati sulle attrezzature sono (Fig. 4.14):

- una valvola di regolazione della pressione, che permette l'impostazione iniziale ed il mantenimento costante del valore impostato della pressione durante il funzionamento della macchina;
- un manometro per visualizzare la pressione di esercizio del GPL nel circuito di alimentazione;

- una valvola con circuito di regolazione di minimo ed una di massimo flusso del gas per ogni bruciatore: in accensione e voltata lavora solamente la valvola di minimo che è a flusso regolabile a cui si sovrappone quella di massimo durante la fase di lavoro che ha funzionamento di tipo on/off;
- una serie di valvole aperto/chiuso poste a monte del circuito di alimentazione di uno o più bruciatori, che permettono l'afflusso del gas ai diversi settori della macchina.



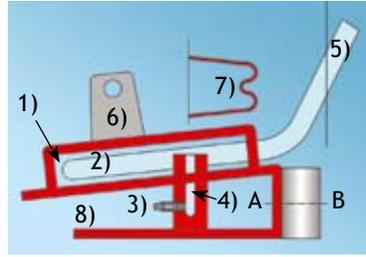
**Fig. 4.14** Quadro comandi di efflusso del GPL (a) e regolatore di pressione e manometro (b) di cui sono equipaggiate macchine complesse realizzate dal MAMA DAGA dell'Università di Pisa.

I dispositivi di sicurezza consistono di solito in una termocoppia collegata ad un'elettrovalvola posta nel circuito di alimentazione di ciascun bruciatore, con la funzione di bloccare la fuoriuscita del gas in caso di assenza di fiamma o di pressione insufficiente.

Le attrezzature manuali, ovviamente non presentano tutti questi dispositivi, ma hanno una valvola di regolazione della pressione ed il manometro e la quantità di gas in uscita viene regolata intervenendo sui rubinetti di massimo e minimo e sul grilletto posti sull'impugnatura della lancia manuale (Fig. 4.15).

Il bruciatore è l'elemento più importante della macchina poiché da esso dipende la formazione della fiamma e quindi il risultato operativo. Lo scopo è ottenere una fiamma stabile, ben delimitata ai lati e di forma regolare che mantenga le temperature più elevate in prossimità del bersaglio al variare delle regolazione e non abbia rilevanti moti convettivi e riflessioni verso le aree esterne a quella da trattare.

Esistono fondamentalmente due tipi di bruciatori alimentati a GPL: quelli



**Fig. 4.15** Impugnatura di una lancia manuale con rubinetti di minimo e massimo e grilletto di parzializzazione del flusso.

**Fig. 4.16** Schematizzazione di un bruciatore "self-vaporizing": (1) camera di evaporazione; (2) gas liquido; (3) ugello; (4) gas evaporato; (5) condotto del gas liquido; (6) attacco del bruciatore; (7) prospetto del settore A-B; (8) bocca di uscita della fiamma (rielaborato da Garcea, 1987).

che impiegano il combustibile in forma gassosa, e quelli che lo utilizzano in forma liquida, definiti "self-vaporizing". I self-vaporizing sono dotati di una camera, riscaldata dalla fiamma da essi stessi generata, al cui interno avviene la vaporizzazione del combustibile (Fig. 4.16). La complessità dei bruciatori self-vaporizing e dei circuiti connessi al loro utilizzo e la comparsa dei primi scambiatori termici efficienti ha comportato l'affermazione dei bruciatori che utilizzano combustibile in forma gassosa.

Il primo modello di bruciatore a GPL allo stato gassoso di successo fu progettato da H.T. Barr a metà degli anni '40, ed era a sezione circolare. All'inizio degli anni '60 i bruciatori più diffusi erano del tipo "Stoneville" a profilo trapezoidale, e del tipo "Arkansas" con camera di combustione orizzontale e deflettore inclinato di 30°.

Attualmente le attrezzature per il pirodiserbo disponibili in Italia sono equipaggiate con bruciatori "a pentola" o "a bacchetta". I bruciatori a pentola (Fig. 4.17), hanno un unico ugello all'interno di una sorta di "carburatore" che sfrutta l'effetto Venturi posto alla base di un cilindro di acciaio che costituisce il corpo del bruciatore stesso, e producono una fiamma cilindrica che determina un forte riscaldamento molto localizzato (Fig. 4.18).



**Fig. 4.17** Attrezzatura carrellata equipaggiata con bruciatore a pentola in fase di lavoro presso l'orto botanico di Copenaghen.

**Fig. 4.18** Fiamma cilindrica ed allungata prodotta da un bruciatore a pentola.



**Fig. 4.19** Bruciatori a bacchetta in funzione a regime (sinistra) ed al minimo (destra).

**Fig. 4.20** Bruciatore a bacchetta equipaggiato con ugelli a turbolenza.

**Fig. 4.21** Miscelatore per bruciatori a bacchetta



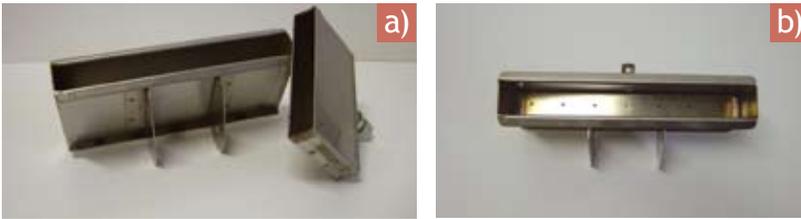
Il bruciatore a bacchetta ha subito negli ultimi tempi un'evoluzione (Fig. 4.19). Infatti i primi modelli erano costruiti utilizzando una serie di ugelli a turbolenza posti in fila lungo un profilato di sezione quadra o rettangolare (Fig. 4.20) alloggiato all'interno di una copertura metallica di protezione in acciaio inox. La copertura metallica che risulta essere proiezione del profilato (che è tuttora parte fondamentale del bruciatore) ha lo scopo di ridurre l'influenza dei fattori esterni ambientali, convogliare la fiamma e darle una forma ottimale.

Attualmente, in seguito a studi specifici effettuati principalmente presso l'Università di Pisa, proprio sulla combustione del GPL e sull'efficienza, funzionalità e semplicità di costruzione ed impiego dei bruciatori è stata utilizzata una soluzione innovativa consistente nell'impiego di un miscelatore dotato di ugello (Fig. 4.21), che sfrutta l'effetto Venturi, posizionato esternamente al corpo del bruciatore. E' previsto quindi un solo ugello esterno posizionato all'interno di un

miscelatore generalmente avvitato sulla bacchetta realizzata in acciaio inox che risulta dotata pertanto soltanto di fori calibrati, che rispetto agli ugelli in ottone dei primi modelli, possono avere diametro ben superiore perché svincolati dalla funzione di miscelazione aria-gas e sono esenti da problemi di ossidazione che ne vari il diametro fino all'otturazione. In tal modo aumenta l'efficienza e soprattutto l'affidabilità dei bruciatori, in quanto viene mantenuta costante la composizione della miscela aria-GPL e vi sono rischi molto contenuti di malfunzionamenti dovuti proprio ad otturazioni parziali o totali dei fori di uscita.

Il risultato finale è rappresentato da bruciatori facili da costruire, affidabili,

connessi con consumi di GPL decisamente ridotti rispetto agli altri ed in grado di produrre una fiamma piatta, ben delimitata sui lati e dalla forma “a spazzola” (Fig. 4.22).



**Fig. 4.22** Bruciatori a bacchetta costruiti presso la Sezione MAMA del DAGA dell'Università di Pisa.

I bruciatori a bacchetta hanno generalmente larghezze variabili da 10 a 50 cm. Le larghezze inferiori sono utilizzate per le attrezzature manuali mentre quelle maggiori per macchine dotate di notevole fronte e capacità di lavoro. Non sono usate larghezze superiori ai 50 cm perché i bruciatori oltre tale misura divengono pesanti da maneggiare e l'attrezzatura nel complesso tende a perdere di versatilità.

Prove sperimentali in ambiente controllato effettuate presso l'Università di Pisa hanno permesso di verificare come il bruciatore a bacchetta consenta di ottenere prestazioni ottimali in termini di consumo orario di GPL e di controllo delle infestanti, e che quindi sia, tra i vari modelli, quello più indicato per effettuare trattamenti di pirodiserbo che abbiano una buona efficacia rinettante e che siano sostenibili economicamente.

L'accensione dei bruciatori è di tipo manuale. I dispositivi per l'accensione dei bruciatori, di solito presenti solo nelle macchine di maggiori dimensioni, sono in genere costituiti da una piccola lancia metallica collegata al circuito del GPL mediante tubi in gomma. L'operatore accende la fiamma sul cannello e poi lo avvicina ai singoli bruciatori per determinarne l'accensione.

I meccanismi utilizzati per mantenere la corretta distanza tra il bruciatore ed il terreno sono di vario tipo a seconda della complessità e dell'utilizzo della macchina: possono essere semplici ruote aggiunte alla lancia dell'operatore nelle attrezzature spalleggiate (Fig. 4.23), oppure parallelogrammi articolati di varia complessità nelle macchine di maggiori dimensioni. La distanza del bruciatore dal terreno e la sua inclinazione rispetto ad esso sono regolazioni che

**Fig. 4.23** attrezzatura spalleggiata equipaggiata con ruota preposta per la regolazione della distanza tra bruciatore e terreno.





**Fig. 4.24** *L'impiego di attrezzature manuali o semoventi con operatore al seguito impone di utilizzare velocità di avanzamento ridotte (2-3 km/h al massimo) associate a basse pressioni di esercizio del GPL (in genere 0,2 MPa).*

interessata dal trattamento.

E' opportuno sottolineare il fatto che misure sperimentali effettuate su mais hanno evidenziato come l'esposizione di una pianta alla fiamma di un bruciatore alla temperatura di circa 1000 °C e per il tempo ordinario di un trattamento di pirodiserbo induce l'innalzamento della temperatura interna delle foglie fino a 60 °C, che è sufficiente per determinare un marcato squilibrio metabolico.

Una caratteristica tecnica fondamentale delle attrezzature per il pirodiserbo che ne condiziona profondamente le prestazioni operative è il consumo dei bruciatori. Il consumo orario dei bruciatori (espresso normalmente in kg/h) dipende ovviamente dalle loro caratteristiche costruttive e dalla pressione di esercizio e viene determinato sperimentalmente per pesate successive rapportate al tempo di funzionamento dopo una necessaria ottimizzazione termodinamica da effettuarsi in laboratorio mediante apposita strumentazione. Il consumo di GPL per unità di superficie (normalmente espresso in kg/ha) si ottiene moltiplicando il consumo orario di tutti i bruciatori utilizzati della macchina per il tempo operativo di funzionamento rapportato all'unità di superficie di riferimento.

A parità di fronte di lavoro, quindi, i due parametri che incidono sul consumo di GPL sono la velocità di avanzamento e la pressione di esercizio utilizzata. A pressioni e velocità elevate corrispondono infatti consumi dello stesso ordine di grandezza di quelli relativi a pressioni e velocità ridotte (Fig. 4.24). Ad esempio un consumo di 22-25 kg/ha di GPL può essere ottenuto con velocità di 3, 5, 7, e 9 km/h adottando pressioni di esercizio del gas

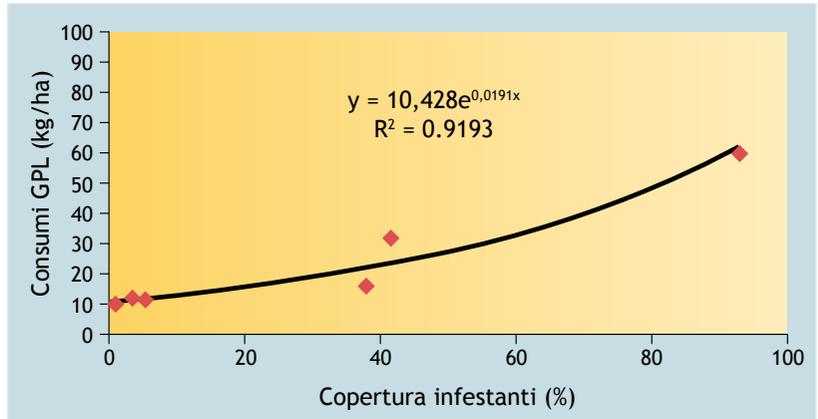
devono essere effettuate con attenzione affinché il diserbo termico sia efficace. La temperatura al livello del terreno, infatti, tende a distribuirsi in modo differente al variare della distanza del bruciatore dal suolo e dell'inclinazione del bruciatore stesso. Da studi sperimentali condotti presso la Sezione MAMA del DAGA dell'Università di Pisa è emerso che posizionando i bruciatori a bacchetta a 5, 7,5 e 10 cm di altezza e con inclinazione di 25°, 35° e 45°, scegliendo la combinazione ottimale fra tali valori a seconda delle condizioni operative (tipo di superficie, tipologia delle piante avventizie e loro stadio di sviluppo, etc.), la temperatura della fiamma (in questo caso circa 1600 °C) è piuttosto omogenea su tutta la superficie



rispettivamente pari a 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 MPa. Ottimizzare questi due parametri in funzione del tipo di trattamento che deve essere eseguito risulta fondamentale per ridurre sia i tempi di lavoro che il consumo di gas e di conseguenza per massimizzare le prestazioni operative dell'attrezzatura. Nonostante le temperature raggiunte nella zona interessata dalla fiamma siano alte indipendentemente dalla pressione di esercizio del GPL impiegata, utilizzare pressioni di esercizio più elevate permette di aumentare l'energia con cui la fiamma giunge sul terreno e sulle piante, nonché la superficie e la lunghezza della fiamma stessa. Da una sperimentazione condotta presso l'Università di Pisa emerge, inoltre, che passando da una pressione di 1 bar ad una di 4 bar vi è un incremento della superficie della fiamma del 142%, e della sua lunghezza del 66%. L'impiego di pressioni elevate permette, quindi, di ridurre il tempo di esposizione al calore necessario per eseguire correttamente il trattamento; perciò impiegare attrezzature collegate ad operatrici semoventi oppure portate da una trattrice, permette di procedere a velocità più sostenute (Fig. 4.25).

**Fig. 4.25** *L'utilizzo di attrezzature portate dalla trattrice o semoventi con operatore a bordo consente di abbinare elevate velocità di avanzamento (7-9 km/h) ad elevate pressioni di esercizio del GPL (0,3-0,4 MPa), mantenendo contenuto il consumo di gas per unità di superficie, ma aumentando considerevolmente la capacità di lavoro del cantiere.*

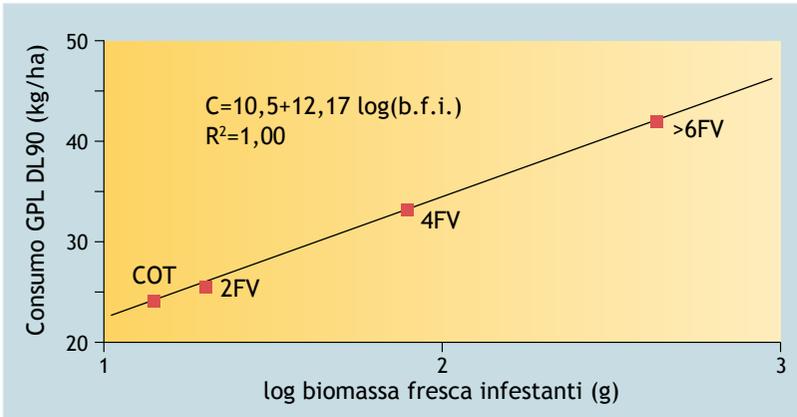
**Fig. 4.26** Aumento del consumo di GPL all'aumentare della copertura delle infestanti rilevata a Livorno su terra battuta nel 2004.



L'intervento di pirodiserbo deve rispondere ad esigenze economiche, energetiche, tecniche ed organizzative. Trovare il giusto rapporto tra velocità di avanzamento (o tempo di esposizione alla fiamma) e pressione di esercizio del GPL non deve servire soltanto ad ottimizzare i consumi di combustibile, ma deve portare ad ottenere come risultato finale soprattutto una significativa riduzione delle infestanti.

Come evidenziato da alcuni Autori nord-europei e nord-americani (e confermato da studi effettuati a partire dal 1994 presso l'Università di Pisa), il consumo di GPL aumenta progressivamente con l'aumento della copertura e quindi della biomassa delle infestanti e l'avanzare dello stadio fenologico, poiché intervenire sulle infestanti quando queste sono ben sviluppate costringe ad elevare i tempi di esposizione alla fiamma o la pressione di esercizio del gas (Fig. 4.26). Per massimizzare l'efficacia del trattamento termico e ridurre i costi di intervento, quindi, è necessario impostare la gestione delle infestanti in modo tale da operare quando queste sono in fase giovanile, riducendo così al minimo il tempo di esposizione al calore generato dalla fiamma. Alcune ricerche specifiche hanno infatti dimostrato che le piante allo stadio di foglie cotiledonari o di prime foglie vere vengono maggiormente danneggiate sia a livello vascolare che citologico dalle alte temperature rispetto a quelle ad uno stadio fenologico più avanzato (Fig. 4.27).

Questo approccio risulta valido, inoltre, non soltanto sul piano economico ed energetico, ma anche tecnico, in quanto impedisce alle infestanti trattate di raggiungere la fase di fioritura (con effetto positivo sulla riduzione della flora potenziale) e di imprimere alle specie perennanti un ripetuto stress che, con il tempo, determina l'esaurimento degli organi di riserva e quindi la devalidazione della pianta.



**Fig. 4.27** Andamento del consumo di GPL per il controllo del 90% di piante di *Sinapis alba* sottoposte a pirodiserbo in funzione del loro stadio di accrescimento e del logaritmo naturale della loro biomassa (risultati ottenuti in condizioni controllate presso l'Università di Pisa nel 1994).

### 4.3 Macchine per il controllo termico delle infestanti con il vapore, l'acqua e l'aria calda

Il vapore e l'acqua calda come l'aria calda sono mezzi che servono, al pari della fiamma libera, per trasferire calore alle piante infestanti e provocarne il disseccamento.

Le macchine che producono aria calda per il controllo delle infestanti sono state costruite e testate principalmente per scopi sperimentali ma non sono praticamente utilizzate per la loro scarsa efficienza (Fig. 4.28).

Al contrario le macchine a vapore o ad acqua calda (Fig. 4.29) vengono utilizzate in Svezia, Danimarca ed in altri Paesi del Nord Europa, in alternativa al pirodiserbo ed ai mezzi meccanici, per il controllo delle infestanti lungo



**Fig. 4.28** Macchina che produce aria calda per il controllo delle infestanti.



**Fig. 4.29** *Macchine a vapore per il controllo delle infestanti in fasedi lavoro in area urbana (a) e su un'autostrada (b).*

le linee ferroviarie, i canali o sui bordi delle piste ciclabili, poiché con l'uso di tali operatrici non vi è rischio di incendio, di danneggiamento di cavi e di rivestimenti di superfici, e non è necessario il ripristino del pietrisco dopo il trattamento.

Le macchine sono essenzialmente costituite da un serbatoio contenente acqua, da una caldaia, da una pompa che mette in pressione il liquido e da una serie di tubazioni che lo portano agli ugelli per la sua distribuzione. In alternativa, per le macchine che utilizzano il vapore e per trattamenti su altre tipologie di superfici dure, la distribuzione avviene a mezzo di apposite lance dotate di diffusori recanti un numero adeguato di ugelli, collegate tramite condotti flessibili al generatore posto sulla macchina.

Rispetto alle macchine a fiamma libera, quelle che utilizzano il vapore o l'acqua calda determinano, a parità di velocità operativa, un riscaldamento della vegetazione e delle superfici trattate più ridotto di circa un quarto. Di conseguenza per trasferire la stessa quantità di energia termica di una fiamma libera alimentata a GPL, con le macchine a vapore o ad acqua calda è necessario aumentare i tempi di esposizione delle infestanti al trattamento. Questo significa che è necessaria più energia per trasferire la stessa quantità di calore ed in altre parole che un trattamento con vapore od acqua calda è più dispendioso energeticamente rispetto ad un intervento effettuato con fiamma libera.

È anche vero, però, che il “calore umido” trasferito nel caso di impiego di vapore o acqua calda, ha capacità di penetrare nei tessuti ben superiore rispetto a quello di una fiamma libera e questo aspetto potrebbe renderlo interessante per un “rapido” controllo delle piante perennanti che sono quelle più difficilmente gestibili con il pirodiserbo, in quanto occorrono molti interventi in successione per la loro definitiva devitalizzazione.

Le macchine operatrici che producono vapore ed acqua calda, inoltre, sono ingombranti e pesanti, consumano molta acqua e pertanto necessitano di

serbatoi molto pesanti oppure di frequenti rifornimenti di acqua (che deve essere di buona qualità), producono elevate quantità di emissioni rumorose durante il funzionamento e se la caldaia è a gasolio, quantità non trascurabili di inquinanti, e sono complessivamente meno versatili delle attrezzature per il pirodiserbo.

Ciononostante, l'impiego del vapore e dell'acqua calda vengono ancor oggi studiati, e le applicazioni nella gestione delle infestanti in area urbana (e soprattutto periurbana) possono essere, almeno in certi casi, molto interessanti (vedi capitolo 7).

#### 4.4 I vantaggi dell'impiego del pirodiserbo per la gestione delle infestanti in area urbana

Il pirodiserbo, come tutti i mezzi termici di controllo delle infestanti, ha il grande vantaggio di non disperdere sostanze potenzialmente tossiche nell'atmosfera e di non lasciare residui sul terreno e sulle piante.

Questa caratteristica rende il pirodiserbo una tecnica che può sostituire l'impiego degli erbicidi di sintesi nella gestione delle malerbe negli ambiti non agricoli ove specifiche normative rendono nella pratica inattuabile (o comunque difficilmente attuabile) il diserbo chimico, come nel caso della Regione Toscana (Regione Toscana, L.R. n. 36/99) (vedi paragrafo 2.3).

Il pirodiserbo, inoltre, durante la fase operativa non proietta gli oggetti liberi contundenti che si possono trovare sul terreno, non danneggia le superfici dure e non facilita la disseminazione o la propagazione delle piante spontanee. Inoltre questa tecnica consente di ridurre considerevolmente i tempi di lavoro rispetto all'uso del decespugliatore (poiché le velocità di avanzamento sono relativamente elevate) e soprattutto, consente di azzerare l'impiego di manodopera ed i costi complessivi legati alla raccolta ed allo smaltimento in discarica della biomassa vegetale tagliata (vedi paragrafo 2.2).

Sul piano della tutela della salute dei lavoratori il pirodiserbo rappresenta un notevole passo in avanti rispetto ai mezzi oggi comunemente utilizzati.

Gli operatori, infatti, non entrano in contatto con sostanze pericolose dal punto di vista tossicologico, e, nel caso dell'utilizzo di attrezzature spalleggiate o carrellate (Fig. 4.30), vedono in pratica annullati i danni da vibrazione al sistema mano-braccio e da rumore al sistema uditivo, che sono comuni tra chi è abituato ad utilizzare professionalmente i decespugliatori.

Tecnicamente, infine, il controllo delle infestanti su superficie dura per mezzo del pirodiserbo risulta estremamente efficace ed efficiente. L'efficacia è garantita dal fatto che, seppur con tempi diversi in funzione delle specie ve-



**Fig. 4.30** *L'impiego di attrezzature carrellate per il pirodiserbo non sottopone l'operatore ad alcun rischio derivante da esposizione a vibrazioni ed a rumore.*

**Fig. 4.31** Risultati ottenuti dopo 6 mesi di gestione differenziata a Livorno nel 2004 su aiuole spartitraffico in terra battuta: evidente maggiore efficacia rinettante del pirodiserbo (a) rispetto all'impiego di erbicidi chimici (b).



getali e delle condizioni ambientali, interventi frequenti e rapidi consentono di ridurre progressivamente la densità sia delle piante annuali che perennanti, seppur con un effetto più marcato sulle dicotiledoni che sulle monocotiledoni, e di ridurre la densità della flora potenziale (Fig. 4.31). Inoltre, dato che il calore diffonde anche nelle fessure e negli interstizi delle superfici, delle murature e delle pavimentazioni, con gli interventi di pirodiserbo è possibile riuscire a danneggiare anche le gemme, i meristemi e le piantule

**Fig. 4.32** Risultati ottenuti dopo 6 mesi di gestione differenziata a Livorno nel 2004 su superficie inghiaziata: evidente maggiore efficacia rinettante del pirodiserbo (parcella più vicina) rispetto all'impiego di erbicidi chimici (parcella più lontana).



protette da queste strutture, e quindi migliorare la qualità dei trattamenti (Fig. 4.32).

Se vengono rispettate alcune regole precauzionali elementari, l'impiego di fiamme libere non costituisce di per sé una fonte di pericolo. Anche se i trattamenti di pirodiserbo non comportano la combustione delle piante verdi, può capitare che la fiamma determini la combustione di parte del materiale presente nell'area da trattare (residui vegetali essiccati, carta, etc.).

Generalmente, grazie soprattutto alla rapidità con cui si esegue l'intervento di pirodiserbo, la combustione interessa soltanto una parte del materiale secco, ma è sufficiente eliminarlo preventivamente dalla zona per mezzo di uno spazzamento (manuale o meccanico) per evitare questo inconveniente.

#### 4.5 Ideazione, progettazione e realizzazione di attrezzature e macchine operatrici innovative per il pirodiserbo in area urbana

L'esigenza di rendere disponibili sul mercato attrezzature appropriate, ottimizzate nelle singole componenti e nel complesso e pienamente idonee ad effettuare trattamenti di pirodiserbo in ambito urbano e periurbano nei contesti tipici delle città Italiane ed in generale degli ambienti Mediterranei ha portato la Sezione MAMA del DAGA dell'Università di Pisa, nell'ambito di progetti di ricerca specifici a studiare, progettare, realizzare, testare ed ottimizzare una serie di attrezzature appropriate.

Sono state in tal modo costruite due attrezzature manuali e tre semoventi realizzando le diverse componenti con tecnica modulare, partendo dai bruciatori per arrivare allo scambiatore di calore.

Le diverse parti delle macchine sono state realizzate con la stessa idea progettuale e realizzativi, ma con forme e dimensioni tali da accordarsi con i vincoli e con le necessità costruttive. Le attrezzature sono state inoltre costruite con la finalità di effettuare i trattamenti termici in condizioni operative diverse.

Per quanto riguarda le attrezzature manuali, idonee per trattamenti su superfici ridotte e non raggiungibili da mezzi dotati di ruote, è stato realizzata una operatrice spalleggiata, caratterizzata da un'interfaccia ergonomica ottimale e da un buon livello di "comfort" per l'operatore (Fig. 4.33). A tale scopo, è stato modificato uno zaino da decespugliatore spalleggiato dotandolo di un alloggiamento funzionale per una bombola di GPL da 5 kg (Fig.



**Fig. 4.33** Attrezzatura per pirodiserbo di tipo spalleggiato

**Fig. 4.34** Zaino ergonomico idoneo per il trasporto di bombola di GPL



4.34). La massa dello zaino è pari a 3,5 kg e quello complessiva del serbatoio è pari 11 kg (di cui 6 kg di tara dei serbatoi standard commerciali).

Al tempo stesso sono state realizzate anche una serie di nuove lance manuali, alcune adatte al trattamento delle superfici orizzontali ed altre (più corte e dotate di una diversa impugnatura) idonee per intervenire sulle superfici verticali (Fig. 4.35). Le lance per il trattamento della superfici orizzontali sono state equipaggiate con una tracolla ed un'impugnatura trasversale più lunga di quella sperimentata in passato. Questi due semplici accorgimenti tecnici hanno reso l'impiego della nuova lancia particolarmente confortevole ed ergonomico per l'operatore.

**Fig. 4.35** Lancia idonea per trattamenti su pareti verticali (a) e su superfici orizzontali (b)



Queste attrezzature manuali sono state equipaggiate con bruciatori larghi 10 e 15 cm, a seconda delle esigenze, con una valvola di regolazione della pressione ed un manometro e con un'impugnatura dotata di rubinetti di massimo e minimo e di un grilletto per regolare la quantità di gas in uscita.

Per l'uso delle lance manuali è stato, inoltre, realizzato un carrello con ruote pneumatiche completamente ripiegabile di peso complessivo di 11 kg su cui è possibile alloggiare una bombola con capacità di 15 kg di gas e la lancia del pirodiserbo durante gli spostamenti in condizioni di estrema sicurezza (Fig. 4.36). Il carrello una volta ripiegato può essere agevolmente caricato su una qualsiasi autovettura (Fig. 4.37). L'uso del serbatoio di dimensioni maggiori associato ad una lancia con bruciatore largo 15 cm permette una notevole autonomia di lavoro e offre garanzie di uno scambio termico sufficiente senza accorgimenti specifici anche con i climi più rigidi.

Le macchine operatrici motorizzate sono state realizzate per migliorare le prestazioni complessive dei trattamenti termici a fiamma libera (eliminazione delle inevitabili sovrapposizioni, che si verificano utilizzando le lance manuali; aumento della capacità operativa; riduzione dei consumi di GPL e dei costi d'esercizio). L'idea di base è stata quella di costruire attrezzature di facile utilizzo, maneggevoli, versatili e con un ingombro adeguato ai contesti urbani.

Il primo modello semovente realizzato è stata una macchina dotata di quattro ruote (Fig. 4.38), di cui le anteriori motrici e le posteriori sterzanti (che garantiscono una elevata manovrabilità), equipaggiata con un motore a ciclo Otto a quattro tempi avente potenza massima pari a 4,5 kW e con un cambio meccanico a cinque rapporti più la retromarcia. La velocità dell'operatrice può variare da 1 fino a 5 km/h.

La macchina, al netto dei serbatoi di GPL e dell'acqua che funge da scambiatore termico, pesa 139 kg ed è lunga 148 cm, alta 103 cm e larga dai 95 ai 140 cm (a seconda del tipo di conformazione).

L'operatrice per il pirodiserbo è equipaggiata con 5 bruciatori a bacchetta larghi 25 cm, inseriti frontalmente su di un piccolo telaio, e con una lancia, per trattamenti di rifinitura manuale in punti particolarmente difficili, a sua volta dotata di un bruciatore a bacchetta largo 15 cm (Fig. 4.39).

I due bruciatori esterni possono essere facilmente regolati per trattamenti



**Fig. 4.36** Attrezzatura carrellata con lancia manuale



**Fig. 4.37** Carrello ripiegato.



**Fig. 4.38** Attrezzatura per pirodiserbo semovente.

**Fig. 4.39** Operatrice per pirodiserbo in fase di lavoro.



**Fig. 4.40** Operatrice per pirodiserbo con bruciatori regolati per trattamenti laterali: a) particolare b) macchina in lavoro.

sia frontali che paralleli alla direzione di marcia, variando l'angolazione degli elementi laterali del telaio (Fig. 4.40).

Le due parti laterali del telaio sono connesse alla parte centrale con apposite cerniere elastiche, per prevenire danni in caso di urto (Fig. 4.41). L'altezza e l'inclinazione dei bruciatori rispetto al terreno possono essere facilmente regolate a seconda della tipologia di superficie da trattare. La lancia è equipaggiata con un tubo per gas di lunghezza pari ad 8 m, la cui estensione può essere regolata grazie ad un arrotolatore automatico appositamente modificato per l'impiego del GPL.

La pressione di esercizio del GPL può variare da 0,1 a 0,5 MPa.

La macchina è equipaggiata con 2 serbatoi di GPL (è possibile utilizzare normali bombole commerciali da 15-25 kg) che sono posizionate dentro una tramoggia che contiene acqua. L'acqua viene riscaldata utilizzando i gas di scarico del motore, che vengono fatti passare all'interno di un apposito tubo in rame presente all'interno della tramoggia (Fig. 4.42). Questa soluzione permette un efficiente scambio di calore recuperando energia che altrimenti andrebbe perduta, nonché un elevato abbattimento delle emissioni di particolato sottile (PM10).

Utilizzando una larghezza operativa di 1,25 m ed una capacità complessiva dei serbatoi di 30 kg è possibile il funzionamento continuativo a regime dei





**Fig. 4.41** Funzionamento delle cerniere elastiche sul telaio porta bruciatori.

bruciatori con pressione di esercizio di 0,2 MPa per circa 4 ore prima della necessità di un rifornimento che a seconda delle condizioni operative può corrispondere ad una intera giornata lavorativa.

Ciascuna bombola di GPL è equipaggiata con un regolatore di pressione ed un manometro ed è connessa con un sistema di controllo dei bruciatori che è caratterizzato da due valvole manuali e da una valvola automatica di sicurezza per ciascun elemento. Le valvole manuali permettono di regolare il flusso del GPL (chiuso, elevato oppure ridotto), mentre il sistema automatico di controllo è connesso con una termocoppia, che posizionata all'interno di ciascun bruciatore permette di arrestare il flusso di GPL nel caso in cui la fiamma si spenga. Tutti i sistemi di controllo sono posizionati davanti all'operatore alla guida e possono essere facilmente utilizzati (Fig. 4.43).

Dalla medesima idea progettuale e sfruttando gli stessi moduli costruttivi sono state costruite altre due attrezzature dotate di motore endotermico caratterizzate da capacità operativa minore e maggiore rispetto a quella appena descritta.

La più piccola è una operatrice dotata di tre ruote di cui l'anteriore singola è piroettante (Fig. 4.44). La macchina può essere spinta dall'operatore e all'occorrenza può essere attivata la trasmissione del moto dal motore endotermico alle due ruote posteriori mediante leva al manubrio. Il motore è

**Fig. 4.42** Scambiatore termico.

**Fig. 4.43** Vista posteriore dell'operatrice per pirodiserbo.



**Fig. 4.44** Operatrice dotata di motore ausiliario per la trazione con ruota piroettante anteriore



caratterizzato da una potenza massima di 4,5 kW e permette all'attrezzatura di raggiungere la velocità di 2,5 km h<sup>-1</sup> che corrisponde a quella di un operatore che si muove con passo medio-veloce. La larghezza operativa della macchina è pari a 50 cm, ottenuta con due bruciatori da 25 cm e la sua massa a vuoto è pari 75 kg. E' stato previsto l'uso di un serbatoio commerciale di GPL con capacità di 15 kg per preservare la leggerezza e maneggevolezza del mezzo che è comunque in grado di garantire circa 5 ore di lavoro continuativo dei bruciatori alla pressione di 0,2 MPa. Le caratteristiche base dello scambiatore termico e dei sistemi di controllo e sicurezza sono le medesime del modello descritto in precedenza.

La macchina realizzata per effettuare trattamenti su superfici più ampie con operatore a bordo è dotata di tre ruote di cui le due anteriori motrici, azionate da motori idraulici, e la posteriore libera e piroettante (Fig. 4.45). Questa soluzione permette di invertire il moto dei due motori e conseguentemente

**Fig. 4.45** Immagini dell'attrezzatura per il pirodiserbo semovente con operatore a bordo idonea per effettuare trattamenti su ampie superfici.



delle due ruote e di far girare l'attrezzatura su se stessa facendo perno sotto il sedile dell'operatore in modo tale da conferire alla macchina una rilevante maneggevolezza. Il motore endotermico dell'attrezzatura è bicilindrico ed è caratterizzato da una potenza massima di 18 kW. La macchina ha la possibilità di variare in continuo la velocità da 0 a 9 km/h. Ovviamente, le velocità più elevate possono essere utilizzate sia per gli spostamenti che in fase di lavoro (abbinate alle maggiori pressioni d'esercizio del GPL), se le condizioni operative ed ambientali lo consentono.

La macchina presenta una larghezza operativa di 2,0 m, ottenuta con quattro bruciatori larghi 50 cm (di cui i due laterali possono lavorare con angolazione variabile), una lunghezza complessiva di 2,7 m ed una massa a vuoto pari 420 kg. I bruciatori sono posizionati su un telaio collegato ad un sollevatore idraulico. La macchina è equipaggiata con quattro serbatoi commerciali, collocati all'interno di uno scambiatore termico posizionato posteriormente all'operatore, per una capacità totale variabile tra 60 (4 bombole da 15 kg) e 100 (4 bombole da 25 kg) kg di GPL. Con la minore quantità di gas (60 kg), utilizzando una larghezza operativa di 2 m, è possibile far funzionare i bruciatori continuativamente con pressione di esercizio di 0,2 MPa per circa 5 ore. In questo lasso di tempo, ipotizzando l'utilizzo di una velocità di avanzamento di 3 km/h, è possibile realizzare il trattamento termico su una superficie pari a 3ha (30000 m<sup>2</sup>).

Anche in questo caso le caratteristiche base dello scambiatore termico e dei sistemi di controllo e sicurezza sono le medesime già descritte per le altre tipologie di operatrici.

Da queste breve descrizione della macchina emerge la volontà di costruire un mezzo estremamente compatto e leggero, facilmente utilizzabile e sicuramente trasportabile con i mezzi a disposizione di un qualsiasi cantiere di lavoro che si occupa di manutenzione del verde urbano. La volontà progettuale di un mezzo compatto anche in lunghezza unita a quella di avere i bruciatori posizionati anteriormente all'operatore per un migliore controllo del lavoro ha comportato notevoli difficoltà realizzative. Infatti, per isolare l'operatore dal calore prodotto dalla fiamma ed anche per limitare l'influenza dell'avanzamento della macchina sulla qualità della fiamma i bruciatori sono stati dotati di coperture che nel tempo sono state modificate ed aggiunte fino ad una soluzione finale che ha fornito buoni risultati (Fig. 4.46).

Una aspetto che preme sottolineare agli Autori è che dietro alla costruzione di questi prototipi, che ad oggi sono estremamente sicuri, è presente un bagaglio di conoscenze frutto di anni di lavoro e che tutta la componentistica utilizzata è di tipo professionale e di alta qualità; questo per scoraggiare i



**Fig. 4.46** Particolari delle coperture dei bruciatori.

**Fig. 4.47** Tipico esempio di soluzione “fai da te” di attrezzatura per il pirodiserbo, caratterizzata da scarsa efficacia e da elevati rischi per l'utilizzatore.

lettori dalla realizzazione, anche per i modelli più semplici, di soluzioni “fai da te” (che per esperienza diretta sappiamo attirare molto), il cui impiego da un lato logicamente non è ammesso dalle normative vigenti in termini di sicurezza e dall'altro determinano in ogni caso elevati rischi di “combustione” per l'operatore (Fig. 4.47).

Tutte le attrezzature qui brevemente descritte sono state utilizzate a lungo sia per la messa a punto che per la realizzazione di trattamenti sia sperimentali che di gestione del verde urbano mettendo in mostra notevoli caratteristiche di maneggevolezza e versatilità e permettendo l'esecuzione di interventi efficaci, efficienti e pienamente sostenibili dal punto di vista economico.



# 5 Le ricerche realizzate nei Comuni di Livorno e di Pisa

## 5.1 Obiettivi delle ricerche

Il principale obiettivo comune alle ricerche realizzate nei Comuni di Livorno e di Pisa è stato quello di mettere a punto strategie innovative per il controllo della flora infestante su diverse tipologie di superficie dura (Fig. 5.1) in ambito urbano che fossero alternative a quelle ordinariamente utilizzate (diserbo chimico e sfalcio con decespugliatore), e trasferire i risultati acquisiti agli operatori del settore della gestione del verde urbano.

Per raggiungere i risultati prefissati, sono state definite due sperimentazioni di durata biennale (2006-2008) che si sono articolate attraverso le seguenti fasi:

1. analisi dei punti critici della gestione delle infestanti su superficie dura in area urbana;
2. studio di una corretta strategia per la gestione termica della flora spontanea;
3. progettazione, realizzazione ed ottimizzazione di alcune attrezzature e macchine operatrici adatte alla gestione fisica delle infestanti a mezzo del pirodiserbo;
4. coinvolgimento delle aziende che si occupano della gestione del verde pubblico con lo scopo di trasferire i risultati ottenuti e le conoscenze acquisite.

Per raggiungere gli scopi prefissati con questa finalità, sono stati allestiti alcuni esperimenti all'interno delle città di Livorno e di Pisa e/o nelle zone limitrofe, per valutare, attraverso il monitoraggio della copertura vegetale, l'effetto rinettante garantito dai diversi trattamenti di controllo della flora spontanea, e, attraverso la determinazione dei necessari parametri tecnici ed operativi, gli impieghi di manodopera ed i costi di esercizio connessi con l'adozione delle strategie a confronto.



**Fig. 5.1** Alcuni esempi di tipologie di superfici dure che hanno caratterizzato le parcelle sperimentali sui cui sono state effettuate le prove: **a)** superficie inghiaziata; **b)** pavimentazione in pietra arenaria; **c)** sabbia.



**Fig. 5.2** Immagini satellitari delle diverse zone della città di Livorno che hanno ospitato le prove sperimentali: **a)** Piazzale Alberto Razzauti; **b)** Viale Italia (adiacenze “Bagni Pancaldi”); **c)** Viale Italia (adiacenze “Accademia Navale”); **d)** Viale d’Antignano (passeggiata lato mare e passeggiata lato strada) (©2009 Microsoft Corporation; ©2009 Navteq; Image courtesy of NASA) (ESPLOSO ULIVA).

## 5.2 Il caso del Comune di Livorno

### 5.2.1 La sperimentazione

La ricerca ha preso avvio alla fine di Aprile 2006 e si è protratta per 24 mesi. Durante la prima fase si è provveduto all’individuazione delle aree sperimentali, che sono state scelte in funzione delle seguenti caratteristiche: ubicazione, importanza urbanistica, tipologia di superficie dura, uniformità della copertura vegetale, accessibilità ai mezzi ed alle attrezzature.

Dopo alcuni sopralluoghi, ed in accordo con l’Ufficio Verde e Decoro Urbano del Comune di Livorno, è stato deciso di allestire le percelle sperimentali nelle seguenti zone (Fig. 5.2):

1. Piazzale Alberto Razzauti;
2. Viale Italia - area adiacente ai Bagni Pancaldi;
3. Viale Italia - area adiacente all’Accademia Navale;
4. Viale di Antignano - passeggiata lato mare;
5. Viale di Antignano - passeggiata lato strada.

Al fine di valutare l’efficacia diserbante dei diversi trattamenti, sono stati

eseguiti periodici rilievi sulle specie e sul grado di copertura determinato dalla presenza delle erbe infestanti secondo il metodo Braun-Blanquet (1932). Questo metodo è basato su una stima visiva della copertura della flora spontanea che prende in esame sia la quantità (abbondanza) delle specie presenti che il vantaggio competitivo che hanno rispetto alle altre in termini di sviluppo sul piano orizzontale e su quello verticale (dominanza). Il disegno sperimentale che è stato adottato è quello dei blocchi randomizzati con un numero di repliche variabile in funzione dell'area sperimentale. I dati sulla copertura vegetale sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) con l'ausilio del software CoStat, ed è stato scelto il test LSD come test di segregazione delle medie.

I trattamenti a confronto sono stati:

1. pirodiserbo ad elevata frequenza di intervento (Pirodiserbo EF);
2. pirodiserbo a ridotta frequenza di intervento (Pirodiserbo RF);
3. diserbo chimico;
4. gestione integrata.

I trattamenti di pirodiserbo sono stati eseguiti utilizzando un'attrezzatura manuale di tipo carrellato realizzata dall'Università di Pisa, alimentata da una bombola di GPL commerciale da 15 kg ed equipaggiata con una lancia manuale dotata di un bruciatore a bacchetta largo 15 cm (Fig. 5.3).

La lancia era collegata alla bombola per mezzo di un tubo di gomma della lunghezza di 4 m ed era dotata di regolatore di pressione e di manometro.

I trattamenti di pirodiserbo sono stati effettuati utilizzando una pressione di esercizio del GPL pari a 2 bar (0,2 MPa), in corrispondenza della quale, utilizzando un ugello esterno del diametro di 0,7 mm, il consumo specifico orario del bruciatore risulta pari a circa 1 kg/h di GPL.

La bombola di combustibile veniva pesata all'inizio ed alla fine di ogni intervento e durante i trattamenti venivano cronometrati i tempi di lavoro.

Il numero di interventi di pirodiserbo è stato deciso in funzione del livello di controllo delle vegetazione che si voleva raggiungere. In considerazione del valore urbanistico delle aree trattate, si è stabilito che il pirodiserbo EF dovesse essere effettuato con una frequenza di intervento tale da mantenere la copertura vegetale intorno al 10%, e che il numero di trattamenti di pirodiserbo RF fosse circa pari alla metà di quello stabilito nel caso del pirodiserbo EF.

Inizialmente, quindi, sulla base delle pregresse esperienze acquisite proprio a Livorno nel 2004 e di quelle relative all'adozione del pirodiserbo in area urbana provenienti da altri Paesi europei, era stato previsto orientativamente di effettuare i trattamenti di pirodiserbo ad elevata e a ridotta frequenza di



**Fig. 5.3** *Attrezzatura utilizzata per effettuare i trattamenti di pirodiserbo nel corso della sperimentazione nel Comune di Livorno.*



**Fig. 5.4** La distribuzione del diserbante chimico di sintesi è stata effettuata con un irroratrice portata dotata di una lancia manuale.

intervento rispettivamente dodici e sei volte in un anno. Tuttavia, dato che le prove sperimentali sono iniziate in piena primavera, quando cioè la vegetazione spontanea era molto sviluppata ed affrancata da tempo, il numero di interventi necessari per contenere la copertura delle infestanti entro i limiti prestabiliti è inevitabilmente aumentato rispetto al previsto durante il primo anno.

In ogni caso l'obiettivo è stato quello di mantenere, ove possibile, circa doppia la frequenza degli interventi di pirodiserbo più "intenso" rispetto a quella relativa all'adozione più "dilazionata" nel tempo.

Il diserbo chimico è stato effettuato per mezzo di un'irroratrice portata dotata di lancia manuale, distribuendo una soluzione al 2,5% di glyphosate commerciale alla dose di 1,1 g p.a./m<sup>2</sup> (Fig. 5.4).

In tutte le zone sono stati eseguiti ogni anno due interventi di diserbo chimico, il primo ad Aprile ed il secondo ad Ottobre, che corrispondono al numero massimo di trattamenti erbicidi autorizzati a Livorno dalla ASL competente.

La gestione integrata delle infestanti, invece, ha previsto, durante ciascun anno di ricerca, l'esecuzione di un trattamento di diserbo chimico in Aprile (secondo le stesse modalità descritte precedentemente), seguito da tre interventi di pirodiserbo.

Oltre alla densità delle infestanti, per ciascuna zona sono stati determinati il tempo medio e totale di lavoro ed il costo medio e totale di esercizio riferiti all'unità di superficie.

Il prezzo del GPL commerciale (1,73 Euro/kg) utilizzato per il calcolo del costo delle operazioni di pirodiserbo è stato quello di mercato per la zona di Livorno, mentre le tariffe unitarie applicate per il diserbo (0,404 Euro/m<sup>2</sup>) e per la manodopera (12,023 Euro/m<sup>2</sup>) sono state individuate dopo aver

preso in esame diversi tariffari relativi alla manutenzione delle opere a verde pubblicati sul territorio nazionale.

La tariffa applicata all'operazione di diserbo è il risultato della somma tra quella relativa al trattamento di diserbo vero e proprio (0,044 Euro/m<sup>2</sup>) e quella dello sfalcio con decespugliatore e successiva raccolta e smaltimento in discarica della biomassa vegetale disseccata (0,36 Euro/m<sup>2</sup>), così come richiesto dai codici di buona pratica di gestione del verde urbano adottati dalla maggior parte delle amministrazioni pubbliche.

Per effettuare un'analisi dei tempi di lavoro e dei costi di esercizio dei trattamenti che permettesse di mettere in relazione questi parametri con la copertura media della flora spontanea nelle varie zone trattate – e quindi di valutare contemporaneamente la “qualità” e gli “oneri” (impiego di manodopera e costo) connessi con l'utilizzo delle diverse strategie a confronto – sono stati definiti i seguenti indici:

in cui:

- Im = Indice di impiego di manodopera
- Ie =Indice economico
- TLm = tempo di lavoro medio
- CIm = copertura media delle infestanti
- CEm= costo di esercizio medio

Le prove di gestione si sono svolte nel periodo compreso tra Ottobre 2006 e Giugno 2007. La prima fase di questa attività è stata dedicata alla scelta delle aree in cui eseguire la gestione termica, individuate infine nella Terrazza Mascagni e nel Parco di Viale d'Antignano. La scelta delle aree da trattare è stata indirizzata verso quelle zone in cui la manutenzione è competenza diretta dell'Ufficio Verde e Decoro Urbano del Comune, poiché ciò consentiva una migliore gestione del personale a disposizione.

La Terrazza Mascagni, grazie alla sua posizione centrale rispetto al lungomare livornese, rappresenta un punto di ritrovo fondamentale per la cittadinanza, in quanto fruita in tutte le stagioni dell'anno, sia durante il giorno che alla sera, da persone di tutte le fasce d'età (Fig. 5.5 )

Con una superficie pianeggiante di 51.400 m<sup>2</sup>, di cui 14.520 m<sup>2</sup> a prato ed oltre 36.000 m<sup>2</sup> occupata da vialetti e piazzali, la Terrazza Mascagni è caratterizzata dalla presenza di un gazebo in stile “liberty” e da una rete di vialetti che delimitano numerose aiuole.

L'area del Parco di Viale d'Antignano, situata nella parte più a sud del lungomare, ha una superficie complessiva di 52.500 m<sup>2</sup>, di cui 33.000 m<sup>2</sup> a tappeto erboso e 15.500 m<sup>2</sup> a vialetti, ed è disposta su più livelli che degradano dalla



**Fig. 5.5** Il Parco della Terrazza Mascagni ha ospitato la prova di gestione, questa zona rappresenta un punto di ritrovo molto importante ed è fruito dalla cittadinanza e dai turisti in tutte le stagioni dell'anno.



**Fig. 5.6** *Parco di Antignano. Una delle aree che ha ospitato le prove di gestione.*

strada al mare e che sono collegati da scalinate e gradinate (Fig. 5.6)

La pavimentazione dei vialetti è costituita, in entrambe le aree, da terreno stabilizzato rullato su cui poggia uno strato di ghiaia distribuita non uniformemente (Fig. 5.7)

Per valutare l'efficacia della gestione termica, espressa in termini di riduzione della copertura determinata dalla presenza delle malerbe, all'interno delle zone sono state individuate delle sotto-aree sulle quali sono stati eseguiti due rilievi floristici secondo il metodo di abbondanza-dominanza di Braun-Blanquet (1932), all'inizio ed alla fine della prova di gestione.

Il numero di trattamenti a fiamma libera da eseguire non è stato definito preventivamente, in quanto l'obiettivo era quello di raggiungere, in base al tempo a disposizione ed alla disponibilità delle attrezzature, un livello qualitativo accettabile, che per il valore delle aree in questione non doveva oltrepassare il 10% di copertura vegetale.

Considerando i risultati ottenuti nel corso di precedenti prove sperimentali effettuate a Livorno nel 2004 e valutando la copertura iniziale della vegetazione presente all'inizio della gestione, era stato stabilito che sarebbero stati necessari almeno 12 interventi per poter raggiungere lo standard qualitativo fissato.

I trattamenti di pirodiserbo sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di un'operatrice semovente carriolata, progettata e realizzata presso l'Università di Pisa e già ampiamente e dettagliatamente descritta nel quarto capitolo di questo volume (vedi paragrafo 4.5) (Fig. 5.8).

*Fig.5.7 – Tipologia di superficie che caratterizza entrambe le aree che hanno ospitato le prove di gestione a Livorno.*





**Fig. 5.8** Operatrice semovente cariolata per il pirodiserbo utilizzata nel corso delle prove di gestione della flora spontanea su superficie dura a Livorno.

## 5.2.2 Risultati ottenuti

### 5.2.2.1 Analisi della copertura della flora infestante

Piazzale Alberto Razzauti

Il Piazzale Alberto Razzauti è un'area confinante con la Terrazza Mascagni in direzione nord. Le parcelle sperimentali sono state allestite lungo il muro che separa tale area da quella occupata dallo stabilimento balneare "Bagni Tirreno". Ciascuna parcella aveva dimensioni di 6,5×0,5 m ed il substrato era in terra battuta.

Le specie vegetali che caratterizzavano la flora spontanea al momento in cui è iniziata la sperimentazione appartenevano principalmente alla famiglia delle Poaceae (*Avena fatua* L., *Hordeum murinum* L., *Cynodon dactylon* L., *Pbleum pratense* L., *Poa pratensis* L.), delle Asteraceae (*Sonchus asper* L., *Sonchus oleraceus* L., *Conyza canadiensis* (L.) Cronq., *Inula viscosa* (L.) Aiton, *Picris echioides* L., *Taraxacum officinalis* Web.), delle Plantaginaceae (*Plantago coronopus* L., *Plantago lanceolata* L.), delle Brassicaceae (*Capsella bursa-pastoris* L., *Cardaria draba* (L.) Desv.) e delle Fabaceae (*Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium repens* L., *Medicago lupulina* L.). Erano peraltro presenti anche piante appartenenti alle specie *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L. e *Stellaria media* L. (Fig. 5.9)

I trattamenti di pirodiserbo ad elevata frequenza hanno determinato la più elevata riduzione della copertura della flora spontanea, che si è attestata



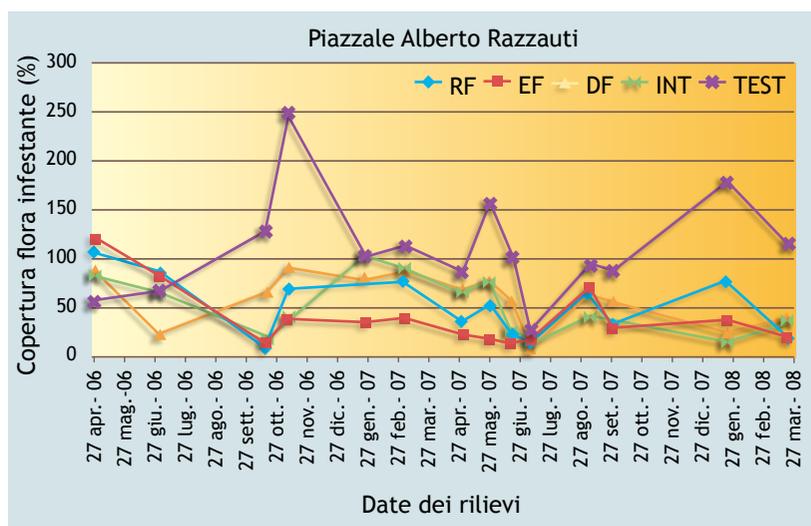
**Fig. 5.9** Flora spontanea presente nell'area del Piazzale Razzauti all'inizio della ricerca.

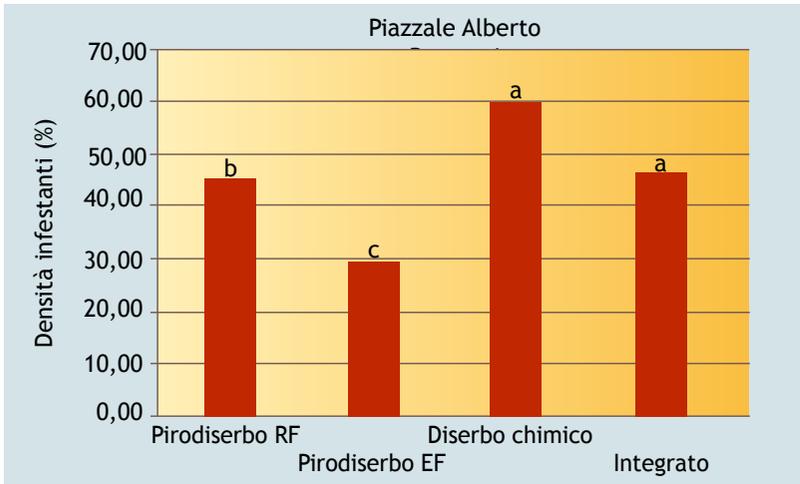
mediamente al 30% dal momento dell'entrata a regime della strategia di gestione delle malerbe (Ottobre 2006) fino al termine della sperimentazione (Figure 5.10, 5.11 e 5.12).

Nessuna differenza è stata registrata tra i trattamenti di pirodiserbo a ridotta frequenza e la gestione di tipo integrato, che hanno determinato una copertura media della flora spontanea pari a circa il 46%. Il trattamento di diserbo chimico ha evidenziato, invece, un'efficacia nel controllo delle infestanti marcatamente più ridotta rispetto sia ai trattamenti di pirodiserbo che a alla gestione integrata, determinando una copertura media della flora spontanea pari a poco più del 60% durante lo svolgimento della sperimentazione. In quest'area sperimentale nessuno dei trattamenti ha ridotto la copertura delle infestanti al di sotto del limite soglia del 10%, ma appare opportuno precisare che la copertura vegetale iniziale era molto elevata (compresa tra il 55 ed il 120%) ed era caratterizzata prevalentemente da monocotiledoni annuali o perennanti e da composite, cioè da specie che mostrano elevate resilienza e tolleranza ai trattamenti di controllo fisico.

Il risultato qualitativo ottenuto con il pirodiserbo ad elevata frequenza è apparso, comunque, soddisfacente e soprattutto molto costante nel tempo,

**Fig. 5.10** Piazzale Alberto Razzauti : andamento della copertura determinata dalle infestanti espressa in termini percentuali nei due anni di ricerca. RF pirodiserbo a ridotta frequenza; EF pirodiserbo ad elevata frequenza; DC diserbo chimico; INT gestione integrata; TEST testimone.





**Fig. 5.11** Piazzale Razzauti: Copertura vegetale media determinata dalle diverse strategie di gestione delle infestanti confrontate nel corso del biennio di attuazione della ricerca (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per  $P \leq 0,05$ ).

permettendo di non incorrere in elevati tassi di “re-infestazione” post-intervento.

### Viale Italia (adiacenze “Bagni Pancaldi”)

L’area sperimentale è posta sul lungomare livornese, nelle immediate vicinanze della Terrazza Mascagni e del famoso stabilimento balneare “Bagni Pancaldi” (Fig. 5.13).

La zona riveste una notevole importanza sotto il profilo urbanistico, in quanto è posta in una delle parti più caratteristiche della città, ed è quotidiana-



**Fig. 5.12** Copertura della flora spontanea nell’area di Piazzale Alberto Razzauti così come si presentava nel mese di Marzo 2008: **a)** pirodiserbo EF; **b)** pirodiserbo RF; **c)** gestione integrata; **d)** diserbo chimico.



**Fig. 5.13** Area sperimentale posta lungo il Viale Italia in prossimità dello stabilimento balneare "Bagni Pancaldi".

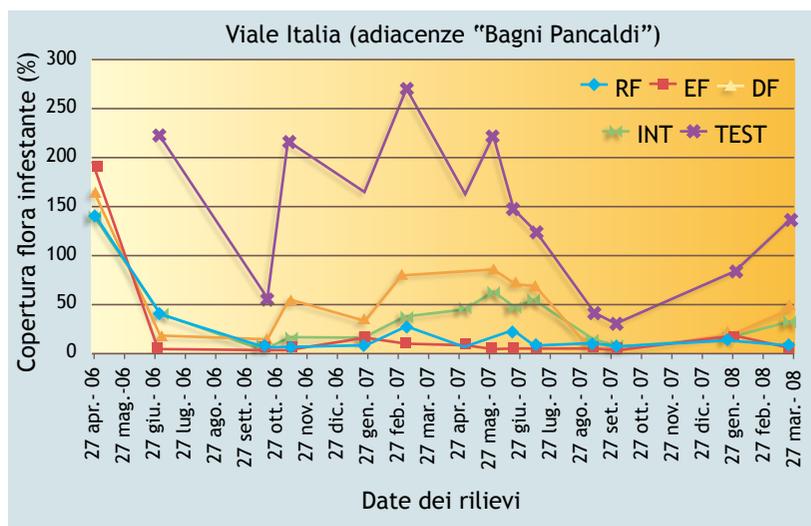
mente molto frequentata sia dai cittadini livornesi che dai turisti.

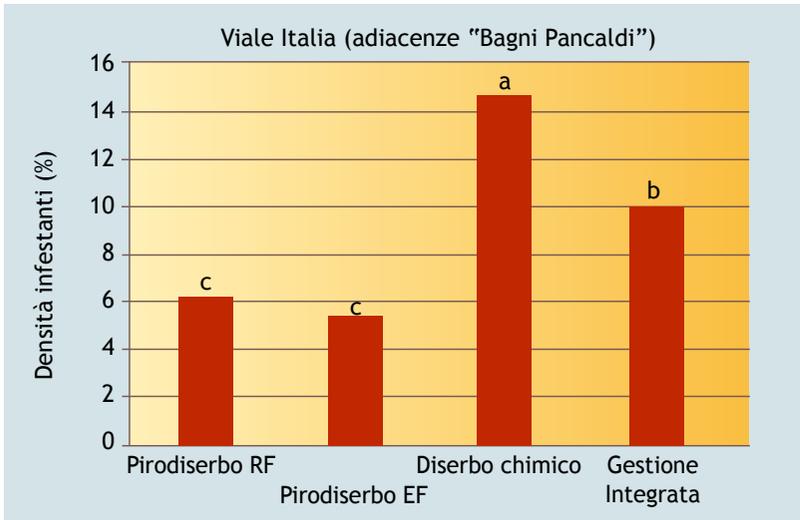
L'area sperimentale era costituita da una serie di aiuole pavimentate di superficie pari a circa 3 m<sup>2</sup> (1,6×1,8 m) ciascuna, che racchiudono una tamerice allevata ad alberello. La pavimentazione presenta dei fori lenticolari e poggia su un substrato di terra battuta.

Le malerbe, rappresentate prevalentemente da *Parietaria officinalis* L. e da specie appartenenti alla famiglia delle Asteraceae (*Sonchus* sp., *Crepis* sp.), si sviluppano sia al piede della tamerice che all'interno dei fori lenticolari della pavimentazione, causando un effetto estetico particolarmente negativo.

I trattamenti di pirodiserbo hanno determinato la più elevata e costante riduzione della copertura della flora spontanea, che è stata portata ad un livello di circa il 2% senza differenze statisticamente significative tra i trattamenti a frequenza ridotta e quelli a frequenza elevata (Figure 5.14, 5.15 e 5.16).

**Fig. 5.14** Viale Italia adiacenze "Bagni Pancaldi": andamento della copertura determinata dalle infestanti espressa in termini percentuali nei due anni di ricerca. RF pirodiserbo a ridotta frequenza; EF pirodiserbo ad elevata frequenza; DC diserbo chimico; INT gestione integrata; TEST testimone.





**Fig. 5.15** Viale Italia (adiacenze "Bagni Pancaldi"): copertura vegetale media determinata dalle diverse strategie di gestione delle infestanti confrontate nel corso del biennio di attuazione della ricerca (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per  $P \leq 0,05$ ).

La gestione integrata ha permesso di ridurre la densità delle malerbe in maniera sufficientemente efficace, consentendo di ottenere una copertura media pari all'8%, mentre con il solo diserbo chimico la densità della flora spontanea è stata mediamente più elevata del limite soglia, attestandosi intorno al 12%.

A differenza dei trattamenti di pirodiserbo, però, sia il metodo integrato che quello convenzionale hanno permesso di controllare lo sviluppo delle avventizie in maniera meno costante, cosicché numerose volte nel corso della sperimentazione la densità della vegetazione ha raggiunto (ed in certi



**Fig. 5.16** Copertura della flora spontanea nell'area di Viale Italia - Bagni Pancaldi così come si presentava nel mese di Marzo 2008: **a)** pirodiserbo EF; **b)** pirodiserbo RF; **c)** gestione integrata; **d)** diserbo chimico.

**Fig. 5.17** Area sperimentale posta lungo il Viale Italia in prossimità dell'Accademia Navale.



casi superato) il 20%, che rappresenta un livello di infestazione decisamente elevato in considerazione dell'importanza urbanistica della zona.

Viale Italia (adiacenze "Accademia navale")

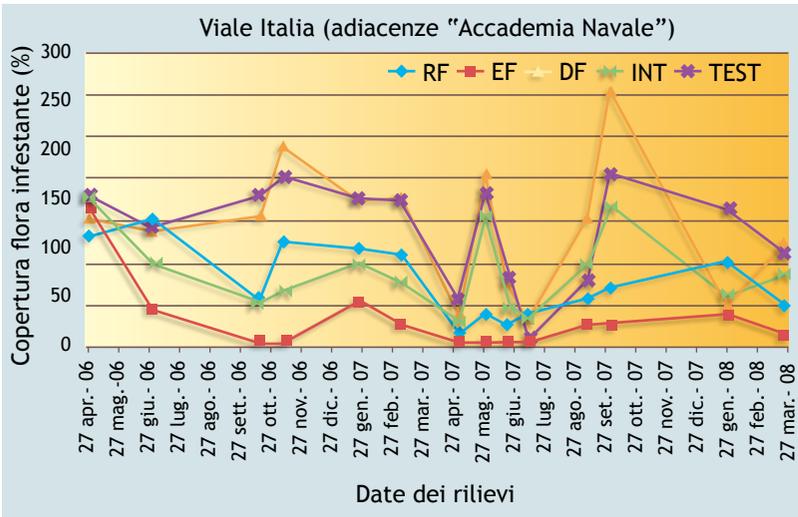
L'area sperimentale è stata allestita sulla passeggiata lungomare del Viale Italia, nella zona adiacente l'Accademia Navale nel tratto posto a sud della Barriera Regina Margherita (Fig.5.17).

In particolare le parcelle erano rappresentate da una "fascia" di superficie pari a 5,4 m<sup>2</sup> (18,0×0,3 m) posta nel punto di intersezione tra il camminamento ed il muro di recinzione dell'Accademia Navale. In questa zona, il controllo delle infestanti è un'esigenza particolarmente sentita sia per ragioni estetiche (l'area è, infatti, una delle più fruite della città) che di sicurezza, dettate dai regolamenti della struttura militare confinante. La superficie sottoposta ai trattamenti era costituita da un substrato in terra battuta e ghiaia.

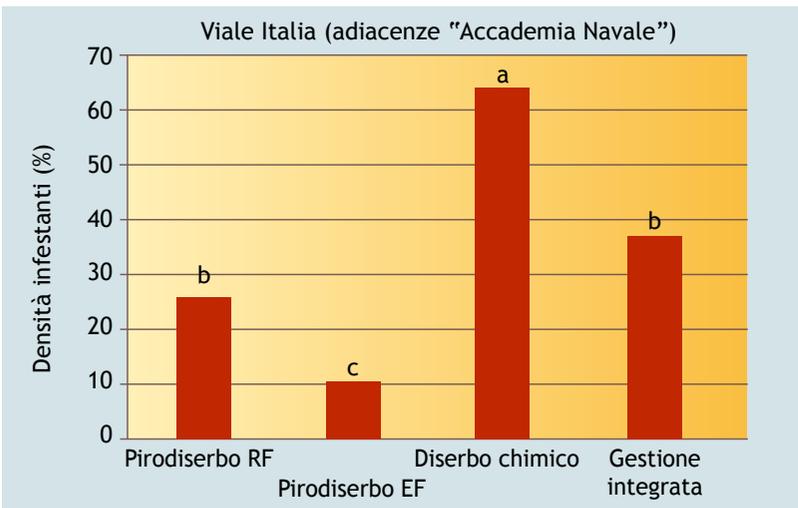
Il pirodiserbo ad elevata frequenza ha determinato una rapida riduzione della copertura della flora spontanea già durante i primi mesi di intervento ed ha consentito di mantenerla mediamente di poco al di sotto del 6% fino al termine della sperimentazione (Figure 5.18, 5.19 e 5.20).

Il pirodiserbo a frequenza ridotta ed il trattamento integrato, invece, hanno ridotto il livello di copertura delle malerbe fino a circa il 35%, senza differenze significative tra loro. Il pirodiserbo a frequenza ridotta, comunque, a partire dal mese di Maggio 2007, ha evidenziato una più elevata efficacia nel controllo delle infestanti rispetto alla gestione integrata, mostrando in particolare di attenuare sensibilmente il fenomeno della "re-infestazione" post-intervento.

Il trattamento convenzionale di diserbo chimico, invece, non è apparso adeguato come metodo di gestione della flora spontanea, tanto che, adottando



**Fig. 5.18** Viale Italia (adiacenze "Accademia Navale"): andamento della copertura determinata dalle infestanti espressa in termini percentuali nei due anni di ricerca. RF pirodiserbo a ridotta frequenza; EF pirodiserbo ad elevata frequenza; DC diserbo chimico; INT gestione integrata; TEST testimone.



**Fig. 5.19** Viale Italia (adiacenze "Accademia Navale"): copertura vegetale media determinata dalle diverse strategie di gestione delle infestanti confrontate nel corso del biennio di attuazione della ricerca (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per  $P \leq 0,05$ ).



**Fig. 5.20** Copertura della flora spontanea nell'area di Viale Italia - Accademia Navale così come si presentava nel mese di Marzo 2008: a) pirodiserbo EF; b) pirodiserbo RF; c) gestione integrata; d) diserbo chimico.

questa strategia, la copertura delle malerbe si è attestata in media su un livello prossimo al 70%, superiore addirittura a quello del testimone non trattato di circa il 10%. Inoltre, nonostante l'evidente effetto rinettante osservato durante i 40-60 giorni successivi alla distribuzione dell'erbicida, il tasso di "re-infestazione" è stato sempre molto elevato, tanto che la copertura della flora spontanea ha raggiunto anche valori prossimi al 120%.

### **Viale d'Antignano**

In questo caso le aree sperimentali sono state allestite sul lungomare di Antignano, in due camminamenti separati da aiuole inerbite, uno adiacente al mare, l'altro alla strada percorsa dai veicoli.

L'area sperimentale sul lato mare è stata allestita lungo il muretto che separa la passeggiata dal mare stesso, su parcelle di dimensioni pari a 0,45 m<sup>2</sup> (3,0×0,15 m) caratterizzate da una superficie in terra battuta (Fig. 5.21).

**Fig. 5.21** Area sperimentale posta lungo la passeggiata lato mare del Viale d'Antignano.



Il pirodiserbo ad elevata frequenza è stato il trattamento marcatamente più efficace rispetto agli altri ed ha permesso di ridurre la copertura della flora spontanea fino ad un livello mediamente pari al 7% e, soprattutto, di mantenerla al di sotto del limite soglia del 10% in pratica per tutta la durata della sperimentazione (Figure 5.22, 5.23 e 5.24).

Il pirodiserbo a frequenza ridotta non è risultato altrettanto efficace (densità media delle infestanti pari al 40%), mentre con la gestione integrata è stato possibile contenere la copertura vegetale intorno al 30%, sebbene in alcuni casi siano stati registrati "picchi" di copertura compresi tra il 40 e il 90%

circa. Anche in questo caso, con la gestione chimica convenzionale la densità della flora spontanea è stata molto elevata (67% in media) e prossima a quella del testimone non trattato per l'intera durata della ricerca.

Per quanto riguarda l'area sperimentale adiacente alla strada, caratterizzata ancora una volta da una superficie in terra battuta, le dimensioni delle parcelle sono state le stesse di quelle del camminamento lato mare ( $3,0 \times 0,15$  m) con area totale pari a  $0,45 \text{ m}^2$  (Fig.5.25). In questo caso la parte sottoposta ai trattamenti è stata quella a ridosso della bordura in pietra delle aiuole inerbite.

Il pirodiserbo ad elevata frequenza è stato il trattamento che ha ridotto maggiormente la copertura della flora spontanea, contenendola quasi sempre al di sotto del limite soglia del 10% (Figure 5.26, 5.27 e 5.28). Gli altri sistemi









