

L'anteprima contiene pagine non in sequenza

Paolo Ranalli, Bruno Parisi

Fagiolo e Fagiolino

Coltivazione, scelta delle cultivar e post-raccolta



1ª edizione: giugno 2018



© Copyright 2018 by "Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media Srl",
via Eritrea, 21 - 20157 Milano
Redazione: p.zza G. Galilei, 6 - 40123 Bologna
Vendite: tel. 051/6575833; fax: 051/6575999
e-mail: libri.edagricole@newbusinessmedia.it - www.edagricole.it

La foto a pagina 109 è Depositphotos@Creativefamily

5554

Proprietà letteraria riservata - printed in Italy

La riproduzione con qualsiasi processo di duplicazione delle pubblicazioni tutelate dal diritto d'autore è vietata e penalmente perseguibile (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633). Quest'opera è protetta ai sensi della legge sul diritto d'autore e delle Convenzioni internazionali per la protezione del diritto d'autore (Convenzione di Berna, Convenzione di Ginevra). Nessuna parte di questa pubblicazione può quindi essere riprodotta, memorizzata o trasmessa con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma (fotomeccanica, fotocopia, elettronica, ecc.) senza l'autorizzazione scritta dell'editore. In ogni caso di riproduzione abusiva si procederà d'ufficio a norme di legge.

Realizzazione grafica: Emmegi Group, via F. Confalonieri, 36 - 20124 Milano
Impianti e stampa: Andersen Spa, Via Brughera IV - 28010 Boca (No)

Finito di stampare nel giugno 2018

ISBN 978-88-506-5554-0

Presentazione

Diventa sempre più pregnante il ruolo multifunzionale dell'agricoltura: oltre alla primaria produzione di derrate, essa intercetta bisogni della comunità in termini di sostenibilità ambientale, di riduzione dell'inquinamento, di sicurezza alimentare e di prevenzione delle malattie. Nei nuovi sistemi agricoli, le leguminose da granella (fagiolo, fava, pisello, cece, lenticchia, cicerchia, lupino) rivestono un ruolo cruciale. Come è noto, esse forniscono un contributo essenziale:

- alla sostenibilità degli ordinamenti colturali (per la possibilità di fissare nel suolo l'azoto atmosferico e di ridurre l'impiego di concimi chimici di sintesi);
- al recupero/valorizzazione dei terreni marginali (con indubbi vantaggi sulla tutela di suoli agricoli dall'erosione e sul mantenimento di attività produttive anche in zone svantaggiate);
- alla tutela della qualità delle nostre eccellenze agro-alimentari (parmigiano reggiano, prosciutto di Parma, ecc.), riducendo la dipendenza dalle importazioni di materie prime dall'estero (soia, pisello proteico, ecc.);
- all'auto-provvigionamento a livello aziendale (o, comunque, localmente) di fonti proteiche vantaggiose sia per la zootecnia convenzionale (per la difficoltà di reperire soia ogm-free), sia per la zootecnia biologica (che prevede l'impiego di alimenti prodotti in azienda).

Per queste ragioni, le proteine vegetali sono al centro dell'attenzione della politica agraria comunitaria e nazionale. La nuova Pac 2014-2020 ha inserito una dota-

zione specifica nel sostegno accoppiato e il Ministero dell'Agricoltura del nostro Paese ha posto le leguminose nelle proprie linee programmatiche.

Per avere successo, la "riscoperta" delle colture proteaginoso deve essere supportata da un aggiornamento puntuale delle innovazioni che la ricerca e la sperimentazione mettono a punto. Purtroppo, se si esclude qualche articolo pubblicato saltuariamente da riviste e periodici del settore, ad oggi non ci sono compendi e monografie su queste piante. L'ultimo volume ("Leguminose e Agricoltura sostenibile") che tratta esaustivamente tali temi, sia negli aspetti generali che in quelli particolari, risale al 2001. Si tratta, quindi, di una carenza molto preoccupante della pubblicistica nazionale, considerando la domanda di formazione e informazione che proviene da tecnici, agricoltori, mangimisti e operatori del settore.

La serie "Leguminose da granella", che si inaugura con questa pubblicazione, intende colmare questa carenza; a questa prima monografia, che tratta Fagiolo e Fagiolino, ne seguiranno altre riguardanti le specie di leguminose più conosciute nella nostra tradizione mediterranea.

Uno speciale ringraziamento all'Editore per aver creduto nell'iniziativa, a conferma della continua attenzione alle esigenze che provengono dal settore dell'agricoltura.

Paolo Ranalli

Prefazione

In Italia, la superficie coltivata a fagiolo e fagiolino ha subito un inarrestabile declino, passando da oltre 488 mila ettari (nel 1950) a circa 25 mila ettari (nel 2016). Nel contempo, le produzioni medie per ettaro in fagiolo sono raddoppiate, passando da 8,3 a 16,5 q/ha di granella, grazie a più adeguate tecniche di coltivazione ed all'introduzione di cultivar migliorate. Le cause di questo tracollo sono comuni alle diverse specie di leguminose da granella: abbandono della coltura promiscua, ridotta disponibilità di varietà migliorate (resistenti alle malattie e adatte alla meccanizzazione delle operazioni colturali); scarsa competitività con colture aventi ciclo analogo. Il fagiolo ha conservato un suo ruolo per il consumo allo stato fresco ed è andato configurandosi sempre più come ortiva. Infatti, sia il fagiolo che il fagiolino alimentano un segmento di mercato in espansione, poiché propone al consumatore gamme di prodotti (soprattutto quella dei surgelati) sempre più richieste dai nuovi stili alimentari. Va rilevato, altresì, che il fagiolo, a differenza di diversi altri legumi, ha fruito di un lavoro di miglioramento genetico ben finalizzato che ha portato ad un rinnovamento varietale e ne ha ampliato gli impieghi: le nuove cultivar nane, a maturazione contemporanea dei baccelli, hanno permesso la raccolta meccanizzata della granella in campo e la sua destinazione conserviera per la surgelazione. La brevità del ciclo produttivo (soprattutto nelle cultivar nane), le diverse epoche colturali (primaverile, estiva, autunnale), le molteplici destinazioni d'uso (granella secca, mercato fresco o industria di trasformazione) e il tipo di coltivazione (pieno campo o ambiente protetto) conferiscono al fagiolo ed al fagiolino un profilo culturale abbastanza diversificato.

Ad eccezione del fagiolino mangiatutto, dove la parte edule è l'intero legume immaturo, nel fagiolo coltivato per il consumo di granella i prodotti maggiormente commercializzati sono: baccelli freschi contenenti granella allo stato ceroso (50-60% di umidità), raccolti e portati direttamente al mercato; granella allo stato ceroso destinata alla surgelazione; granella secca utilizzata tal quale oppure reidratata e appertizzata. Le tipologie di pianta e di indirizzi colturali sono molto diverse: le produzioni per la trasformazione industriale derivano esclusivamente da coltivazioni di pieno campo e da cultivar ad abito di crescita determinato, con maturazione contemporanea della granella e dei baccelli; le produzioni per il mercato del fresco derivano, invece, da coltivazioni effettuate sia in piena aria che in coltura protetta, utilizzando sia cultivar nane che cultivar a sviluppo indeterminato. I vari interventi colturali per realizzare queste produzioni devono comporsi in un quadro che tenga conto di vincoli legati alla diversità degli areali colturali del nostro Paese (da Nord a Sud), alle mutevoli attese dei consumatori ed ai cambiamenti climatici in atto e temuti, con i relativi effetti sulla fisiologia della pianta e sulle fitopatie (conosciute e di nuova comparsa) cui questa deve far fronte. Questi diversi aspetti, unitamente a quelli che riguardano il valore nutrizionale e i benefici per la salute di questo legume, anche in una ottica di ritorno alla dieta mediterranea, sono trattati con dovizia di particolari in questa monografia. Essa è rivolta non soltanto agli addetti, ma anche a tutti coloro che nel vivere quotidiano vanno a fare la spesa in un supermercato e, per esempio, devono interpretare il cartellino che accompagna una confezione di fagioli surgelati. La fruibilità dei testi è resa agevole poiché gli argomenti sono trattati con rigore scientifico, ma con un linguaggio accessibile anche ai non professionisti. Il Volume coniuga, cioè, l'aggiornamento tecnico scientifico per gli addetti ai lavori con una piacevole consultazione per una vasta platea di lettori.

Paolo Ranalli, Bruno Parisi

Indice

1. Origine e domesticazione	1
1.1 Modificazioni morfologiche	2
1.2 Modificazioni fisiologiche	3
2. Tassonomia e diffusione	5
3. Morfologia della pianta	9
3.1 Radice.....	9
3.2 Fusto	10
3.3 Foglie	12
3.4 Fiore	12
3.5 Baccello	13
3.6 Seme	14
4. Fisiologia del fagiolo	17
4.1 Sviluppo della pianta	17
4.2 Basi fisiologiche dello sviluppo	20
4.3 Fissazione dell'azoto	21
4.3.1 Come si realizza	22
4.3.2 Microrganismi fissatori dell'azoto	22
4.3.3 Formazione di tubercoli radicali	23
4.3.4 Regolazione della fissazione dell'azoto	24
5. Cultivar e tipologie di prodotto	25
5.1 Fagiolo a granella screziata per l'industria	28
5.1.1 Le caratteristiche del prodotto e la sua evoluzione	28
5.2 Filiera dei fagioli borlotti surgelati	30

5.3	Inscatolamento (appertizzazione) dei legumi secchi	32
5.4	Fagiolo per il mercato fresco (baccelli da sgusciare)	35
5.5	Fagioli cannellini e altri a granella bianca	37
5.6	Fagioli mangiatutto	39
5.6.1	Fagiolini da cornetti verdi	39
5.6.2	Fagiolini da industria dei surgelati	41
5.6.3	Fagioli "taccole"	48
6.	Cultivar commerciali vs cultivar locali	51
6.1	Fagioli bianchi di Rotonda DOP	52
6.2	Fagiolo cannellino di Atina DOP	53
6.3	Fagiolo di Cuneo IGP	55
6.4	Fagiolo di Lamon e della Vallata Bellunese IGP	57
6.4.1	Concimazione	58
6.4.2	Epoca e modalità di impianto	59
6.4.3	Cure colturali	59
6.4.4	Irrigazione	60
6.4.5	Difesa	60
6.5	Fagiolo di Sarconi IGP	60
6.6	Fagiolo di Sorana IGP	62
6.6.1	Storia	62
6.6.2	Metodo di produzione	62
7.	Miglioramento genetico del fagiolo	65
7.1	Metodi tradizionali di miglioramento genetico	66
7.2	Il miglioramento genetico assistito da nuove tecnologie	67
8.	Miglioramento varietale del fagiolo per l'industria e il mercato.	
	Casi-studio	71
8.1	Miglioramento per la resistenza ai nematodi galligeni (<i>Meloidogyne</i> spp.)	74
8.2	Miglioramento per la resistenza a temperature alte (cascola fiorale e aborto baccelli)	76
8.3	Miglioramento delle proprietà nutrizionali	79
9.	Tecniche colturali	81
9.1	Avvicendamento	81
9.2	Impianto e gestione della coltura	82

9.2.1	Tessitura del suolo	82
9.2.2	Preparazione del terreno	82
9.2.3	Esigenze nutrizionali	83
9.2.4	Semina	83
9.2.5	Irrigazione	85
9.2.6	Controllo delle malerbe	90
9.3	Raccolta e logistica	91
9.3.1	Stoccaggio della granella secca	93
9.3.2	Destinazione industriale della granella	94
10.	Tecnica colturale del fagiolino da industria	99
10.1	Semina	100
10.2	Concimazioni	100
10.3	Diserbo	101
10.4	Irrigazione	101
10.5	Raccolta	102
11.	Caratteristiche nutrizionali	105
11.1	Nutrienti del fagiolo	106
11.2	Benefici per la salute	108
11.3	Controindicazioni e potenziali rischi	110
12.	Avversità e difesa del fagiolo	113
12.1	Virosi	114
12.1.1	Virus del mosaico comune del fagiolo (<i>Bean Common Mosaic Virus-BCMV</i>)	114
12.1.2	Virus del mosaico giallo (<i>Bean Yellow Mosaic Virus-BYMV</i>)	116
12.1.3	Virus del mosaico del cetriolo (<i>Cucumber Mosaic Virus-CMV</i>)	117
12.2	Malattie batteriche	118
12.2.1	Maculatura alonata del fagiolo (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>) ...	118
12.2.2	Maculatura comune del fagiolo (<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i>)	120
12.3	Malattie fungine	121
12.3.1	Antracnosi (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>)	122
12.3.2	Ruggine (<i>Uromyces appendiculatus</i>)	124
12.3.3	Botrite o muffa grigia (<i>Botrytis cinerea</i>)	126
12.3.4	Rizottoniosi (<i>Rhizoctonia solani</i>)	126
12.4	Danni da insetti	128

12.4.1 Afide nero (<i>Aphis fabae</i>)	128
12.4.2 Mosca grigia dei semi (<i>Delia platura</i>)	129
12.4.3 Raghetto rosso (<i>Tetranychus urticae</i>)	129
12.4.4 Tonchio (<i>Acanthoscelides obtectus</i>)	130
12.5 Danni da ozono	132
13. Avversità e difesa del fagiolino	135
13.1 Nottue fogliari (<i>Autographa gamma</i> , <i>Mamestra oleracea</i> , <i>Polia pisi</i> , <i>Helicoverpa armigera</i>).....	135
13.2 Miridi (<i>Calocoris norvegicus</i>)	136
13.3 Tripidi (<i>Frankliniella intonsa</i>)	137
13.4 Piralide (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	137
Per saperne di più	141

4. Fisiologia del fagiolo

4.1 SVILUPPO DELLA PIANTA

Come già specificato, il fagiolo è una pianta annuale a rapido sviluppo, con apparato radicale molto ramificato e piuttosto superficiale, steli angolosi, di altezza e portamento variabilissimo, da nani a rampicanti. Riguardo al clima, è pianta macroterma, propria delle zone geografiche caldo-temperate. Durante l'intero ciclo di sviluppo, essa teme le temperature relativamente basse, le forti e rapide escursioni termiche e le gelate, soccombendo ad 1-2 °C. La sensibilità è maggiore nella fase di sviluppo iniziale ed alla fioritura, quando provoca l'aborto dei fiori e la morte dei baccellini appena allegati. In particolare: a +1, +2 °C la pianta muore, la temperatura minima del terreno per la germinazione è di 12 °C, ma per avere una buona emergenza e sviluppo della plantula la temperatura deve superare i 15 °C. La temperatura ottimale durante la fase vegetativa va da 20 a 26 °C, con ridotte escursioni termiche giornaliere. Per l'allegagione, che si realizza prevalentemente durante le ore notturne, risultano ottimali 19-23 °C; temperature più basse, ma anche più alte, causano cascola dei fiori, riducono la percentuale di baccelli allegati e il numero di semi per baccello.

La pianta richiede una moderata ma costante disponibilità idrica. In particolare, la germinazione del fagiolo comune è epigea e richiede mediamente 5-7 giorni; il tempo per raggiungere la fioritura varia con la cultivar, temperatura e fotoperiodo. Nelle cultivar con abito di crescita tipo I (determinate) la fioritura è concentrata in un periodo



Figura 4.1 | Baccelli uncinati per effetto dell'aborto degli ovuli interni causa temperature elevate.

corto (7-10 giorni): stress idrico ed altre avversità abiotiche risultano molto nocive in questa fase. Le piante indeterminate producono altri nodi dopo l'emissione dei primi fiori, per cui la fioritura può protrarsi fino a 30-40 giorni. Il riempimento dei semi può durare da pochi giorni (piante determinate) a 20-30 giorni (piante indeterminate) e fino ad oltre 50 giorni (piante indeterminate rampicanti). Complessivamente, il ciclo biologico presenta una durata che va da 55 giorni (cultivar determinate, precocissime) a 200 giorni (varietà rampicanti coltivate in montagna).

Riguardo al terreno, esso deve essere sciolto, fresco, fertile; non deve essere troppo calcareo, altrimenti i semi che si ottengono sono duri e di difficile cottura per l'ispessimento del tegumento. Deve avere, insomma, le seguenti caratteristiche: reazione (pH): 6-7,5; salinità (mS/cm): <1,2; sostanza organica (%): 2-3; rapporto C/N: 9-12; Capacità di Scambio Cationico (C.S.C.) (meq/100gr): 10-15; calcare attivo (%): <10; basso contenuto di alluminio, boro, cloro e manganese; discreta presenza di rame, molibdeno e zinco.

Il fagiolo si adatta ai terreni pesanti, purché questi non siano soggetti a formare crosta in quanto ostacolo gravissimo alle nascite delle piantine, la cui germinazione è, come si è detto, epigea e i cui cotiledoni sono soggetti a rompersi al minimo ostacolo nella fase dell'emergenza. Il fagiolo si adatta ad una pluralità di cicli culturali e può consentire,

quindi, una continua presenza durante l'anno di prodotto fresco sul mercato. La brevità del suo ciclo produttivo (specialmente nel caso dei tipi nani) può consentire una più agevole introduzione della coltura negli ordinamenti colturali, migliorando l'efficacia agronomica dei relativi avvicendamenti colturali. Per esempio, la coltivazione del fagiolo da industria si è sviluppata soprattutto in semina estiva, dopo la raccolta di un cereale a paglia, per il favorevole andamento termico che si registra generalmente durante la maturazione della granella (settembre). Durante questo periodo le temperature vanno gradualmente diminuendo e ciò favorisce il riempimento dei semi e l'ottenimento di un prodotto di buona qualità, con seme di pezzatura omogenea e con una accentuata colorazione delle screziature.



Figura 4.2 | Danni da gelo in fagiolo.



Figura 4.3 | Suscettibilità a cascola fiorale e aborto dei baccelli in fagiolo borlotto.

4.2 BASI FIOLOGICHE DELLO SVILUPPO

Lo sviluppo del fagiolo è regolato principalmente dalle auxine. Questi ormoni, in pratica, hanno effetti su tutti gli stadi del ciclo vitale della pianta, dalla germinazione alla senescenza. In breve, l'auxina:

- regola la dominanza apicale. Nella maggior parte delle piante superiori la gemma apicale inibisce la crescita delle gemme laterali (o ascellari), un fenomeno noto come dominanza apicale. La rimozione dell'apice del germoglio (decapitazione) porta di solito alla crescita di una o più gemme laterali. Più di 60 anni fa si scoprì che l'acido indol-3-acetico (IAA) poteva sostituire la gemma apicale nel mantenere l'inibizione delle gemme laterali in piante di fagiolo. Questo dato fu confermato in molte altre specie, portando all'ipotesi che la crescita delle gemme laterali fosse inibita dall'auxina trasportata basipetamente dalla gemma apicale. Il trasporto basipeto di auxina dai tessuti sub-apicali regola lo sviluppo della gemma fiorale e la fillotassi, ovvero la collocazione delle foglie sul fusto;
- promuove la formazione di radici laterali e avventizie. Anche se la crescita per distensione della radice primaria è inibita da concentrazioni superiori a 10^{-8} M, l'iniziazione di radici laterali ramificate e avventizie è stimolata da alte concentrazioni di questo ormone;

- ritarda l'avvento dell'abscissione fogliare. Come è noto, questa avviene in una parte definita "zona di abscissione", situata tipicamente vicino alla base del picciolo. Nella maggior parte delle piante, l'abscissione fogliare è preceduta dal differenziamento di uno strato distinto di cellule, lo strato di abscissione. Durante l'invecchiamento delle foglie, definito senescenza fogliare, vengono digerite le pareti delle cellule dello strato di abscissione, rendendole tenere e deboli. Alla fine, le foglie si spezzano a causa dello stress esercitato sulle pareti indebolite. Si è visto che le concentrazioni di auxina sono elevate nelle foglie giovani, diminuiscono progressivamente nelle foglie mature e sono relativamente basse nelle foglie senescenti quando inizia il processo di abscissione;
- favorisce lo sviluppo dei frutti. L'auxina è prodotta o mobilitata nel polline, nell'endosperma e nell'embrione di semi in via di sviluppo e lo stimolo iniziale per la crescita del frutto può risultare dall'impollinazione. L'avvento dell'impollinazione dà inizio all'accrescimento dell'ovulo, conosciuto come fruttificazione. Dopo la fecondazione, l'accrescimento del frutto può dipendere dall'auxina prodotta nei semi in via di sviluppo. L'endosperma può contribuire alla produzione di auxina durante i primi stadi di crescita del frutto e l'embrione che si sviluppa può prendere il posto come fonte principale di auxina durante gli stadi successivi.

4.3 FISSAZIONE DELL'AZOTO

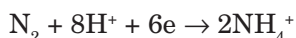
L'azotofissazione è ritenuto il processo biologico ed agro-ecologico più importante, dopo la fotosintesi clorofilliana. Grazie al rapporto di simbiosi instaurato tra le leguminose e i rizobi, l'azoto, componente importantissimo di fondamentali macromolecole biologiche (proteine, acidi nucleici, ecc.), è reso disponibile per la crescita e la produzione delle stesse leguminose e per le colture in successione, in quanto tale elemento viene in parte rilasciato nel terreno. Per questa importantissima capacità, le leguminose vengono definite colture "miglioratrici". L'utilizzo di specie azoto-fissatrici nei sistemi colturali riduce o elimina la somministrazione di concimi minerali azotati, la sintesi dei quali richiede un notevole consumo di carburanti fossili, notoriamente

non rinnovabili; inoltre, migliora l'efficienza d'uso dell'azoto, giacché l'azoto fissato biologicamente, impiegando l'energia rinnovabile del sole attraverso la fotosintesi clorofilliana, si trova legato alla materia organica ed è, perciò, meno suscettibile alla trasformazione chimica e ai fattori fisici che portano alla sua perdita dal suolo (volatilizzazione e lisciviazione ad opera dell'acqua). Infatti, la coltivazione dei cereali in rotazione con le leguminose, rispetto alla monosuccessione cerealicola, porta ad una maggiore efficienza di utilizzazione dell'azoto.

4.3.1 COME SI REALIZZA

Definita anche **riduzione assimilativa** dell'azoto gassoso, è una idrogenazione essenziale per la biosfera, pur senza sottovalutare la fotosintesi: infatti, la fissazione del carbonio è solo una delle tre tappe critiche nella sintesi globale delle proteine; le altre due sono la riduzione dell'azoto e quella dello zolfo. Solo la riduzione del carbonio richiede la presenza di piante verdi e di luce solare; le altre due si svolgono solitamente in condizioni anaerobiche, in ambienti come terreno e fanghi privi di ossigeno, e sono attività limitate ad alcuni ceppi di microrganismi fissatori dell'azoto.

La reazione di azotofissazione biologica, catalizzata dal complesso enzimatico nitrogenasi, può essere così schematizzata:



In realtà, il processo avviene attraverso diversi stadi di riduzione dell'azoto.

Tutti i microorganismi capaci di fissare l'azoto sono provvisti di un sistema enzimatico denominato **nitrogenasi**. L'attività di questo enzima è regolata con un controllo a feedback dall'ammoniaca, la cui presenza reprime l'attività del gene *nif* (*nitrogen fixation*) che codifica per l'enzima stesso (regolazione della fissazione dell'azoto).

4.3.2 MICROORGANISMI FISSATORI DELL'AZOTO

La capacità di fissare l'azoto si osserva in un piccolo numero di microorganismi procarioti, batteri e cianobatteri. I batteri azotofissatori

possono vivere sia liberi che in simbiosi, molti generi sono eterotrofi, altri autotrofi. Fra gli eterotrofi alcuni generi sono anaerobi obbligati, (per esempio, *Clostridium*), altri aerobi facoltativi (per esempio, *Klebsiella*), altri ancora aerobi (per esempio, *Azotobacter*).

I batteri autotrofi presentano un tipo primitivo di fotosintesi, ricavando sia il carbonio che l'azoto dall'aria (come il *Rhodospirillum*). Fra i batteri che vivono in simbiosi, i più importanti e specializzati appartengono al genere *Rhizobium*, che formano noduli radicali in molte specie di leguminose.

4.3.3 FORMAZIONE DI TUBERCOLI RADICALI

Il processo di formazione comporta profonde modificazioni sia della radice sia del batterio. Le radici, crescendo, secernono nel terreno sostanze che stimolano la moltiplicazione dei batteri. I batteri, a loro volta, elaborano l'acido beta-indolacetico che provoca un caratteristico incurvamento ad uncino del pelo radicale della radice. A questo



Figura 4.4 | Apparato radicale di fagiolo con elevato livello di nodulazione da batteri simbiotici.

punto, i rizobi, se appartengono al ceppo adatto, penetrano nella radice attraverso i peli; quindi si moltiplicano velocemente e si allineano lungo l'asse del pelo stesso. Qui i batteri vengono racchiusi in un tubo di cellulosa e pectina prodotti dalla cellula vegetale e si trasformano in forme rigonfie definite batteroidi. Le cellule reagiscono all'invasione moltiplicandosi e formando quel nodulo che chiamiamo tubercolo radicale. All'interno dei noduli i batteroidi fissano l'azoto e lo incorporano negli amminoacidi.

4.3.4 REGOLAZIONE DELLA FISSAZIONE DELL'AZOTO

Come avviene anche per le altre, le proteine della nitrogenasi si possono formare solo se nel DNA del nucleo è presente il gene responsabile della loro sintesi; in questo caso si chiama gene *nif*.

L'ammoniaca, prodotta dalla nitrogenasi, reprime l'attività del gene *nif* ed è perciò regolata con controllo a feedback, essenziale per l'attività dell'enzima. Quando si forma una quantità sufficiente di prodotto, l'attività dell'enzima non è più necessaria, perciò ne viene repressa la formazione dal prodotto stesso. Questo avviene sia per l'attività della nitrogenasi, sia per aggiunta artificiale di ammonio da fertilizzanti.

Questo fenomeno ha importanti implicazioni ecologiche: in un ambiente con sufficienti composti azotati non viene fissato ulteriore azoto dall'atmosfera. La fissazione si realizza soltanto quando si esauriscono le riserve di sostanze azotate. Questo meccanismo regolatore evita qualsiasi accumulo di sali azotati nell'ambiente.



[Clicca QUI per
ACQUISTARE il libro ONLINE](#)

[Clicca QUI per scoprire tutti i
LIBRI del catalogo EDAGRICOLE](#)

[Clicca QUI per avere maggiori
INFORMAZIONI](#)