

I GEORGOFILI

Quaderni
2010-VIII



SITUAZIONE DEI SEMINATIVI NEL QUADRO DELL'AGRICOLTURA ITALIANA

Firenze, 18 novembre 2010



EDIZIONI POLISTAMPA

Con il contributo di



ENTE CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE

Copyright © 2011
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»
Anno 2010 - Serie VIII - Vol. 7 (186° dall'inizio)

Direttore responsabile: Paolo Nanni

Edizioni Polistampa
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze
Tel. 055 737871 (15 linee)
info@polistampa.com - www.polistampa.com
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0978-0

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

INDICE

MICHELE PISANTE, FABIO STAGNARI, MARCO ACUTIS <i>Ruolo dei seminativi per lo sviluppo dell'agricoltura e la salvaguardia dell'ambiente</i>	7
DARIO CASATI <i>Scenari economici, tendenze evolutive e prospettive dei seminativi</i>	37
VALERIA TERZI, NICOLA PECCHIONI <i>Sistema sementiero e seminativi, un futuro inscindibile</i>	55
ANGELO CALIANDRO, PAOLO MANNINI <i>Il ruolo dell'irrigazione nel futuro dei seminativi</i>	67
CARLO GRIGNANI, ANNA MARIA STELLACCI, GIUSEPPE CARNEVALI <i>Il ruolo della fertilizzazione nel futuro dei seminativi</i>	107
PIER PAOLO ROGGERO, SIMONETTA BAGELLA, PAOLA DELIGIOS, LUIGI LEDDA, MICHELE GUTIERREZ <i>Gestione dell'abbandono dei seminativi italiani in aree svantaggiate</i>	147
STEFANO BENEDETTELLI, GIOVANNI DINELLI <i>Miglioramento degli standard qualitativi delle produzioni dei seminativi</i>	173

Ruolo dei seminativi per lo sviluppo dell'agricoltura e la salvaguardia dell'ambiente

INTRODUZIONE

Il settore dei seminativi secondo la definizione dell'UE comprende prevalentemente le superfici destinate a (COP) Cereali, semi Oleosi e le piante Proteiche (tab. 1), le cosiddette *commodities* cioè beni per i quali c'è domanda ma che sono offerti senza differenze qualitative sul mercato e sono fungibili, cioè il prodotto è lo stesso indipendentemente da chi lo produce. Queste produzioni, con le dovute differenze per importanti e insostituibili filiere agroalimentari di qualità, svolgono un ruolo centrale per l'agricoltura italiana, sia in termini di consumi alimentari, trasformazioni industriali e sia per quanto riguarda il fabbisogno dell'industria mangimistica. In Italia nel 2007 oltre la metà delle aziende agricole (57,6%) ha investito a seminativi (6,9 M di Ha, di cui circa 4 M di Ha COP) risultando, rispetto al 2005, in diminuzione dell'1,4% (tab. 2).

Se il complesso della superficie investita a seminativi ha subito una riduzione, al suo interno l'andamento delle varie colture si presenta molto differenziato; queste coltivazioni, avendo cicli per lo più annuali, sono maggiormente soggette alle dinamiche del mercato che influenzano fortemente gli investimenti e i piani colturali aziendali. Non è, pertanto, indicativo esaminare le variazioni dei diversi seminativi, fenomeno tipicamente congiunturale, nell'ambito dell'ultima indagine biennale condotta (2005-2007). Continua a registrarsi, comunque, una riduzione delle superfici a seminativi e il contem-

* *Centro di ricerca e formazione in agronomia e produzioni vegetali, Dipartimento Scienze degli Alimenti, Università degli Studi di Teramo*

** *Di.Pro.Ve. Agronomia e Coltivazioni Erbacee, Università degli Studi di Milano*

COLTIVAZIONI	SUPERFICIE TOTALE (ha)	VAR. % 2008/2007	RESA (t/ha)	PROD. RACCOLTA (.000 T)	VAR. % 2008/2007
Cereali	4.018.545	2,5	5,4	21.661	7
Frumento tenero	695.445	5,7	5,4	3.738	15,6
Frumento duro	1.586.258	10,4	3,2	5.107	30,5
Orzo	324.730	-4,1	3,8	1.233	2,9
Riso	224.197	-3,6	6,5	1.460	-2,2
Mais da granella	990.400	-6	9,6	9.461	-3,5
Semi oleosi	237.982	-10	2,7	650	-7,7
Girasole	114.792	-9,2	2,3	261	-6,3
Soia	110.324	-15,4	3,2	354	-13,3
Proteaginose	66964	2,0	1,9	133	0,8
Favino	54301	5,4	1,9	108	1,3
Pisello proteico	7556	0,3	2,6	19	0,7
Cece	5107	0,4	1,2	6	0,5
Foraggiere tempor.	1.936.881	-2,7	27,7	53.584	-0,3
Erbai	935.206	0,3	27,2	25.445	3
Mais ceroso	270.813	-1,2	51,5	13.955	-0,5
Loietto	59.219	2,3	28,3	1.676	0,8
Prati avvicendati	1.001.675	-5,4	28,1	28.140	-3,1
Erba medica	668.450	-5,5	33	22.030	-1,6
Prati polifiti	177.808	-7,2	22,6	4.026	0,3

Tab. 1 *Superfici e produzioni dei seminativi nel 2008 (Fonte Istat)*

poraneo aumento dei terreni a riposo (+4,4%) come conseguenza della nuova politica comunitaria, applicata in Italia sin dal 2005. Questa prevede, tra l'altro, il principio dell'erogazione di contributi alle aziende agricole non più secondo il tipo di coltura praticata ma in base alla media degli importi percepiti dall'agricoltore in un dato periodo di riferimento (disaccoppiamento) e anche in funzione della condizionalità ecologica (*cross-compliance*).

Molte aziende, quindi, sono disincentivate a investire a seminativi potendo continuare comunque a percepire dei finanziamenti comunitari in base all'attività svolta nel passato. A sostegno di questa tesi si consideri che nel triennio 2000/01-2002/03, invece, l'area a seminativi era rimasta praticamente costante e i terreni a riposo si erano ridotti di oltre il 20% (ISTAT, 2008).

Il ruolo dei seminativi nel nostro Paese ha seguito una evoluzione nel tempo strettamente connessa alle politiche di intervento comunitario sul settore primario (PAC) per incrementare la produttività agricola, affinché i consumatori potessero contare su approvvigionamenti stabili di alimenti a prezzi accessibili, e anche per garantire la redditività del settore agricolo comunitario. Dalla prima grande riforma del 1992, l'agricoltura comunitaria

è stata costretta ad aumentare la competitività diminuendo i potenziali impatti ambientali negativi dei moderni metodi di produzione. L'agricoltura ha dovuto anche fronteggiare l'aumento delle preoccupazioni dei consumatori assicurando la sicurezza alimentare, ma anche qualità e prezzi dei prodotti alimentari e più recentemente, soddisfare la crescente richiesta di un'alimentazione più sana. Come tutte le *commodities*, il prezzo viene determinato dal mercato e quindi la PAC ha assicurato agli agricoltori sovvenzioni e regimi che garantivano prezzi elevati, incentivandoli così a produrre, e ha erogato aiuti finanziari per la ristrutturazione del settore, ad esempio sostenendo gli investimenti delle aziende agricole per accrescere le proprie dimensioni e capacità tecnologiche onde adeguarsi alle condizioni sociali ed economiche dei tempi. Ma anche, negli ultimi decenni, gli interventi e le direttive di carattere politico hanno acquisito, per lo sviluppo del settore primario, un peso mai conosciuto nel passato, ponendo le premesse per una nuova rivoluzione del rapporto agricoltura-ambiente. Infatti, i recenti indirizzi della politica agricola sono stati rivolti a sostenere il reddito degli agricoltori, ma al tempo stesso incoraggiando le produzioni di alta qualità richieste dal mercato per la sicurezza alimentare del consumatore, cercando nuove opportunità di sviluppo, ad esempio nel campo delle fonti di energia rinnovabile rispettose dell'ambiente. I condizionamenti dei fattori politici sono diventati di gran lunga più incisivi rispetto a quelli di carattere fisico-naturale; dai primi dipendono infatti oggi non soltanto i mercati, le scelte e le riconversioni colturali, ma anche l'organizzazione funzionale delle unità produttive, il rimodellamento dei paesaggi rurali e lo sviluppo degli spazi rurali. Anche le recenti consultazioni della PAC post 2013, sono in molti a ritenere che debba svolgere un ruolo essenziale per consentire agli agricoltori di continuare a esercitare la loro attività in condizioni nelle quali i mercati non possono garantire il giusto ritorno economico, a fronte degli elevati costi di produzione sostenuti dagli agricoltori stessi, spesso in relazione all'erogazione di beni pubblici. Molti reputano che gli agricoltori dovrebbero pertanto essere sostenuti in quanto tali e ricompensati per l'eventuale erogazione di beni pubblici supplementari. Altri ritengono che la PAC debba focalizzarsi prioritariamente sull'offerta di beni pubblici, prevedendo il sostegno degli agricoltori solo qualora tali beni siano erogati, e sul contributo alla coesione territoriale, mantenendo e rafforzando la vitalità delle aree rurali. Se la disponibilità di prodotti alimentari a prezzi ragionevoli rimane un fattore cruciale, la riforma dell'Agenda 2000 ha introdotto il collegamento con lo sviluppo sostenibile. Il pacchetto di riforma del 2003 ha spezzato il nesso tra sostegno pubblico e produzione e ha introdotto la condizionalità rispetto alla legislazione comunitaria per quanto

COLTIVAZIONI	INDAGINE 2005				INDAGINE 2007				VARIAZIONI % 2001/2005	
	AZIENDE		SUPERFICIE INVESTITA		AZIENDE		SUPERFICIE INVESTITA		AZIENDE	SUPERFICIE INVESTITA
	COMPOSIZIONE %	COMPOSIZIONE %	NUMERO	COMPOSIZIONE %	VALORE AZIENDALE	COMPOSIZIONE %	MEDIA AZIENDALE			
Seminativi	56,2	39,5	956.574	57,6	6.935.831	38,90	7,2	-0,4	-1,4	
Cereali	36,7	22,0	421.990	37,1	3.919.009	22,0	6,3	-1,7	0,1	
Frumento tenero e spelta	5,0	3,0	176.867	10,5	640.050	3,6	2,6	14,2	20,0	
Frumento duro	3,8	5,8	257.000	15,3	1.463.166	5,2	5,7	-4,2	-6,1	
Orzo	5,1	2,0	135.437	8,2	365.593	2,1	2,7	-1,4	5,7	
Avena	3,8	1,0	64.310	3,8	157.635	0,9	2,5	-1,8	-30,5	
Granturco da granella	12,7	5,7	211.435	12,6	996.524	5,6	4,7	-3,7	-2,0	
Riso	0,3	1,2	4.928	0,3	220.124	1,2	44,7	8,4	0,5	
Colture proteiche per la produzione da granella	2,1	0,5	45.350	2,7	113.814	0,6	2,5	26,0	18,0	
Patata	2,7	0,2	47.756	2,8	34.589	0,2	0,7	3,7	11,5	
Barbabetola da zucchero	2,1	1,1	14.122	0,8	84.182	0,5	6,0	-60,8	-56,8	
Piante da foraggio	0,1	0,0	937	0,1	1.948	0,0	2,1	-48,9	-69,6	
Piante industriali	3,3	1,5	42.973	2,6	231.191	1,3	5,4	-25,6	-15,3	
Ortive	4,0	1,3	140.330	0,4	231.520	1,3	1,6	1,4	-1,6	
Foraggiere avvicendate	17,0	10,0	204.243	15,1	1.795.193	10,1	5,9	3,4	0,4	
Terreni a riposo	8,3	2,7	161.971	9,6	494.217	2,0	2,1	12,4	4,4	
Coltivazioni legnose agrarie	69,7	12,6	1.178.228	70,2	2.323.184	13,0	2,0	-2,1	1,6	
Vite	30,8	4,1	506.032	30,1	761.480	4,3	1,5	-4,9	4,8	
Olivio per la produzione di olive	46,0	5,6	775.783	46,2	1.018.995	5,7	1,3	-2,3	2,2	
Agrumi	4,9	0,7	78.677	4,7	113.201	0,6	1,4	-5,6	-7,1	
Arancio	3,4	0,4	60.358	3,6	73.090	0,4	1,2	2,0	-7,0	
Mandarino	0,9	0,0	3.065	0,5	4.268	0,0	0,5	-41,3	-48,0	

Tab. 2 Aziende e relativa superficie investita per le principali coltivazioni praticate. Anni 2005 e 2007 (superfici in ettari) (Segue)

COLTIVAZIONI	INDAGINE 2005					INDAGINE 2007					VARIAZIONI % 2001/2005	
	AZIENDE		SUPERFICIE INVESTITA		MEDIA AZIENDALE	AZIENDE		SUPERFICIE INVESTITA		MEDIA AZIENDALE	AZIENDE	SUPERFICIE INVESTITA
	COMPOSIZIONE %	COMPOSIZIONE %	NUMERO	COMPOSIZIONE %		VALORE AZIENDALE	COMPOSIZIONE %					
Clementina e i suoi ibridi	0,8	0,1	13.197	0,8	17.382	0,1	1,3	-0,5	-6,7			
Limone	1,3	0,1	23.238	1,4	16.559	0,1	0,7	5,8	32,9			
Altri agrumi	0,2	0,0	2.229	0,1	1.342	0,0	0,6	-24,3	-49,3			
Frutteti	14,8	2,3	243.946	14,7	402.901	2,3	1,6	-3,4	-1,9			
Melo	3,2	0,3	49.635	3,0	55.137	0,3	1,1	-10,3	-6,3			
Pero	2,0	0,2	30.250	1,8	32.009	0,2	1,1	-13,3	-8,2			
Pesco	2,9	0,3	38.442	2,3	37.898	0,2	1,0	-20,7	-28,2			
Nectarina	0,6	0,1	14.858	0,9	25.706	0,1	1,7	50,9	15,5			
Albicocco	1,4	0,1	22.065	1,3	15.564	0,1	0,7	-18,8	-7,7			
Castagno da frutto	2,0	0,3	30.670	1,8	53.451	0,3	1,7	-9,5	-9,6			
Vivai	0,5	0,1	8.454	0,5	13.720	0,1	2,2	-2,0	-7,5			
Orti familiari	26,2	0,2	409.396	24,4	30.426	0,2	0,1	-9,6	-12,6			
Prati permanenti e pascoli	20,1	20,1	351.677	20,9	3.451.756	19,3	9,8	1,4	3,1			
Superficie agricola utilizzata	99,9	71,4	1.577.765	99,9	12.744.196	71,4	7,6	-2,8	0,3			
Alboricoltura da legno	1,7	0,7	34.751	2,1	121.420	0,7	3,5	18,4	-0,4			
Boschi	20,9	20,5	371.427	22,1	3.692.223	20,7	9,9	3,0	1,2			
Superficie agricola non utilizzata	17,8	3,2	337.107	20,1	592.153	3,3	1,8	9,5	5,5			
Altra superficie	66,4	4,3	1.105.850	65,9	691.552	3,9	0,6	-3,5	-9,4			
SUPERFICIE AGRICOLA TOTALE	104,9	100,0	1.479.439	100,9	17.841.544	100,0	10,6	-2,7	9,2			

Tab. 2 Aziende e relativa superficie investita per le principali coltivazioni praticate. Anni 2005 e 2007 (superfici in ettari)

riguarda i metodi di produzione agricola. Questa impostazione ha finito con l'allineare l'orientamento al mercato alle norme ambientali e anche ad altre norme di produzione, determinanti per la sostenibilità futura del settore agricolo comunitario.

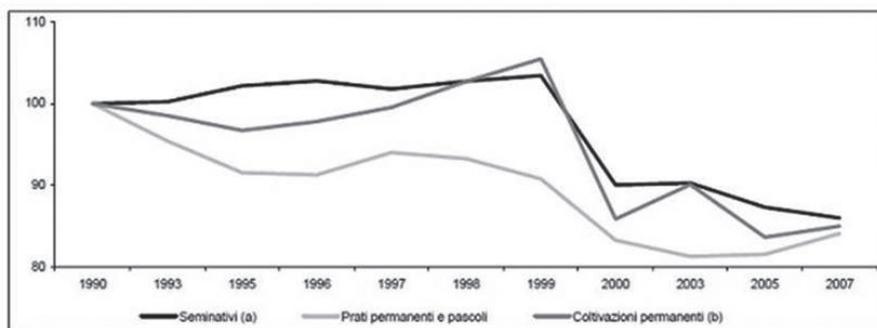
IL MULTI RUOLO DEI SEMINATIVI

La pratica dell'agricoltura, nella sua multifunzionalità, da sempre ha indirizzato le tecnologie per l'intensificazione colturale, l'incremento delle rese produttive e l'aumento dei profitti, anche attraverso misure di aiuto e sostegno indirizzate alla qualità nell'ottica di filiere agro-alimentari. Tuttavia, il successo di queste iniziative è stato riscontrato esclusivamente laddove l'aggregazione delle imprese agricole ha favorito la valorizzazione commerciale delle produzioni, in un rapporto paritetico con il segmento di filiera della trasformazione industriale. Dove si è registrato un dominio della componente industriale, l'Agricoltura è stata sfruttata e depauperata. In questo mutato scenario complessivo, ai seminativi, nel tempo, progressivamente è stato attribuito un ruolo produttivo multiplo, grazie all'introduzione di moderni schemi a sostegno della gestione sostenibile e conservazione delle risorse naturali, corrispondendo di fatto alle nuove prospettive dello sviluppo rurale (Pisante, 2007). Da qui le nuove e concrete opportunità per l'adozione di differenti pratiche agronomiche, rivolte a conservare i terreni in buone condizioni agronomiche e ambientali, previste nella nuova Strategia per lo Sviluppo Sostenibile (CE, 2006) articolata su 7 tematiche e 4 aree trasversali. Il primo tema della strategia è il cambiamento climatico, per il quale c'è un chiaro impegno nell'attuazione degli obiettivi di Kyoto, nello sviluppo delle energie rinnovabili e negli obiettivi di crescita dell'efficienza ecologica (Stagnari et al., 2009).

PRODUZIONE PRIMARIA

La superficie a seminativi, nel periodo 1990-2007, ha subito una drastica riduzione del 14,0% con una perdita di oltre 1 M di ettari, di poco inferiore alla riduzione della SAU (14,7%) che nello stesso periodo è passata da circa 15 a 12,7 M di ettari (graf. 1). La SAU pro-capite è diminuita da 2646 m² a 2148 m². La riduzione della superficie è stata compensata dall'incremento di circa il 21% delle produzioni unitarie sull'intero comparto dei seminativi.

Le produzioni del settore dei seminativi in Italia sono destinate preva-



Fonte: Istat, Struttura e produzioni delle aziende agricole; Censimento generale dell'agricoltura
 (a) Compresi gli orti familiari.
 (b) Compresi i castagneti da frutto.

Graf. 1 Superficie agricola utilizzata (SAU) per modalità di utilizzo, anni vari (indice base 1990=100)

lentemente all'industria molitoria e al settore zootecnico-mangimistico. La domanda dell'industria molitoria assorbe la quasi totalità delle disponibilità nazionali di frumento dirette all'alimentazione umana e fornisce la materia prima per la produzione di alimenti di largo consumo come pane e pasta di semola. L'industria mangimistica, invece, assorbe la quasi totalità degli altri cereali foraggeri: orzo, mais e cereali minori (tab. 3), di soia e colture proteiche (favino, pisello proteico) e semi oleosi (tab. 4). Il ruolo rivestito dai seminativi nella filiera mangimistica italiana è molto importante. Infatti, l'industria italiana degli alimenti zootecnici è costituita da circa 900 stabilimenti che producono mangimi composti per oltre 11,6 M di tons. La distribuzione degli stabilimenti copre quasi interamente il territorio nazionale, con punte particolarmente elevate in Emilia-Romagna, Lombardia Piemonte, Umbria e Veneto. Secondo le stime più recenti, il 38% della produzione totale di mangimi è destinata all'alimentazione di volatili, il 32% ai bovini, il 20% ai suini, il 10% agli altri animali.

Nell'ultimo trentennio, la produzione di alimenti zootecnici è cresciuta da 3 a 12 M di t. Le stime di ASSALZOO mettono in risalto luci e ombre di un settore forse troppo polverizzato in Italia, ma caratterizzato da un utilizzo elevato di materie prime di elevata qualità.

Il settore dei seminativi è caratterizzato da forti oscillazioni produttive da imputare principalmente all'andamento meteorologico.

Dalla fine degli anni novanta, è emersa una tendenza al rialzo per la produzione di frumento duro e mais con una variazione media annua dell'indice, rispettivamente, del 3% e del 2% e di proteaginose quali favino del 20% e

PRODOTTI	PRODUZIONE NAZIONALE	IMPORT.	ESPORT.	DISPONIBILITÀ TOTALE	USI DIVERSI	ALIMENT. BESTIAME
Avena	361.147	29.645	7.576	383.216	43.216	340.000
Frumento ten.	3.247.523	4.326.068	110.404	7.463.187	6.178.187	1.285.000
Frumento duro	3.922.657	2.024.234	111.815	5.835.076	5.835.076	-
Granoturco	9.809.265	2.484.415	148.698	12.144.982	3.044.982	9.100.000
Orzo	1.225.282	647.242	19.974	1.852.550	296.550	1.556.000
Segale	8.953	13.025	1.133	20.846	4.846	16.000
Altri cereali	235.702	328.361	6.217	557.847	7.847	550.000
Siero di latte	64.000	64.825	105.598	19.226	-	19.226
Farina di pesce	7.900	56.824	7.380	57.344	-	57.334
Crusca	2.546.000	74.894	49.524	2.571.369	-	2.571.369
Farine d'estr.	1.692.039	3.066.219	214.020	4.544.238	-	4.544.238
Totale	23.120.471	13.111.756	782.342	35.449.885	15.410.706	20.039.178

Tab. 3 *Disponibilità dei principali mangimi semplici (tonnellate). Fonte ASSALZOO*

PRODOTTI	PRODUZIONE (QUANTITÀ IN TONNELLATE)
Colza e ravizzone	21.610
Girasole	345.078
Soia	1.307.710
Totale	1.674.398

Fonte: Associazione Italiana Industria Olearia (dati 2007)

Tab. 4 *Produzione nazionale di semi oleosi per l'alimentazione del bestiame*

pisello proteico del 6%. Di contro, l'offerta di frumento tenero e orzo è risultata in calo del 2% annuo, quella della soia del 6%. Tuttavia, nell'ultima campagna 2009/10 l'offerta di mais da granella, sorgo, orzo e avena è diminuita, probabilmente per le difficoltà nella filiera zootecnica e di conseguenza il settore mangimistico.

La quasi totalità della disponibilità nazionale di frumento duro è destinato all'alimentazione umana che assorbe anche il 70% circa dell'offerta di frumento tenero, la rimanente quota è utilizzata per l'alimentazione animale. Trai cereali nel comparto degli allevamenti trovano collocazione anche il 95% dell'offerta del mais e l'85% di orzo (tab. 5). Negli ultimi dieci anni, il consumo umano di frumento tenero ha mostrato una sostanziale stabilità mentre le utilizzazioni del frumento duro hanno subito forti oscillazioni da imputare alla irregolarità della produzione interna, in termini quantitativi e qualitativi, ma anche all'accresciuto e costante tasso di crescita delle esportazioni di pasta.

Per il settore dei cereali foraggeri è emersa nell'ultimo decennio, grazie al

PRODOTTI	2002	2003	2004	2005	2006	2007
TOTALE						
Avena	379641	370682	391962	458452	408749	383216
Fruento Tenero	9395925	7605437	8085725	8252130	8177248	7463187
Fruento duro	5638715	5401448	6818540	5926471	6233415	5835076
Granoturco	11193319	9703677	12625818	11623521	11199382	12144982
Orzo	2131721	1934833	2410748	2048017	2024539	1888828
Segale	26107	40705	40489	30530	23853	20846
Altri cereali	334428	544953	674097	199122	297971	557874
PER L'ALIMENTAZIONE DEL BESTIAME						
Avena	328000	321000	335000	390000	360000	340000
Fruento Tenero	1450000	1160000	1291000	1304000	1300000	1285000
Fruento duro	-	-	-	-	-	-
Granoturco	7750000	7980000	10300000	9090000	8890000	9100000
Orzo	1970000	1560000	1879000	1587000	1497000	1556000
Segale	22000	29000	28000	21000	18000	16000
Altri cereali	331000	542000	668000	197000	288000	550000

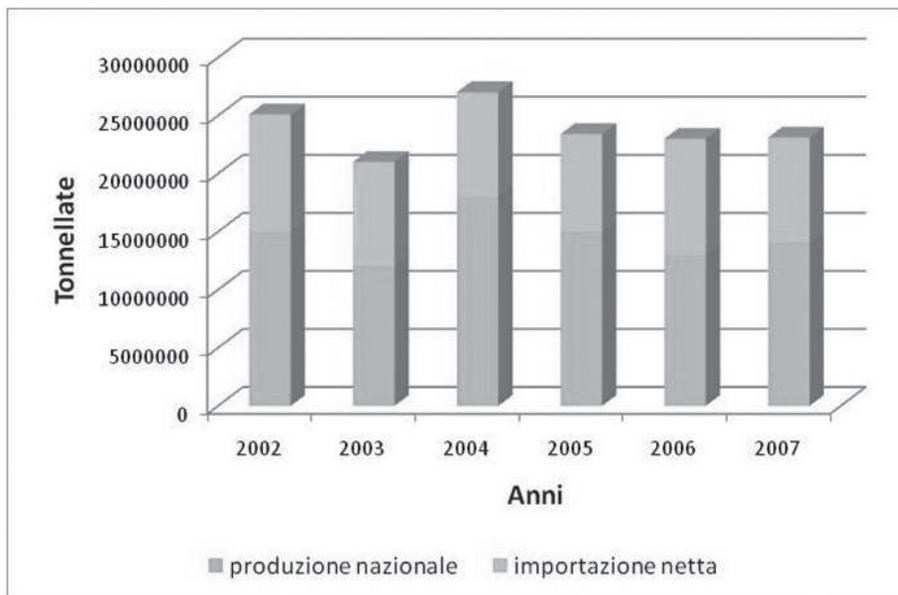
Tab. 5 *Produzione nazionale di cereali e destinazione per l'alimentazione del bestiame. Fonte ASSALZOO*

buon andamento nel complesso del comparto degli allevamenti, una crescita dei consumi e anche di importazioni (graf. 2).

Le previsioni di medio periodo (2015) sull'impatto della riforma della PAC, ottenute elaborando i risultati del modello MEG Ismea, evidenziano un:

- netto ridimensionamento del comparto dei seminativi (con particolare riferimento del frumento tenero, frumento duro e soia);
- estensivizzazione delle coltivazioni verso le foraggere;
- buona tenuta della domanda interna di cereali da parte dell'industria mangimistica e molitoria;
- peggioramento della bilancia commerciale a causa della riduzione dell'offerta nazionale.

Analizzando invece il settore dei seminativi nel breve periodo, gli elementi che incideranno verosimilmente in maniera più sensibile sull'evoluzione dei seminativi in Italia sono, in termini positivi, il diffuso ed elevato livello della conoscenza delle tecniche di coltivazione, l'aumento dell'integrazione contrattuale tra coltivatori e industria di trasformazione tramite produzioni sotto contratto, la presenza già in alcune regioni di un contoterzismo professionale e di strutture cooperative organizzate, un'ampia diffusione di strutture consortili di commercializzazione anche se non sempre ottimamente funzionanti, l'affermazione della "dieta mediterranea" quale modello alimentare nazionale



Graf. 2 *Produzione nazionale ed importazione netta di cereali foraggeri. Fonte ASSALZOO*

e internazionale, basata anche su prodotti cerealicoli.

D'altro canto le criticità che influenzeranno negativamente il comparto dei seminativi sono rappresentate da un'eccessiva frammentazione del tessuto produttivo, da un'offerta in termini quantitativi non concentrata, da un'elevata variabilità quantitativa e qualitativa dei raccolti nazionali, da un lento ma costante tasso di crescita dei costi di produzione dei comparti industriali a monte del settore agricolo (chimico e petrolifero), da una scarsa presenza nelle aree marginali di strutture adeguate di supporto, da uno scarso interesse per il miglioramento della qualità del prodotto (l'offerta è generalmente indifferenziata).

SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE

I seminativi rappresentano le componenti variabili temporanee di un'entità spaziale complessa qual è il paesaggio rurale, nel quale troviamo registrate e sedimentate nel tempo, le trasformazioni di genere naturale, culturale, economico e sociale. L'evoluzione delle attività e delle pratiche agricole nel corso della storia ha progressivamente modellato il paesaggio rurale, originando

veri e propri agroecosistemi in equilibrio con gli habitat semi-naturali. Un esempio ricorrente in tal senso è quello dei boschi eliminati a favore delle colture cerealicole, ovvero un caso emblematico di sistematica sostituzione delle specie animali e vegetali originarie con altre di maggiore utilità per la collettività.

Tra gli antesignani del processo di trasformazione, i pastori svolsero un ruolo di primo piano bruciando vaste estensioni di bosco per creare i pascoli per le loro greggi, spostandosi attraverso dei selciati naturali (tratturi), che sarebbero diventati nelle epoche successive vere e proprie strade.

Una forte influenza dell'uomo agricoltore sull'ambiente si è riscontrato durante l'età dei Comuni quando, grazie a una struttura societaria molto più organizzata, si assiste all'estensione delle terre coltivate e all'introduzione di nuove tecniche produttive, tali da garantire rese più alte; ciò permise un netto progresso nelle condizioni di vita della popolazione, garantendo un miglioramento sia nella qualità sia nella quantità dei beni disponibili per tutte le classi sociali.

Lo spazio agricolo subì delle profonde trasformazioni a partire dagli inizi del Trecento, essenzialmente caratterizzato da grandi estensioni di seminativi essenzialmente cereali e leguminose. Tale progresso fu però drasticamente bloccato dalla peste, che gravò per più di un secolo, distruggendo una larga fetta della popolazione influenzando di riflesso anche il paesaggio agrario. Infatti, ciò causò una nuova estensione dei boschi, delle paludi e dell'incolto e come conseguenza si dovette attendere tutto il Quattrocento per assistere nuovamente a una crescita, seppur lenta, della curva demografica.

Nel Settecento il panorama agricolo era principalmente caratterizzato dai frumenti e il mais in genere era coltivato in quella metà dell'azienda che doveva essere lasciata a riposo secondo la logica della rotazione biennale, impedendo così il ripristino della fertilità naturale e riducendo la produzione di foraggi freschi e di fieno. La produzione del mais seppure mirava ad aumentare la quantità di grano da esportare e cercava di far fronte alla crescente domanda di cereali sfarinabili, finiva per inceppare il sistema mezzadrile, incrementando di fatto il numero di carestie e impoverendo le classi sociali subalterne. Negli ultimi 50 anni il forte ridimensionamento del settore agricolo in generale ha portato all'abbandono di vaste estensioni di terreni (situati soprattutto in aree marginali) a conduzione per lo più familiare, provocando dissesti idrogeologici e degrado ambientale. Agli inizi di tale periodo sulle terre assegnate ai coltivatori, si assiste a un passaggio da un'agricoltura di tipo estensivo a una a carattere intensivo, rivolta a una maggiore produttività. L'effetto principale è stata la definitiva scomparsa dei seminativi a riposo, come il maggese, a favo-

re degli impianti arborei e di un tipo moderno di allevamento del bestiame. Si assiste alla scomparsa del latifondo costiero meridionale e del paesaggio della pianata padana. Per far posto alle colture più redditizie, sostenute da una meccanizzazione agricola d'avanguardia, si è operata un "semplificazione dell'ambiente": si sono, infatti, rimosse le siepi e le alberature, si sono colmati i fossi e i ruscelli, si sono abbattute le piccole opere di contenimento. Il paesaggio agricolo così modificato, oltre a subire una riduzione delle specie animali e vegetali, perde la suggestione di quel disegno dato dall'alternarsi dei colori delle diverse colture, rinunciando al suo valore estetico a favore di quello utilitaristico.

La modernizzazione delle pratiche agricole ha causato ingenti danni all'equilibrio naturale, soprattutto in relazione all'uso massiccio di lavorazioni meccaniche, utilizzo di agrofarmaci e fertilizzanti chimici e per la degradazione di habitat tipici delle campagne mediterranee (siepi, piccole aree boscate, zone umide); si è inoltre verificata una drastica riduzione delle specie animali e vegetali utilizzate nei processi produttivi.

Tuttavia, a partire dagli ultimi venti anni il rapporto ambiente-agricoltura si è profondamente ulteriormente modificato; le nuove prospettive si inquadrano nelle linee guida recentemente indicate dall'Unione Europea, sintetizzate dal documento intitolato "Agenda 2000", che inserisce fra le priorità il rafforzamento della PAC e una sorta di riqualificazione del mondo rurale, attraverso l'attivazione di un nuovo legame tra ambiente e attività produttive. Sebbene parte del mondo agricolo mostri tuttora atteggiamenti di ostilità nei confronti della salvaguardia ambientale percepita come un limite allo sviluppo, nella maggior parte dei casi prevale oggi un atteggiamento collaborativo, che ha portato alla concretizzazione di nuove opportunità economiche per gli operatori del settore primario, compatibili con le esigenze di tutela dell'ambiente, biodiversità e tutela climatica.

Il ruolo dell'agricoltura, in particolare dei seminativi, è oggi inteso da più parti in un'ottica multifunzionale e multi produttiva, attività fondamentali che venendo meno possono determinare danni irreparabili e il degrado ambientale del paesaggio rurale.

Tra i potenziali effetti negativi conseguenti il ritiro dei seminativi dalla produzione, l'erosione del suolo è quella più preoccupante, che tuttavia dipende dalle specifiche caratteristiche del suolo e dalle condizioni climatiche. L'erosione provocata dall'abbandono della coltivazione dei suoli non solo si riflette negativamente in termini di perdita di suolo, di sostanza organica, di fertilità potenziale del terreno, ma anche in termini di inquinamento da sedimenti. Ciò ha delle conseguenze molto serie sulla

qualità delle acque, in generale. Anche da un punto di vista puramente economico il ritiro dalla produzione dei seminativi aggrava ulteriormente il bilancio aziendale.

Accanto a ciò il ruolo che i seminativi in particolare ma tutto il settore primario in generale svolgono, in quanto caratterizzati da potenzialità intrinseche determinate sia dalla tipologia dei fattori produttivi sia dalla eticità ambientale dei processi e dei prodotti, va oltre il fornire derrate alimentari. L'attività agricola, infatti, presenta alcuni aspetti che la connotano univocamente: la risorsa terra quale principale fattore produttivo, il ruolo dei processi biologici nella produzione, il forte legame con l'ambiente e il territorio. D'altro canto, questa visione non è sostanzialmente dissimile da quella che può essere desunta dai documenti dell'OCSE nei quali si afferma che l'agricoltura oltre alla produzione di alimenti sani e di qualità può modificare il paesaggio, contribuire alla gestione sostenibile delle risorse, alla preservazione della biodiversità, a mantenere la vitalità economica e sociale delle aree rurali (OCSE, 1998).

Tale visione multi produttiva e multi funzionale che si è sempre più consolidata negli ultimi anni si evidenzia, tra l'altro, attraverso la conservazione di pratiche atte a tutelare il paesaggio rurale e a mantenere le sistemazioni idraulico-agrarie; la conversione verso modelli colturali a basso input e la produzione con finalità non alimentari. Considerando l'ultimo punto, i seminativi sono sempre più considerati non solo in grado di produrre e fornire beni alimentari, ma anche capaci di fornire alla società una serie diversificata di servizi tra cui energia (Legge n. 255, 2005; Legge n. 81, 2006). Già con la "Riforma Fischler", oltre alla possibilità di produrre colture energetiche su terreni a *set-aside*, era previsto un contributo aggiuntivo destinato alle colture energetiche purché venissero soddisfatte alcune condizioni di ammissibilità. A tale riforma e al sostegno da essa garantito, si è aggiunto successivamente un "Piano d'azione per la biomassa" promosso dalla Commissione Europea (Bruxelles, 07.12.2005) con l'obiettivo prefissato di raggiungere il soddisfacimento del fabbisogno energetico comunitario attraverso la biomassa di oltre l'8 % nel 2010.

Attualmente i seminativi destinati (colture dedicate) alla produzione di energia sono di tre tipologie principali:

1. colture da carboidrati, caratterizzate da un elevato contenuto zuccherino quali i cereali autunno vernini (frumento, orzo, avena), il mais, la barbabietola da zucchero e il sorgo zuccherino. Le biomasse zuccherine fornite da tali colture, a seguito di una conversione biochimica, possono essere destinate alla produzione di bioetanolo attraverso una fermentazione aerobica delle

REGIONI	COLZA		GIRASOLE		SOIA	
	SUPERFICI (ha)	PROD. TOT. (q.li)	SUPERFICI (ha)	PROD. TOT. (q.li)	SUPERFICI (ha)	PROD. TOT. (q.li)
Emilia-Romagna	1168	39770	5212	160160	12100	373810
Toscana	1145	24980	18033	353513	140	3709
Umbria	99	2670	38017	932745	50	1250
Marche	164	3331	29850	635000	292	8989
Lazio	916	11108	2710	45663	78	1405
ITALIA	12342	326508	114669	2627170	111927	3566424

Tab. 6 *Stima delle superfici (ha) e delle produzioni (q.li) delle principali colture oleaginose presenti sul territorio italiano e in alcune regioni del centro*
(Fonte: elaborazione di dati ISTAT, Annuario 2008)

biomasse seguita da una distillazione, o di biogas, attraverso la fermentazione anaerobica di materiali organici da parte di batteri metanigeni.

- colture oleaginose, caratterizzate da un elevato contenuto in olio quali girasole, colza e soia (tab. 6). L'olio estratto dai loro semi può essere utilizzato tal quale, o trasformato, previa reazione chimica (transesterificazione) con metanolo o altro alcol, in biodiesel.
- colture da biomassa lignocellulosica, a elevata produzione di sostanza secca, con un alto tenore in lignina, che può essere sottoposta a differenti processi: combustione, pirolisi, gassificazione, torrefazione e produzione di biocarburanti, seppur ancora in fase sperimentale.

A tale utilizzo dei seminativi sono sempre di più riconosciute negli ultimi tempi, oltre all'aspetto importante di fornire energia, diverse e distinte funzioni agro ecologiche (Bonari et al., 2004), quali cattura e immobilizzazione della CO₂, riduzione delle emissioni di gas serra, diversificazione colturale, incremento di energia da fonti rinnovabili e contenimento dei consumi di combustibili fossili, conservazione del suolo, tutela delle risorse idriche. Come esempio dopo cinque anni di impianto di panico (*Panicum virgatum*), circa il 25% del carbonio presente nel terreno proveniva dalla coltura (Garten e Wullschleger, 2000).

Le colture da biomassa, in quanto rinnovabili, comportano una emissione di gas-serra nettamente inferiore rispetto ai combustibili di origine fossile [1 GJ (109 Joule)] prodotto da colture dedicate genera un'emissione di 2 kg di carbonio, contro i 22 kg del petrolio (Bezzi et al., 2006).

Tra i seminativi destinati alla produzione di energia nel contesto nazionale molto spesso le colture cerealicole presentano rapporti output/input molto bassi, con guadagni energetici limitati (tab. 7) al punto di poter riconsiderare tali colture adatte alla produzione energetica (Venturi e Venturi, 2003).

COLTURA	INPUT (GJ/ha)	OUTPUT (GJ/ha)	BILANCIO ENERGETICO	
			OUTPUT/INPUT	GUADAGNO (GJ/ha)
Frumento	15-30	15-85	1.0-2.8	0-55
Orzo	10-28	15-60	1.5-2.1	5-32
Mais	25-40	35-150	1.4-3.8	10-110
Sorgo da granella	20-30	20-95	1.0-3.2	0-65
Barbabietola da zucchero	25-60	40-170	2.8-3.2	45-130

Tab. 7 *Principali colture zuccherine; input e bilancio energetico nella fase produttiva; valori medi su base europea (Venturi and Venturi, 2003, modificato)*

COLTURA	PROD. (T/HA)	OLIO		CONTENUTO ENERGETICO		OUTPUT ENERGETICO		
		(%)	(t/ha)	SEMI (MJ/kg)	OLIO (MJ/kg)	SEMI (GJ/ha)	OLIO (GJ/ha)	PANELLO (GJ/ha)
Colza	0.7-3.4	35-40	0.4-1.4	24.0	37.4	16.8-81.6	11.2-52.3	5.6-26.9
Girasole	0.5-2.5	40-48	0.2-1.2	27.2	38.4	13.6-68.0	7.7-46.1	5.9-21.9
Soia	0.7-3.6	18-20	0.1-0.7	20.5	36.4	14.4-73.8	3.6-25.5	10.8-48.3

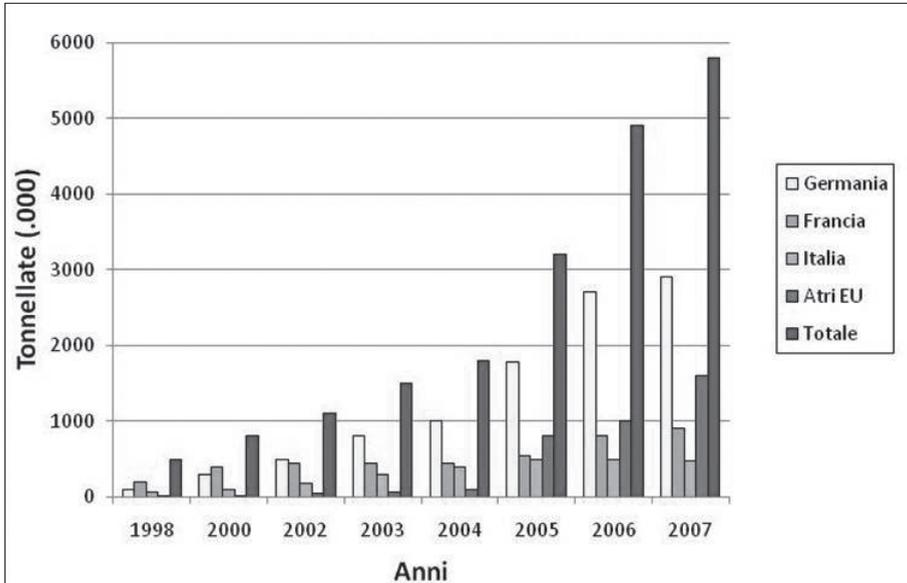
Tab. 8 *Principali colture oleaginose; produzione in granaglia, olio ed energia; valori medi su base europea (Venturi and Venturi, 2003, modificato)*

PAESE	CAPACITÀ (*000 TONNELLATE)	
	Italia	447
Spagna	99	508
Portogallo	91	246
Slovacchia	82	99
Grecia	42	440
Slovenia	11	17
Romania	10	81
Bulgaria	4	65
Malta	2	8
Cipro	1	6
Ungheria	0	21

Tab. 9 *Produzione di biodiesel nei paesi del Sud Europa*

Fonte: european biodiesel board

Frequentemente le colture oleaginose tipo girasole sono sottoposte a una gestione estensiva con bassi livelli di input, ma molto spesso con insufficienti livelli di output (tab. 8). L'aspetto che spesso è considerato limitante in tali circostanze è la bassa produzione che necessita però di vasti areali per essere compensato e qualche non trova ragione nei territori italiani. Ciononostante



Graf. 3 Produzione di biodiesel in migliaia di tonnellate dai Paesi dell'UE (1998-2007)

la produzione di biodiesel in Italia rimane la via più realistica per la produzione di energia da seminativi (tab. 9; graf. 3).

L'utilizzazione dei seminativi come fonte energetica rinnovabile, quale è una coltura dedicata, in luogo di una fonte di origine fossile, permette un sostanziale abbattimento delle emissioni in atmosfera e quindi contribuisce al decremento delle emissioni in atmosfera di gas a effetto serra. La rimozione e lo stoccaggio del carbonio nella biosfera, in particolare nel suolo (*carbon sequestration*) sono fenomeni molto importanti. Venturi e Monti (2005) riportano che una parte considerevole di carbonio assimilato (40-60%) è destinata all'accrescimento dell'apparato radicale e quindi viene sottratta all'atmosfera in modo durevole.

Ma l'altro aspetto che più caratterizza alcune colture energetiche, è soprattutto il ridotto fabbisogno in fertilizzanti azotati e fosfatici, fattore che determina un'oggettiva riduzione della generazione degli inquinanti, particolare questo di forte interesse nell'areale del bacino scolante.

Così come la riduzione dell'erosione del suolo che è considerata una delle maggiori problematiche che influenzano la qualità del suolo, e dell'acqua, nelle aree agricole in generale, e rappresenta una grave minaccia per la produzione agricola nel lungo periodo (Larson et al., 1983).

La riduzione dei fenomeni di erosione del suolo grazie all'utilizzo di colture erbacee è documentato (Tolbert et al., 1998). Colture tipo il panico

svolgono, inoltre, un importante ruolo di stabilizzazione del terreno lungo i corsi d'acqua o nelle zone umide (Gamble e Rhodes, 1964). L'inserimento dei seminativi come fonti di biomassa da energia determina un impatto sociale notevole. Venturi e Monti (2005) riportano in tal senso un dato importante relativamente all'impatto sul mondo del lavoro, a seguito dello sviluppo delle colture energetiche. È stato calcolato, infatti, come si generi un nuovo posto di lavoro ogni 540 t di biomassa secca ottenuta da colture dedicate.

TUTELA CLIMATICA

Le temperature medie annuali in Italia sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7°C (pari a oltre 0,8°C per secolo), ma il contributo più rilevante a questo aumento è avvenuto in questi ultimi 50 anni, circa 1,4 °C. Le analisi delle serie temporali 1961-2008 evidenziano una diminuzione della temperatura media in Italia dal 1961 al 1981 e un successivo incremento fino al 2008, per un aumento complessivo di circa 1,0 °C (ISPRA, 2009).

Un'analisi delle tendenze su base stagionale dettagliata per l'Italia settentrionale, centrale e meridionale indica che l'aumento della temperatura media è significativo ovunque in autunno dal 1970 e in estate dal 1980, mentre nell'intero periodo 1961-2006 è significativo al Nord in inverno e al Centro-Sud in primavera (Toreti et al., 2009a). La tendenza al riscaldamento si evince anche dall'analisi dei valori estremi di temperatura. Nel periodo 1961-2008, mediante *trend analysis*, sono stati stimati un aumento medio del 12% di "giorni estivi" e un aumento medio del 42% di "notti tropicali" rispetto alla media climatologica (ISPRA, 2009).

Considerando le precipitazioni nel lungo periodo, i trend risultano generalmente negativi, anche se solo di lieve entità e spesso poco significativi dal punto di vista statistico (Brunetti et al., 2006). L'entità della riduzione delle precipitazioni è intorno al 5% per secolo, concentrata essenzialmente in primavera, periodo in cui la riduzione è intorno al 10% per secolo (Nanni e Prodi, 2008). La serie invernale del Nord Italia mostra una diminuzione significativa della precipitazione media di 1,47 mm/anno dal 1961 al 2006 (Toreti et al., 2009b).

Nell'ambito degli strumenti e delle politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici, un ruolo fondamentale è svolto dal monitoraggio delle emissioni dei gas climalteranti (tab. 10). Nel 2008 le emissioni nazionali dei gas serra del settore Agricoltura hanno rappresentato il 6,6% del totale nazionale, di gran lunga inferiore al settore energetico (84%). Nel settore agricolo, dal

ANNO	MT CO ₂ EQ.	VARIAZIONE % RISPETTO AL 1990
1990	517	
2000	550	+ 6,4% in più rispetto al 1990
2005	573	+ 11% in più rispetto al 1990
2008	541	+ 4,7% in più rispetto al 1990

Tab. 10 *Emissioni di CO₂ in Italia dal 1990 al 2008*

PRINCIPALI FONTI DI EMISSIONI	1990	2000	2005	2008
Energia	419	451	474	453
Industrie energetiche	136	152	160	160
Industria manifatturiera e costruzioni	86	84	80	73
Trasporti	101	120	126	122
Civile	78	79	93	85
Altro (fughe, militari)	11	9	8	7
Processi industriali	37	35	41	34
Uso di solventi e altri prodotti	2	2	2	2
Agricoltura	41	40	37	36
Rifiuti	18	22	18	17

Tab. 11 *Principali fonti di emissioni di CO₂ (in Mt CO₂) in Italia e variazioni dal 1990 al 2008*

1990 al 2008 si è verificata una riduzione delle emissioni pari all'11,6% (tab. 11) principalmente a causa della riduzione del numero di capi e della contrazione delle superfici agricole (ISPRA, 2010). Va evidenziato che negli ultimi anni, il recupero del biogas dalle deiezioni animali sia stato particolarmente significativo. È stato stimato che il recupero di biogas abbia contribuito alla riduzione delle emissioni per circa l'11% per la categoria emissiva "gestione delle deiezioni" (Córdoba et al., 2008; MATTM, 2009).

Il contributo delle categorie del settore Agricoltura non ha subito una variazione significativa negli ultimi anni. I suoli agricoli contribuiscono con il 47% di emissioni, la fermentazione enterica con il 30%, gestione delle deiezioni con il 19%, le risaie 4%, e combustione delle stoppie con il 0,05%.

Tale cambiamenti climatici hanno un influenza sui seminativi che varia in funzione della zona considerata. Nelle aree settentrionali si possono avere dei benefici che sono individuabili nella possibilità di introdurre nuove colture, di ottenere delle rese più elevate e nell'espansione delle aree utilizzabili per la coltivazione. D'altro canto gli svantaggi sono da ricercare nell'accelerazione del tasso di decomposizione della sostanza organica, in un maggior rischi di lisciviazione dei nitrati, nei maggiori sforzi per la protezione delle colture.

Nelle zone meridionali i seminativi sono più soggetti a influenze negative, essendo tali aree indicate come ad alta vulnerabilità. In tal senso a fronte del

solo vantaggio della possibilità di introduzione di nuovi seminativi, si pongono significative riduzioni di rese e aumento della loro aleatorietà, incremento dell'incidenza degli eventi climatici estremi (gelate tardive, ondate di calore, intensità precipitazioni, ecc.) e una riduzione aree utilizzabili per colture tradizionali.

In tale contesto il ruolo dell'agricoltura dovrebbe essere inquadrato in termini di interventi verso la mitigazione dei cambiamenti climatici (es. stabilizzare le concentrazioni atmosferiche dei gas serra) e di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici (prevenire i futuri danni).

Tra le strategie di adattamento di breve termine si inquadrano l'adozione di cultivars caratterizzate da una maggior resistenza verso lo stress termico e con una variabile lunghezza ciclo, la variazione della data di semina, l'introduzione di nuovi seminativi e la consociazione di seminativi e cultivars con caratteristiche diverse. Adattamenti di lungo termine possono essere individuati nel cambio di uso del suolo, lo sviluppo di nuove cultivar (un più veloce adattamento alle nuove esigenze climatiche), modifica dei sistemi aziendali.

Il contributo che i seminativi possono dare in termini di mitigazione ai cambiamenti climatici è legato essenzialmente all'adozione di pratiche agricole che da un lato favoriscono il "sequestro" di carbonio nella biomassa e nei suoli, dall'altro una razionale gestione che possa realmente contribuire alla riduzione delle emissioni nette di CO₂ e di altri gas-serra.

In realtà, nel contesto attuale di cambiamento climatico è piuttosto difficile stimare il bilancio tra la componente additiva e quella sottrattiva del sistema suolo agrario nei seminativi, anche se la comunità scientifica è concorde nel ritenere che i due effetti non producono somma zero poiché un incremento di temperatura determina un aumento della mineralizzazione della sostanza organica più che proporzionale all'aumento della produzione primaria. Il settore agricolo è potenzialmente in grado di ridurre le proprie emissioni con costi minori rispetto agli altri settori, di aumentare il sequestro del carbonio e così di mitigare le emissioni di gas serra. In effetti, per quanto riguarda gli assorbimenti di carbonio e la riduzione delle emissioni, il comparto dei seminativi e il suolo giocano un ruolo determinante, principalmente dettato dalle elevate capacità di stock di questo elemento (circa 2500 Gt) associate ai tempi di permanenza all'interno del suolo.

Le tecniche di agricoltura conservativa, promuovendo lo stock di sostanza organica, possono ridurre significativamente le emissioni di CO₂ (West e Marland, 2002). Quantità più elevate di C si accumulano nei suoli gestiti secondo i principi di AC rispetto alla gestione convenzionale: dell'8% su-

periori, equivalenti a 285 g SO/m² in UK (Holland, 2004), 0.5% superiori in Olanda (Kooistra et al., 1989). In studi di lungo termine a Buenos Aires, Argentina, il contenuto di sostanza organica nei primi 30 cm di suolo dopo 6 anni di coltivazione, è diminuito del 19% nel caso della gestione del suolo mediante aratura profonda, del 7% nel caso di erpicature e aumentata del 0,4% nel caso della semina su sodo (Diaz-Zorita, 1999). Anche i numerosi studi effettuati in Scandinavia evidenziano incrementi in sostanza organica negli strati più superficiali del suolo (Rasmussen, 1999). Lindstrom et al. (1998) riportano un potenziale di accumulo di C di 0,1- 1,3 t ha⁻¹ anno⁻¹ adottando le pratiche di AC: tali quantitativi sono significativamente ridotti da tecniche di coltivazione piuttosto intensive (Triberti et al., 2004). In questo modo il suolo può giocare un ruolo importante come “*sink*” per il sequestro di C stabilizzando la concentrazione di CO₂ nell’atmosfera (Bernoux et al., 2006).

Per l’Italia il Protocollo di Kyoto fissa un obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ del 6,5% rispetto al 1990. Nel frattempo, però, invece di diminuire, le emissioni di CO₂ sono aumentate, facendo crescere il divario rispetto all’obiettivo. L’accrescimento dell’effetto serra, ovvero il riscaldamento dello strato inferiore dell’atmosfera è imputabile, in gran parte (86,0%), alle emissioni di biossido di carbonio (CO₂) generate, per lo più, dalla combustione nelle industrie di energia e trasformazione (33,4%), dai trasporti stradali (25,0%), dagli impianti di combustione industriale (16,1%) e non industriale (15,2%). Contribuiscono all’effetto serra anche il metano (CH₄), le cui principali sorgenti sono il trattamento e smaltimento dei rifiuti (42,0%) e l’agricoltura e la zootecnia (40,9%) e il protossido di azoto (N₂O) rilasciato, prevalentemente, da attività agricole (67,8%), trattamento e smaltimento dei rifiuti (6,7%) e processi produttivi (5,9%). Nel 2007, rispetto all’anno base 1990, sono diminuite sia le emissioni di metano (8,4%) sia quelle di protossido di azoto (14,9%), mentre sono aumentate del 9,3% quelle di CO₂.

Il contributo dell’agricoltura in Italia assomma al 6,7% delle emissioni totali, contro il 9,2% dell’agricoltura europea. Nel 2007 il livello delle emissioni agricole è cresciuto dell’1,6%, dopo anni in cui la tendenza al ribasso risultava contraria a quanto accadeva negli altri settori produttivi. Molto probabilmente l’aumento del numero di capi riscontrato nel settore zootecnico ha indotto un aumento delle emissioni di metano, che rappresentano il 42% delle emissioni agricole. La parte restante è rappresentata dal protossido di azoto, mentre le emissioni di CO₂ sono trascurabili. Resta comunque confermata la riduzione complessiva tra il 1990 e il 2007

(-8,3%), da attribuire, soprattutto, alla contrazione del numero di capi allevati (le emissioni enteriche e la gestione delle deiezioni che generano CH_4), alla diminuzione delle superfici agricole e alla migliore gestione del suolo che riduce l'impiego di fertilizzanti azotati, principali responsabili delle emissioni di protossido di azoto.

Nel 2007 si osserva, rispetto ai dati del 1980, una riduzione delle emissioni in atmosfera di quasi tutti gli inquinanti considerati. Gli ossidi di zolfo (SO_x), in particolare, diminuiscono del 90,2%, gli ossidi di azoto (NO_x) del 30,2%, i composti organici volatili non metanici (Covnm) del 39,4%, il monossido di carbonio (CO) del 52,3%, l'ammoniaca (NH_3) dell'11,1% e il protossido di azoto (N_2O) del 3,3%. Le uniche informazioni in controtendenza sono quelle relative al metano (CH_4) e al biossido di carbonio (CO_2) per i quali si assiste a un incremento, rispettivamente, pari a 5,8% e 21,1%.

Nel 2008, anche a causa della crisi economica, l'aumento è stato più contenuto: del 4,7% rispetto al 1990, ciò equivale a dire che in realtà l'Italia dovrà tagliare le proprie emissioni di circa l'11,2% rispetto all'anno di riferimento (1990). Nel 2008, l'83,6% delle emissioni totali di gas serra è legato al settore energetico. Gli aumenti più consistenti di emissioni di gas serra dal 1990 al 2008 hanno riguardato il settore dei trasporti (+21%), il settore civile e terziario (+9%), e il settore dell'industria energetica (+18%). Sempre nello stesso periodo, i settori dell'industria manifatturiera e delle costruzioni (-15%) e quello dell'agricoltura (-12%) hanno invece registrato delle diminuzioni e sono in linea con l'obiettivo di Kyoto.

Per ognuno degli inquinanti esaminati, l'aggiornamento annuale delle serie storiche è effettuato dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra), attraverso l'utilizzo della metodologia Emep-Corinair che implica la revisione dell'intera serie storica. Le stime, comunicate ufficialmente alle Convenzioni Internazionali, riguardano solo le emissioni antropogeniche. Le serie storiche sono state ricostruite, escludendo i valori relativi alle emissioni e assorbimenti da sorgenti naturali. Le emissioni nazionali sono disaggregate secondo la nomenclatura Snap97 adottata dalla metodologia Corinair. Nel prosieguo la distribuzione degli inquinanti per sorgente di emissione sarà riferita al solo anno 2007.

Il settore primario genera anche un impatto positivo sul livello delle emissioni attraverso l'assorbimento di carbonio generato dal cambiamento di uso del suolo e foreste (*Land Use, Land Use Change and Forestry*, LU-LUCF). Gli interventi di forestazione e i processi di rinaturalizzazione di superfici agricole abbandonate in Italia nel 2007 hanno portato a un assor-

bimento di CO₂ da parte di “serbatoi” forestali e agricoli di 70 milioni di CO₂eq, un valore rilevante (13% delle emissioni totali), ma in calo rispetto ai valori registrati negli anni precedenti. L’assorbimento di CO₂ vede l’Italia al vertice in Europa, visto che contribuisce per il 27% all’assorbimento complessivo europeo.

L’EVOLUZIONE E L’INTEGRAZIONE DELLE TECNOLOGIE AGRONOMICHE

L’impatto diretto, in termini di rilascio di inquinanti, dei seminativi sull’ambiente si esplica attraverso rilasci in acqua e in atmosfera. Si ritiene, seppur in assenza di riferimenti precisi, che gran parte del nitrato presente nelle falde acquifere sia di origine agricola alla luce dei rilevanti surplus azotati derivanti dall’intensità degli allevamenti zootecnici. Certamente, però, anche il contributo di fosse settiche e fognature in alcuni casi può essere rilevante, come evidenziato da Pilla et al. (2005) per la pianura padana occidentale o da Capri et al. (2009) in località piemontesi, toscane e siciliane.

La corrente prateria agricola prevede l’impiego per i seminativi di quantitativi di fertilizzanti che appaiono in diminuzione negli anni, in particolare per quanto riguarda gli azotati di sintesi, il cui impiego a livello nazionale è diminuito di circa il 10%.

Per quanto riguarda gli erbicidi, si è assistito a una rilevante diminuzione degli stessi dal 2002 al 2009, del 15% circa, anche se il grande calo nel loro consumo è stato tra il 2002 e il 2003. Anche il totale di agrofarmaci utilizzati si è comunque ridotto di circa il 7%.

LA LISCIVIAZIONE DEI NITRATI

La presenza di elevate concentrazioni di nitrati in falda a scala europea, con elevati rischi per la potabilità della stessa (la soglia di potabilità è posta a 50 mg/l di nitrato, e tale soglia viene frequentemente superata), ha attratto l’attenzione del legislatore, e fin dal 1994 con la direttiva nitrati si è cercato di limitare l’uso dell’azoto organico, ritenendolo il colpevole dell’inquinamento di falda, e nell’ipotesi che il fertilizzante chimico, per ragioni di costi, fosse usato in misura commensurata ai fabbisogni della coltura. Dalla figura 1 appare evidente che il problema della presenza eccessiva di nitrati in falda non appare particolarmente drammatico, ed è un problema soprattutto per le regioni del nord, in corrispondenza dei più elevati carichi

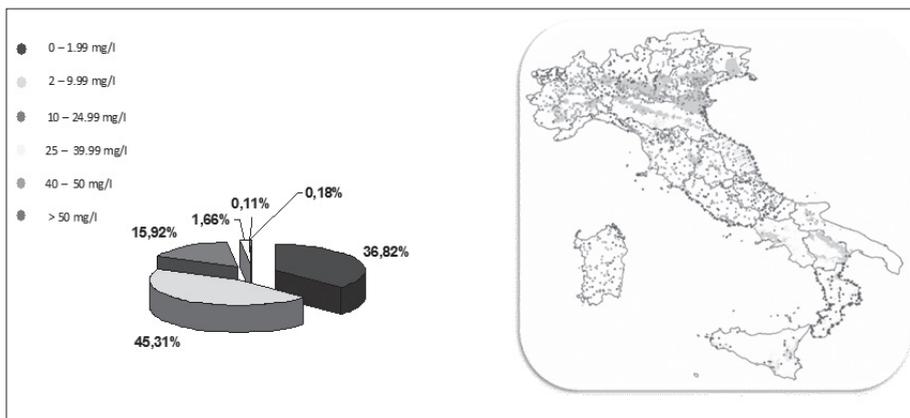


Fig. 1 *Quantità di nitrati presenti nelle falde del territorio nazionale*

zootecnici. Tuttavia più che l'azoto organico, appare il quantitativo totale di N apportato, spesso molto superiore agli asporti, la principale causa di lisciviazione dei nitrati. Diverse sperimentazioni e lavori modellistici hanno dimostrato che almeno per la coltura del mais, l'N organico può sostituire del tutto o quasi l'N di origine chimica. Permane tuttavia un problema di informazione degli agricoltori, che sono abituati a considerare le deiezioni zootecniche come un prodotto da smaltire e non per il loro elevato valore fertilizzante. Troppo spesso la direttiva che limita l'uso di N organici a 170 kg ha^{-1} non è rispettata, ma la situazione è ulteriormente peggiorata dal fatto che le distribuzioni avvengono prevalentemente sui campi in posti in prossimità delle strutture di stoccaggio delle deiezioni, trascurando, per ovvie ragioni di scomodità, i campi più distanti.

ACQUE DI SUPERFICIE

La presenza nelle acque di superficie di azoto e fosforo di origine agricola è stimata nel 30% della presenza totale di tali inquinanti. Nella figura 2 è rappresentato lo stato attuale relativamente al contenuto di nitrati: risulta che l'82% delle acque di superficie presenta concentrazioni inferiori a 10 mg/l ; inoltre il 98% ha concentrazioni di azoto inferiori ai 25 mg/l . La situazione del fiume Po il cui apporto nel tempo di azoto e fosforo al mar Adriatico è rappresentato in figura 2 appare tra le più preoccupanti, ma nel caso specifico è da rilevare che si registra un netto trend di riduzione dei carichi di P e N a partire dal 2004.

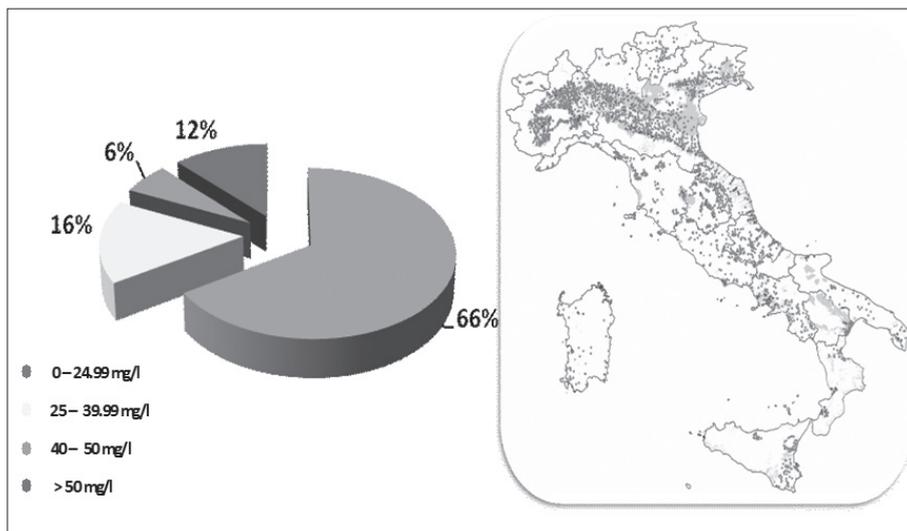


Fig. 2 *Quantità di azoto presente nelle acque superficiali del territorio nazionale*

PRODUZIONE DI *COMMODITIES* A BASSO COSTO E ECOCOMPATIBILI

Per quanto il valore delle produzioni italiane per unità di superficie sia particolarmente elevato, solo una parte del territorio fruisce direttamente di questi benefici. Per estendere su larga scala i benefici della qualità della produzione italiana anche alla produzione di *commodities*, e ottenere risultati economici che possano permettere all'imprenditore agricolo di continuare la propria attività, occorre ridurre il più possibile i costi di produzione e presentarsi sul mercato con partite di elevata consistenza, uniformi e di elevata qualità. Inoltre, è necessario conseguire questi obiettivi con la massima riduzione dell'impatto sull'ambiente, e una valorizzazione dell'ambiente agrario. Oggi abbiamo a disposizione mezzi tecnici che consentono di conseguire questi obiettivi, anche se la strada della ricerca è apertissima per conseguire ulteriori miglioramenti e per l'adattamento delle diverse tecnologie alla grande varietà di condizioni pedoclimatiche del nostro territorio. In particolare sembrano punti assolutamente portanti la razionalizzazione del *management* delle colture, realizzando economie di scala a livello di meccanizzazione delle operazioni colturali. Nell'ambito dei risparmi con elevata valenza ecologica va messo in evidenza il ruolo delle lavorazioni conservative, che possono essere attuate con beneficio economici su larghe estensioni. Ad esempio, con la semina su sodo, con adeguate tecnologie, si può arrivare fino a valori di 3 ha ora⁻¹, irraggiungibili con seminatrici convenzionali, considerando anche il consumo energetico e i tempi connessi alle lavorazioni del terreno. Quindi, anche a fronte di un

possibile decremento di produzioni, in genere limitato ai primi anni di adozione delle nuove tecniche, sono possibili notevoli riduzioni di costo. Occorre però considerare che le seminatrici sono molto più costose di quelle convenzionali, che per ridurre il compattamento del terreno occorre che tutte le attrezzature usate siano dotate di speciali gommature a bassa pressione e che a volte è necessario anche per l'adeguamento della potenza motrice delle trattrici. Alcune valutazioni economiche preliminari hanno indicato una convenienza dei sistemi conservativi, se attuati su un numero di ettari comunque da generare economie di scala, generalmente superiori alle attuali superfici medie aziendali.

Rimane da considerare anche il ruolo degli OGM. La possibilità di usare un organismo resistente al Glyphosate, offrirebbe la possibilità di un eccellente controllo delle infestanti, a costi che sono una frazione degli attuali, con un erbicida che peraltro ha altissima degradabilità una volta immesso nell'ambiente. Occorre fin d'ora, avere la possibilità di valutare a livello sperimentale, con la massima accuratezza, i benefici e gli eventuali rischi connessi all'uso di piante geneticamente modificate.

VALORIZZAZIONE DELLE PRODUZIONI, CERTIFICAZIONE DI QUALITÀ E ORIGINE GEOGRAFICA

Per quasi un italiano su quattro (23%) gli alimenti realizzati con prodotti coltivati o allevati interamente in Italia valgono almeno il doppio, e due italiani su tre (65%) ritengono che il cibo Made in Italy valga dal 10% in su. È quanto emerge dalla presentazione dei risultati della prima indagine che studia il contributo del Made in Italy alla ripresa economica, realizzata da Coldiretti-Swg a ottobre 2010. La fiducia nel Made in Italy rispetto al prodotto straniero è del 91% per gli alimenti, del 66% per il fashion, del 55% nell'arredamento, del 49% per la cosmetica, del 39% per gli utensili, del 26% per auto e motorini e del 18% per l'elettronica e cresce nel 2010 in tutti i settori.

La superiorità del Made in Italy alimentare è attribuita al rispetto di leggi più severe, alla bontà e freschezza e alla garanzia di maggiori controlli. L'attenzione all'origine del prodotto è evidenziata dal fatto che ben il 97% degli italiani ritiene che dovrebbe essere sempre indicato il luogo di allevamento o coltivazione dei prodotti contenuti negli alimenti.

Tuttavia, anche se il modello agricolo italiano è vincente nel mondo dove ha conquistato primati nella qualità, tipicità e nella salubrità delle produzioni, ma anche nel valore aggiunto per ettaro di terreno, ovvero la ricchezza netta prodotta per unità di superficie dall'agricoltura italiana, che comparati-

vamente vale oltre il triplo di quella USA, doppia di quella inglese, e superiore del 70% di quelle di Francia e Spagna.

L'agricoltura italiana vanta inoltre la leadership nei prodotti tipici con 210 prodotti a denominazione o indicazione di origine protetta riconosciuti dall'Unione Europea, senza contare le 4511 specialità tradizionali censite dalle regioni.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il ruolo dei seminativi per l'agricoltura italiana dovrà sempre più intersecare obiettivi integrati di produttività per la sicurezza dell'approvvigionamento e qualità per la sicurezza del consumatore, ma anche competitività, tutela e sostenibilità ambientale, per contribuire a una nuova fase della politica agricola europea verso una concreta sostenibilità.

La politica energetica rappresenterà un elemento essenziale per affrontare la questione dei cambiamenti climatici e per integrare le pertinenti politiche europee per l'adattamento ai cambiamenti climatici e per il loro contenimento.

Una continua ricerca scientifica e un più efficiente sistema di trasferimento delle tecnologie, accompagnato da una revisione dei percorsi della formazione fino all'alta formazione, consentiranno di migliorare le capacità di lavoro e l'efficienza gestionale, favorendo la stabilizzazione dei differenti agro ecosistemi di cui i seminativi sono una componente ineludibile, soprattutto quando si dovesse ovviare a inattesi cambiamenti per motivi tecnici, ambientali, climatici, sociali, commerciali e di imprevedibili scenari internazionali.

Per queste e altre motivazioni, qui non riportate per ragioni di economia dello spazio e del tempo, dall'autorevole sede dell'Accademia dei Georgofili riteniamo opportuno richiamare alla responsabilità delle Istituzioni di ogni ordine e grado affinché ai seminativi venga riconosciuto il multi ruolo che svolgono per l'Agricoltura Italiana, prevedendo azioni, misure e contributi a scala regionale corrispondenti ai benefici di cui altri settori economici e in generale la collettività beneficiano.

RIASSUNTO

I seminativi ricoprono un ruolo centrale per l'agricoltura italiana, in termini di consumi alimentari, trasformazioni industriali e fabbisogni dell'industria mangimistica; tale ruolo è oggi inteso da più parti in un'ottica multifunzionale e multiproduttiva. Tuttavia, la riduzione delle superfici investite a seminativi nel corso degli ultimi anni è piuttosto costante, con conseguenti potenziali effetti negativi quali in primis l'erosione del suolo e la mancata produzione di derrate alimentari.

Nel contesto climatico in atto, caratterizzato da forti cambiamenti, i seminativi subiscono un effetto da raramente positivo, come la possibilità di introdurre nuove colture, a più frequentemente negativo, come l'accelerazione del tasso di decomposizione della sostanza organica, i maggior rischi da lisciviazione dei nitrati, la maggiore attenzione nella protezione delle colture, le riduzioni delle rese unitarie e l'aumentata aleatorietà. In tale ambito i seminativi possono però contribuire attivamente nella mitigazione dei cambiamenti climatici, in seguito all'adozione di sistemi di gestione conservativa che nel ridurre le emissioni nette di CO₂ e di altri gas a effetto possono consentire il "sequestro" di carbonio nella biomassa e nei suoli, contribuendo sostanzialmente alla tutela climatica.

D'altro canto se non gestiti in modo corretto i seminativi possono impattare negativamente sull'ambiente come nel caso del rilascio di inquinanti nelle acque superficiali e in atmosfera. Gran parte del nitrato presente nelle falde acquifere si ritiene sia di origine agricola; tuttavia sia l'utilizzo dei fertilizzanti e dei fitofarmaci (soprattutto erbicidi) è costantemente diminuito negli ultimi anni.

Affinché i seminativi possano assicurare una valida competizione sul mercato globale è necessaria la contemporanea riduzione dei costi di produzione, l'ottenimento di lotti omogenei di elevata qualità, con un basso impatto ambientale e valorizzando l'ambiente agrario coltivato attraverso la sostenibile razionalizzazione nella gestione del sistema produttivo primario.

ABSTRACT

Crops play a fundamental multi-functional role with the Italian agriculture in terms of food supply and for the industrial food and feed chains. Nevertheless, in the last decades the agricultural land area has continuously reduced, with negative effects on soil erosion and food production. Moreover, crops production has to cope with the negative consequences of the global warming such as higher oxidation rates of organic matter and nitrate leaching, lower and erratic yields.

In these circumstances, crops production could actively play an important role in climate change mitigation, thanks to the adoption of Conservation Agriculture practices, and thus reducing CO₂ emissions and capturing more CO₂ in the plant biomass and in the soil. Besides, appropriate land management has a major impact on the environment. An example for this is the pollution of water and air as caused by nitrate and agrochemicals. Most of the nitrates present in freshwater origins from agricultural activities, although in the last years the application of fertilizers and agrochemicals (mostly herbicides) has continuously been lowered.

In order for the Italian agricultural sector to be able to compete in a global market, the crops production would need to reduce production costs, guarantee homogeneous final products and have low environmental impact.

BIBLIOGRAFIA

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2008): *Studio per l'approfondimento delle variazioni dei carichi di azoto e fosforo transitati nella stazione di Pontelagoscuro, per l'analisi di*

- processi rilevanti ai fini della comprensione della composizione e della trasformazione dei carichi*, a cura di Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma, p. 86.
- BERNOUX M., CERRI C., CERRI C.E.P., SIQUEIRA NETO M., METAY A., PERRIN A.S., SCOPEL E., RAZAFIMBELO T., BLAVET D., PICCOLO M. DE C., PAVEI M. E MILNE E. (2006): *Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil a review*, «Agro. Sustain. Dev.», 26, pp. 1-8.
- BEZZI G., MONTI A. E VENTURI G. (2006): *Colture da energia: tecniche di coltivazione e gestione economica*, in *Dai campi l'energia del futuro*, a cura di Apruzzese A., Stefani F. and S. Nanetti. Regione Emilia-Romagna. I supplementi di Agricoltura 30, «Agricoltura», (6), pp. 24-30.
- BONARI E., GALLI M. E PICCIONI E. (2004): *Le funzioni agroecologiche delle colture "dedicate" ad uso energetico*, in *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*, Quaderno ARSIA 6/2004, pp. 79-85.
- BRUNETTI, M., MAUGERI M., MONTI F. E NANNI T. (2006): *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series*, «International Journal of Climatology», 26, pp. 345-381.
- CAPRI E., CIVITA M., CORNIELLO A., CUSIMANO G., DE MAIO M., DUCCI D., FAIT., FIORUCCI A., HAUSER S., PISCIOTTA A., PRANZINI G., TREVISAN M., DELGADO HUERTAS, A., FERRARI F., FRULLINI R., NISI B., OFFI M., VASELLI O., VASSALLO M.: *Assessment of nitrate contamination risk: The Italian experience*, «J. geochem. Exploration», 102, pp. 71-86.
- CONSIGLIO E PARLAMENTO EUROPEO (2006): *Nuova strategia dell'UE in materia di sviluppo sostenibile (SSS dell'UE)*, Documento del Consiglio 10117/06, 29 pp.
- CÓNDOR R.D., CRISTOFARO E. E DE LAURETIS R. (2008): *Agricoltura: inventario nazionale delle emissioni e disaggregazione provinciale*, ISPRA, Rapporto tecnico 85/2008, Roma, Italia.
- DIAZ-ZORITA M. (1999): *Effects of 6 years of tillage on a Hapludoll from northwest Buenos Aires, Argentina*, «Ciencia del Suelo», 17, pp. 31-36.
- GAMBLE M.D. E RHODES E.D. (1964): *Effects of shoreline fluctuations on grasses associated with upstream flood prevention and watershed protection*, «Agronomy Journal», 56, pp. 21-23.
- GARTEN C. T., WULLSCHLEGER S. D. (2000): *Soil carbon dynamics beneath switchgrass and indicated by stable isotope analysis*, «Journal of Environmental Quality», 2, pp. 645-653.
- HOLLAND J.M. (2004): *The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: 5 reviewing the evidence*, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 103, pp. 1-25.
- ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2009): *Gli indicatori del clima in Italia nel 2008*, Rapporto Serie Stato dell'Ambiente n. 12/2009, Anno IV.
- ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2010): *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2008*. National Inventory Report 2010, Roma. ISPRA, Rapporto tecnico 113/2010. http://www.apat.gov.it/site/it/IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporto_113_2010.html
- ISTAT – ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (2008): *Struttura e produzione delle aziende agricole 2007*. http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20081203_00/testointegrale20081203.pdf
- KOOISTRA M.J., LEBBINK G., BRUSSAARD L. (1989): *The Dutch programme on soil ecology of arable farming systems 2: Geogenesis, agricultural history, field site characteristics and present farming systems at Lovinkhoeve experimental farm*, «Agric. Ecosys. Environ.», 27, pp. 463-469.

- LARSON W. E., PIERCE F. J., DOWDY R. H. (1983): *The threat of soil erosion to long term crop production*, «Science», 219, pp. 458-464.
- LINDSTROM J.E., BARRY R.P., BRADDOCK J.F. (1998): *Microbial community analysis: a kinetic approach to constructing potential C source utilization patterns*, «Soil Biology & Biochemistry», 30, pp. 231-239.
- MATTM (2009): *Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, Fifth National Communication under the UN Framework Convention on Climate Change*, Italy, November 2009. http://unfccc.int/resource/docs/natc/ita_nc5.pdf
- NANNI T., PRODI F. (2008): *Cambiamenti climatici: la situazione in Italia*, «Energia», 1, pp. 66-71.
- OCSE (1998): *The economic impact of counterfeiting*, 9-18. <http://www.oecd.org/dataoecd/11/11/2090589.pdf>
- PILLA G., SACCHI E., GERBERT-GAILLARD L., ZUPPI GM., PELOSO GF., CIANCETTI G. (2005): *Origine e distribuzione dei nitrati in falda nella Pianura Padana occidentale (Province di Novara, Alessandria e Pavia)*, «Giornale di Geologia Applicata», 2, pp. 144-150.
- PISANTE M. (2007): *Agricoltura Blu – La via italiana dell'agricoltura conservativa – Principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile*, «Il Sole 24 Ore Edagricole», Bologna, XII+317.
- RASMUSSEN K.J. (1999): *Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review*, «Soil Till. Res.», 53, pp. 3-14.
- STAGNARI F., RAMAZZOTTI S., PISANTE M. (2009): *Conservation Agriculture, a different approach for crop production through sustainable soil and water management. A review*, in AA.VV., *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants Series: Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 1, Lichtfouse, Eric, ISBN/ISSN: 1774-0746.
- TOLBERT V. R., THORNTON F. C., JOSLIN J. D., BOCK B. R., BANDARANAYAKE W. E., TYLER D., PETTRY D., GREEN T. H., MAKIK R., BINGHAM L., HOUSTON A. E., SHIRES M., DEWEY J., SCHOENHOLTZ S. (1998): *Soil and water quality aspects of herbaceous and woody energy crop production: lessons from research-scale comparison with agricultural crops*, Proc. BioEnergy '98: Expanding Bioenergy Partnership, Madison, Wisconsin, October 4-8, 1998.
- TORETI A., DESIATO F., FIORAVANTI G., PERCONTI W. (2009): *Seasonal temperatures over Italy and their relationship with low-frequency atmospheric circulation patterns*, «Climatic Change», doi 10.1007/s10584-009-9640-0
- TORETI A., DESIATO F., FIORAVANTI G., PERCONTI W. (2009): *Annual and seasonal precipitation over Italy from 1961 to 2006*, «International Journal of Climatology», doi 10.1002/joc.1840.
- TRIBERTI L., BALDONI G., NASTRI A., SCIORTINO M., COMELLINI F. (2004): *Tests for nitrore recommendation in corn*, in S.-E. Jacobsen, C.R. Jensen, J.R. Porter (Eds.), 8th ESA Congress, Copenhagen, 465-466.
- VENTURI P., VENTURI G. (2003): *Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems*, «Biomass and Bioenergy», 25, pp. 235-255.
- VENTURI G. E MONTI A. (2005): *Energia da colture dedicate: aspetti ambientali ed agronomici. Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica in Italia*, Bologna 18-19 Aprile 2005.
- WEST T.O., MARLAND G. (2002): *A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net 25 carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States*, «Agric. Ecosyst. Environ.», 91, pp. 217-232.

DARIO CASATI*

Scenari economici, tendenze evolutive e prospettive dei seminativi

I tempi lunghi, la paziente attesa del susseguirsi delle stagioni, gli innegabili alti e bassi di un'attività soggetta all'azione di molte, troppe, variabili che sfuggono al controllo degli agricoltori, gli innegabili vincoli imposti dal superiore interesse della collettività che per sopravvivere ha costante bisogno dei prodotti dell'agricoltura che ne costituisce l'unica fonte di approvvigionamento: sono tutti elementi costitutivi di un sistema produttivo che deve, da un lato, fronteggiare un sorprendente insieme di limitazioni di ogni genere e, dall'altro, rispettare le ferree leggi dell'economia cui diviene sempre più difficile sottrarsi. In un mondo in cui gli eventi si susseguono con crescente rapidità sembra che non vi siano più tempo e attenzione per le particolarità dell'agricoltura e che, di fatto, il suo destino, almeno nei termini a cui si era conformata, debba essere segnato. Se questo sembra, almeno nei paesi più avanzati, il nuovo contesto a cui essa dovrà adattarsi, si deve constatare, al contrario, che sostanzialmente non cambia la domanda di fondo che le viene rivolta e che consiste nel produrre quantità crescenti di alimenti di qualità sempre migliore per soddisfare i molti aspetti delle esigenze di un'umanità dalle profonde sfaccettature. In questa sostanziale contrapposizione di atteggiamenti vi è a nostro parere una grave contraddizione di fondo, costituita dal fatto che non si cessa di chiedere all'agricoltura sempre nuove risposte alle più varie domande della società umana, mentre si dà per scontato che essa possa continuare a fornire quei prodotti che servono al vivere quotidiano, mentre il numero degli esseri umani non cessa di crescere e le esigenze individuali fanno altrettanto.

La situazione dei seminativi nel quadro dell'agricoltura italiana, dal nostro punto di vista, va collocata all'interno di questa contrapposizione che colpisce

* *Università degli Studi di Milano*

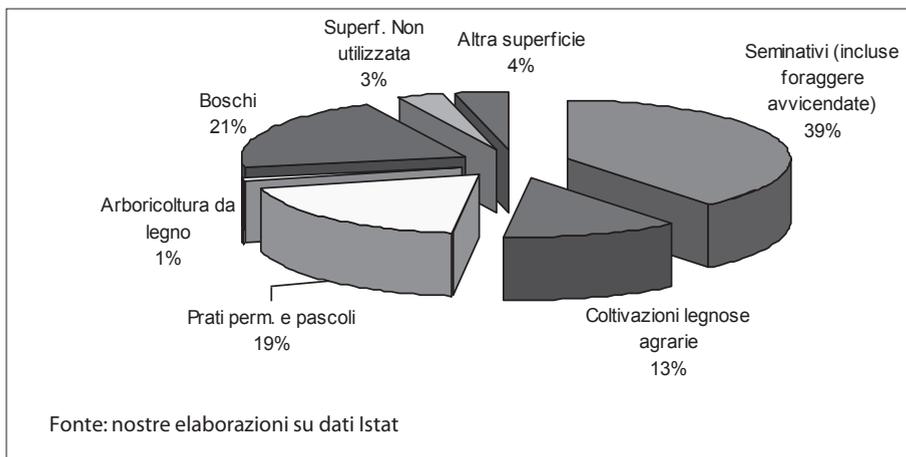


Fig. 1 *Incidenza della superficie a seminativi sulla superficie agricola totale in Italia - 2007*

tutto il settore agricolo, ma in particolare proprio i seminativi che ne sono forse l'elemento relativamente meno appariscente e remunerativo, ma certamente il più importante.

I SEMINATIVI NEL SISTEMA AGRICOLO ITALIANO

Un primo punto da prendere in considerazione è il fatto che le colture che concorrono a formare i seminativi tutte insieme interessano circa il 35% dell'intera superficie agricola italiana (vedi fig. 1) e quindi sono il maggior gruppo di colture da questo punto di vista.

Se esaminiamo in dettaglio la composizione della superficie agricola utilizzata (SAU; vedi fig. 2) si riesce a ricostruire un'interessante mappatura della distribuzione dell'impiego dei terreni fra le diverse colture. I seminativi, intendendo con questo termine quelle colture che così sono state definite dalla regolamentazione comunitaria e quindi, in sostanza, cereali, oleaginose e colture industriali, coprono il 41% della SAU, seguiti da prati permanenti e pascoli con il 27%, dalle legnose agrarie con il 18% e dalle foraggere da vicenda con il 14%.

I seminativi, in questo spaccato del sistema produttivo visto dal lato delle risorse, costituiscono proprio la parte centrale della nostra agricoltura, un ruolo che hanno sempre rivestito e che condividono con le analoghe coltivazioni nella gran parte dei paesi del mondo. Se si considerano periodi di tempo anche di grande ampiezza ci si rende conto che in termini di ripartizione della superficie agricola

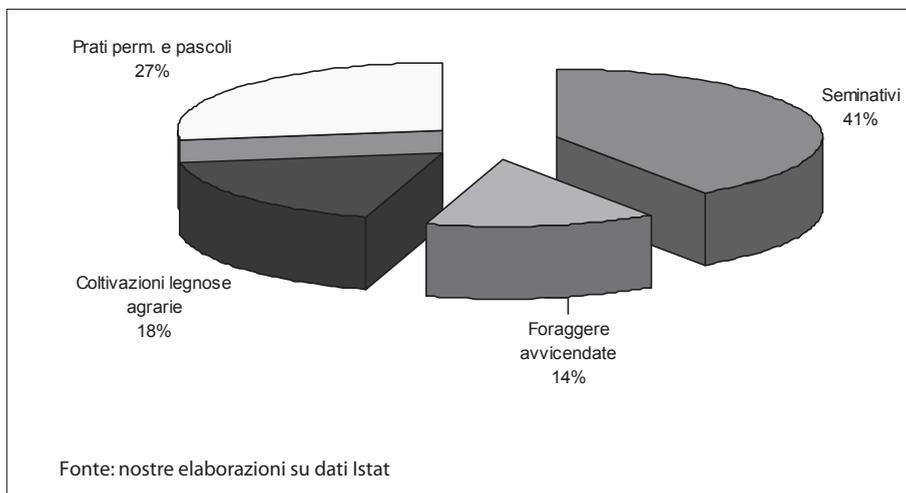


Fig 2 Incidenza della superficie a seminativi sulla SAU in Italia - 2007

sostanzialmente questi rapporti si mantengono abbastanza costanti. Modifiche di modesta entità intervengono, in momenti particolari e secondo trend che si rendono abbastanza evidenti e che vanno valutati nel contesto di grande stabilità dell'utilizzo delle risorse fondiari che è tipico del modo di produzione agricolo. Gli spostamenti che si riscontrano interessano sia il rapporto fra seminativi e altre coltivazioni, sia quello fra le diverse colture all'interno del gruppo.

Nel tempo si può cogliere un'indicazione sulle tendenze di queste dinamiche attraverso l'esame dell'evoluzione del peso della superficie destinata ai seminativi rispetto alla SAU totale nei diversi periodi (vedi fig. 3 e 4). Se consideriamo gli anni fra il 1990 e il 2007, periodo nel quale la SAU totale è scesa da circa 15 milioni di ettari a 12,7 milioni, si può rilevare come quella dedicata ai seminativi cala, a sua volta, da 5,8 milioni di ettari a 4,6 milioni. In termini percentuali il peso scende dal 38,5 % al 36,2%, a conferma della lenta perdita di importanza relativa di queste colture nel contesto generale della nostra agricoltura.

Un altro elemento che consente di ampliare la valutazione del peso dei seminativi rispetto alle altre produzioni si può ricavare dall'esame del contributo che essi danno alla formazione del valore della produzione agricola italiana calcolata come PPB. Il peso dei seminativi può essere stimato, con riferimento alle stesse colture utilizzate in precedenza per valutare l'impiego della superficie agricola, pari a circa il 60,0 %, mentre il resto è destinato alle legnose (vedi fig. 5). La graduatoria relativa ai seminativi vede le orticole al 30,0%, i cereali al 14%, le oleaginose e la barbabietola da zucchero all'1%

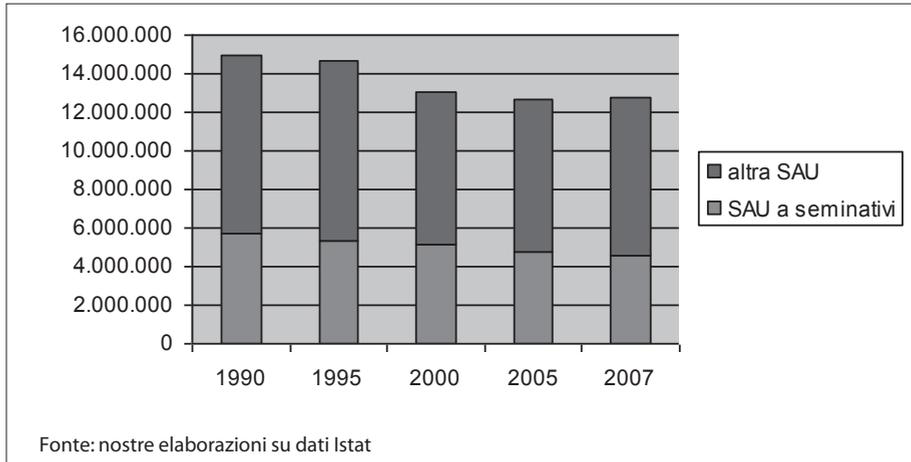


Fig. 3 *Evoluzione temporale dell'incidenza dei seminativi sulla SAU (ha)*

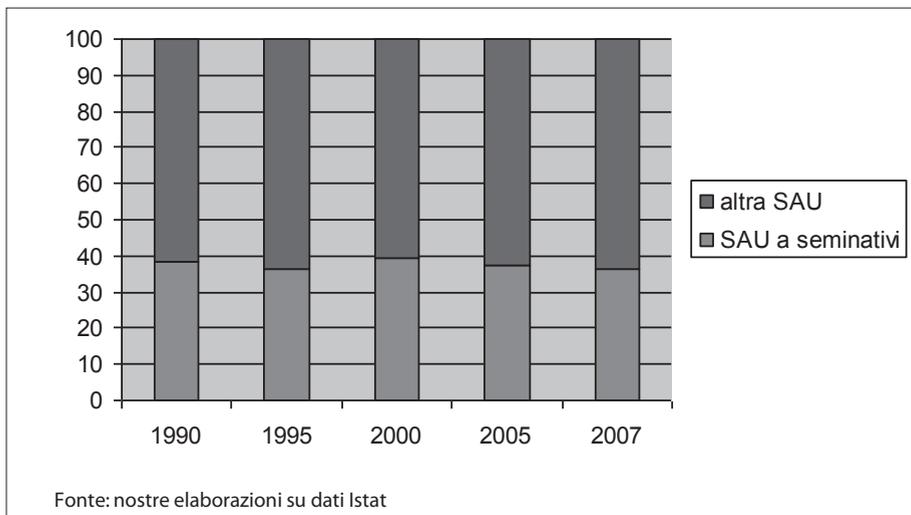


Fig. 4 *Evoluzione temporale dell'incidenza dei seminativi sulla SAU in %*

rispettivamente, gli altri seminativi al 7% e le coltivazioni foraggere al 7.0%. La figura 6 riporta la dinamica temporale dell'incidenza dei seminativi, con esclusione delle foraggere, rispetto al totale della PPb agricola in un arco di tempo di quasi 30 anni, dal 1980 al 2009, in valore e la successiva figura 7 in percentuale. Il rispettivo andamento indica come il loro peso sul sistema, dopo essere salito sino alla metà degli anni '90 a un valore percentuale del 33%, si sia poi contratto attorno al 28% negli ultimi anni considerati.

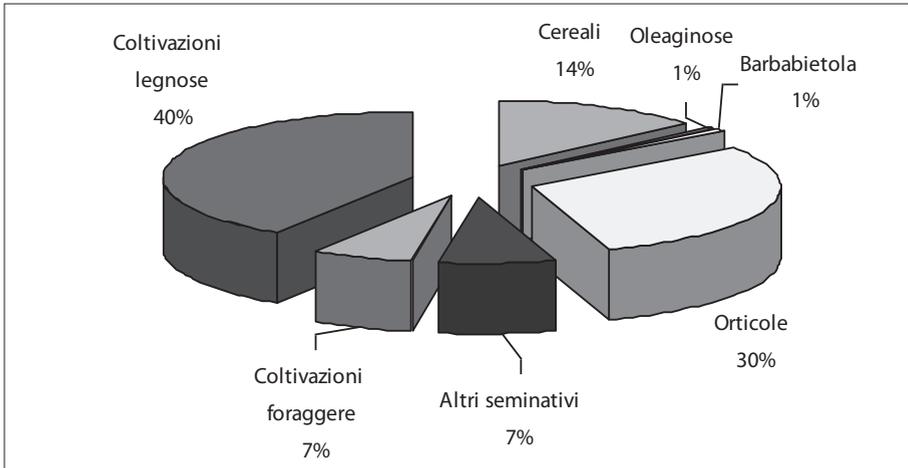


Fig. 5 Ripartizione della PPB delle coltivazioni agricole in Italia - media 2007-2009

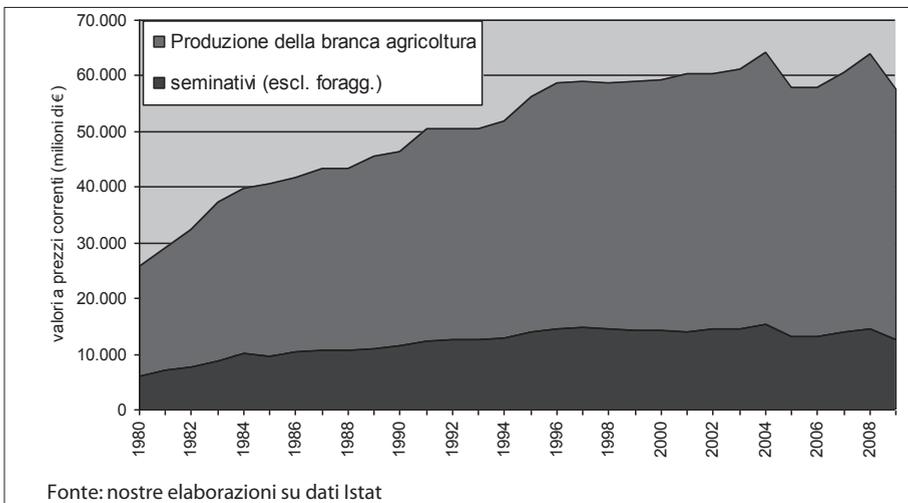


Fig. 6 Dinamica dell'incidenza della produzione dei seminativi sulla PPB agricola

LE DETERMINANTI DELLO SCENARIO DEI SEMINATIVI

Per cogliere il senso dell'evoluzione in atto, le tendenze e le prospettive dei seminativi devono essere valutate tenendo conto di tre livelli di analisi

1. lo scenario agricolo mondiale negli anni della crisi, all'interno del quale vanno collocati anche gli avvenimenti che interessano l'agricoltura del nostro paese;

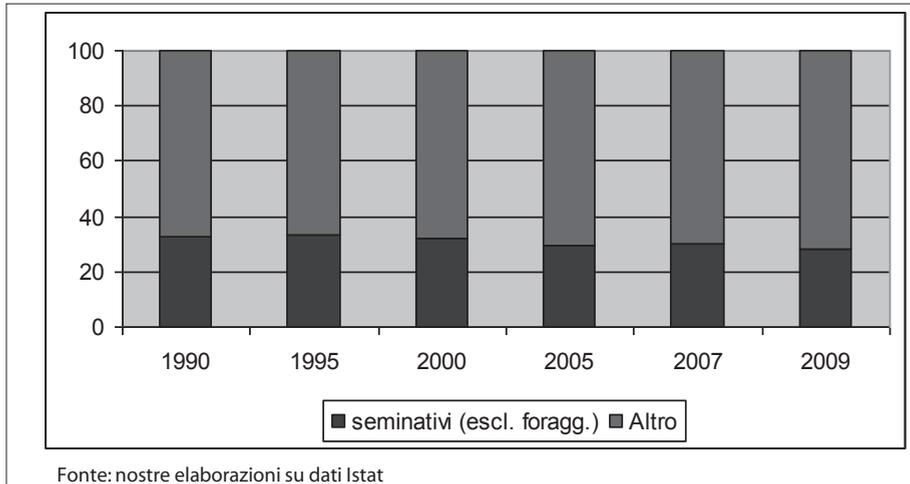


Fig. 7 *Evoluzione temporale dell'incidenza dei seminativi sulla PPB agricola in Italia*

2. le linee di sviluppo delle politiche agrarie messe in atto nell'ambito dell'unica di esse che sia effettivamente in grado di incidere sul mondo produttivo agricolo, e cioè quella europea;
3. le tendenze del sistema agricolo nazionale, apparentemente spontanee, ma in realtà condizionate dalle altre determinanti che agiscono dall'esterno su di esso.

Lo scenario agricolo mondiale negli anni della crisi

Alla luce degli avvenimenti che hanno caratterizzato gli ultimi tre anni facendo seguito al manifestarsi della crisi economica mondiale e di quella agricola, sembra più che evidente un fatto e cioè che quanto si è verificato contiene un'importante serie di indicazioni di cui non si può non tenere conto nel delineare scenari e prospettive per l'agricoltura e, in particolare, al suo interno per i seminativi.

Anche se la distanza temporale dall'avvio della crisi risulta abbastanza breve per poter formulare giudizi finali, si ritiene ormai acquisito il concetto che la crisi agricola, che ha preceduto di qualche mese la vera crisi mondiale, sia un evento distinto da quest'ultima, anche se, come vedremo, siamo in presenza di un'importante serie di collegamenti e di numerose interazioni che non possono essere trascurate.

La crisi agricola è stata caratterizzata in un primo tempo da un'accentuazione della tendenza al rialzo dei prezzi delle materie prime agricole, iniziata

per altro verso già da qualche mese, che è esplosa a cavallo dell'estate 2007 e ha raggiunto il suo massimo nei primi mesi del 2008. In un secondo tempo, si è registrata una drastica inversione di tendenza che ha dato luogo a un crollo repentino delle quotazioni sino a valori inferiori a quelli della fase di inizio del fenomeno. Il senso di questa fiammata dei prezzi e i suoi tempi, pur sostanzialmente coincidenti con quelli del petrolio, sono sfasati, a causa di un anticipo di alcuni mesi rispetto a esso e agli altri prodotti energetici e, in genere, a tutte le materie prime. Ma con questa somiglianza si esaurisce il primo aspetto della sintonia fra le due crisi. Quella agricola, in effetti, oltre che dai collegamenti con le altre *commodities*, era mossa da elementi interni al settore agricolo a livello mondiale, in particolare da una fase, durata circa un triennio, di squilibrio fra un'offerta in calo per una serie di ragioni facilmente individuabili, e una domanda ancora in fase di espansione e che non risentiva degli effetti della crisi generale, come invece sarebbe avvenuto in seguito.

Si è verificata, sembra di capire, una classica crisi di mercato che sarebbe stata, in parte, amplificata dalla concomitante crescita dei prezzi delle altre materie prime sollecitata, anche in questo caso, da due distinte componenti: da un lato da elementi collegati al gioco della domanda e dell'offerta mosso dall'andamento dell'economia reale, e, dall'altro, dal tentativo della speculazione di garantirsi prese di beneficio in settori diversi da quelli in crisi per gli eccessi di quella finanza che aveva scatenato la crisi generale.

Per tornare alle cause della crisi agricola notiamo che, sul versante dell'offerta avevano giocato negativamente almeno due ordini di fenomeni: a) il susseguirsi, a livello mondiale, di un certo numero, sia pure ridotto, di annate climaticamente negative in più aree mondiali, b) il rallentamento dell'offerta dei paesi sviluppati provocato dalle politiche agrarie avviate sin dai primi anni '90 e volte a ridurre le sovvenzioni agricole anche in relazione agli impegni assunti in questa direzione nelle trattative internazionali. Sul versante della domanda si era manifestata con una certa intensità, accanto alla tradizionale componente espressa dai paesi carenti di materie prime agricole, una maggiore richiesta proveniente dai paesi emergenti, in particolare da quelli dell'Asia Orientale, in cui non solo cresceva il consumo diretto di cereali, ma anche quello degli stessi per alimentare gli animali in allevamento.

Accanto a tutto ciò, poi, l'equilibrio è stato turbato anche dalla questione dell'impiego di materie prime agricole per ottenere produzioni energetiche, una domanda forse più presunta che reale, ma certamente presente nel condizionare il mercato.

In seguito, quando i prezzi sono crollati, ma non altrettanto era avvenuto per i costi nel frattempo a loro volta esplosi, la situazione è divenuta molto

pesante. L'offerta agricola, sollecitata dagli alti prezzi, è ritornata subito abbondante contribuendo a ricreare gli stocks che erano stati fortemente intaccati, mentre la domanda rallentava a causa della crisi economica consentendo così un recupero quasi immediato dell'equilibrio del mercato mondiale.

In tutta la crisi il ruolo dei seminativi è stato primario. Infatti essa si è scatenata e sviluppata essenzialmente a carico dei cereali e delle oleaginose che costituiscono la componente maggiore degli scambi internazionali di prodotti agricoli e che presentano il più elevato rapporto fra quantità commercializzata e prodotta. Le reazioni dei governi dei singoli paesi, persino di quelli più ricchi come il nostro, si sono verificate con intensità più elevata proprio con riguardo a essi, con una serie di interventi di politica agraria e commerciale fortemente protezionistici e distorsivi delle ordinarie condizioni di mercato.

In sintesi la crisi ha mostrato che i seminativi erano immediatamente interessati da tutti i comportamenti adattivi che conseguivano alla crisi stessa:

1. la domanda che ha scatenato lo squilibrio del mercato e innescato la componente agricola della crisi era diretta proprio verso di essi;
2. la risposta dell'offerta, che è stata immediata compatibilmente con i tempi lunghi dell'agricoltura, è stata resa possibile dal fatto che i seminativi hanno un ciclo produttivo breve, che i terreni sono utilizzabili per le produzioni del comparto con una certa facilità e polivalenza d'uso, che queste produzioni risentono dei benefici di un più intenso uso dei mezzi di produzione per incrementare i rendimenti produttivi;
3. la preoccupazione per la carenza alimentare si è rivolta verso di essi spingendo a bloccare, ad esempio, l'esportazione di grano dall'Ucraina o di riso dalla Thailandia, per rassicurare persino i consumatori dei principali paesi esportatori,
4. l'accaparramento di estensioni rilevanti di terreni da coltivare prevalentemente a seminativi in Africa da parte dei paesi con le maggiori carenze di alimenti in prospettiva, come la Cina, la Corea del sud o i paesi arabi, che costituisce una conferma della percezione della gravità del fabbisogno di alimenti di base.

L'insieme di questi fatti certamente conferma l'importanza di queste colture essenziali e la cui valenza strategica, a lungo trascurata, è stata riportata in evidenza dalla crisi.

A partire dall'inizio dell'estate 2010, quando questa sembrava in via di assorbimento, i prezzi dei principali prodotti dei seminativi hanno nuovamente iniziato a muoversi verso l'alto, ancora in concomitanza con forti pressioni sui mercati che tuttavia, a differenza della precedente occasione, sembrano origi-

nate più dalla speculazione che da effettive modifiche intervenute nell'economia reale e che persistono, almeno a tutt'oggi.

A fronte dei comportamenti speculativi l'unica mossa concreta che possa frenare andamenti anomali è costituita dalla concreta possibilità di rafforzare il potenziale produttivo, garantendo così che la domanda possa venire soddisfatta da un'offerta reale vanificando gli interventi legati a puri fatti finanziari.

I seminativi e i rapporti con la politica agraria

L'altra grande determinante che influisce sulla formazione degli scenari relativi ai seminativi, come per altro verso di tutte le produzioni agricole in genere, è costituita dall'insieme degli interventi delle politiche agrarie. È noto, e il fatto trova un'ampia serie di motivazioni nelle peculiarità dell'attività agricola, che questa è fortemente condizionata dalla politica agraria che, insieme alle altre politiche economiche, concorre a definire il quadro normativo generale all'interno del quale trovano spazio tutti i provvedimenti che ne possono determinare le condizioni per lo sviluppo o, al contrario, per il declino.

In questo ambito, in generale, ogni paese attua una serie di interventi che mirano a garantire un certo livello degli approvvigionamenti alimentari ritenuto strategico per la rispettiva comunità nazionale. Per quanto riguarda il nostro paese, e più in generale, quelli dell'Ue, questo compito è affidato, sin dai primi anni '60 alla Politica agricola comune dell'Ue. Tuttavia, nel trasferire le linee d'indirizzo e di governo di quest'ultima, pur nella uniformità delle norme comunitarie, vi sono margini di "nazionalizzazione" della Pac che vengono diversamente sfruttati dai singoli paesi membri. Su questo aspetto emerge una singolare tendenza dell'Italia ad appiattirsi sull'interpretazione più letterale, spesso nuocendo a specifici interessi del paese, forse per un malinteso eccesso di europeismo della nostra politica in generale a cui, in realtà, non corrisponde altrettanto zelo nell'effettiva applicazione di molte misure. Dunque il quadro delle regole, e degli aiuti, per l'agricoltura presenta molto poco un volto nazionale e assai di più uno comunitario nel creare le premesse per determinati sviluppi dell'agricoltura e, ovviamente, dei seminativi. Da questo punto di vista emerge con chiarezza l'importanza delle politiche agrarie, sia nei termini complessivi di maggiore o minore stimolo accordato al settore, sia di modalità di erogazione di quest'ultimo, sia, infine, di scelte implicite nell'adozione di certe misure che, lungi dall'essere neutrali nei confronti di specifiche produzioni, possono costituire l'elemento decisivo nell'assicurare il successo ovvero la sconfitta di una o dell'altra di esse.

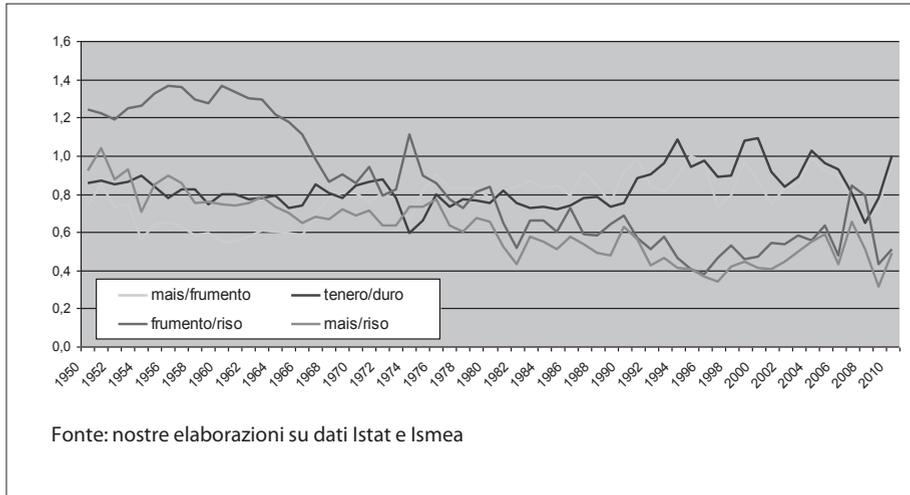


Fig. 8 *Dinamica di lungo periodo dei rapporti tra i prezzi dei principali seminativi in Italia*

Nell'ambito delle critiche mosse alla Pac questo argomento riveste un ruolo centrale, basti ricordare come la fissazione dei prezzi comuni, sia nella fase di avvio del mercato comune, sia in quelle successive, abbia in molti casi spostato la convenienza economica, a parità di condizioni agronomiche, di rese produttive, di tecniche colturali e di costi unitari a favore di una o dell'altra coltura, seguendo un disegno strategico che in molti casi risultava estraneo agli interessi del nostro paese. Ricordiamo alcuni esempi come lo sconvolgimento iniziale della gerarchia dei prezzi del frumento e del mais, nel passaggio al prezzo unico nel lontano 1968; l'assurdo affossamento delle oleaginose, in particolare della soia, come pegno verso gli Usa per l'accordo della Blair House del 1992 che aprì la strada alla conclusione dell'Uruguay Round; il rinnovato favore nei confronti del mais con la riforma del 1992 della Pac; l'incredibile condanna a morte della nostra bieticoltura, imposta dagli altri paesi e subita tacitamente dall'Italia, nei confronti di un prodotto che in questi giorni guida la corsa al rialzo dei prezzi mondiali, come già nel 2009.

La dinamica dei rapporti di prezzo fra i principali seminativi può rappresentare un'interessante modalità interpretativa del susseguirsi di diversi criteri guida nell'adozione della politica comunitaria e del crearsi e modificarsi delle convenienze fra le singole colture. La figura 8 riporta l'evoluzione dei rapporti fra i prezzi dei principali seminativi negli ultimi 60 anni e mostra come in realtà vi siano stati numerosi cambiamenti, in particolare per quanto riguarda il ruolo guida del frumento che perde terreno nei confronti del riso e del mais rispetto alle posizioni che occupava all'inizio degli anni '50. Il mais, a sua

volta, perde nei confronti del riso per tutto il periodo, infine considerazioni a parte merita l'evoluzione del rapporto fra grano tenero e duro che dopo un lungo periodo si deteriora a sfavore del secondo con le conseguenze che conosciamo in termini di crollo delle superfici e, di conseguenza, dell'offerta. Infine, risulta interessante valutare gli sconvolgimenti del periodo che si apre con i rialzi del 2007/08 e poi si sviluppa con il successivo crollo delle quotazioni.

Il rapporto con gli orientamenti della Pac nel tempo non si esaurisce nel semplice mutare dei prezzi e delle convenienze, specialmente se si considera che la costruzione della Pac e le conseguenti scelte sui prezzi, compiute alla metà degli anni '60 per la gran parte dei seminativi, hanno prodotto effetti che si protraggono sino ad oggi, nonostante i cambiamenti legati alle successive fasi di riforma della Pac che si sono susseguite a partire dalla riforma del 1992.

Infatti la determinazione del prezzo indicativo unico per i cereali, ad esempio, non ha influito solo sul rapporto fra mais e frumento, ma per tutto il periodo che va dal 1968 al 1992 e, in misura minore anche negli anni seguenti, ha determinato e sostenuto il reale prezzo di mercato attraverso il prezzo di intervento, il prelievo all'importazione e la restituzione all'esportazione.

Ma i suoi effetti si sono protratti anche dopo. Quando il classico meccanismo del sostegno attraverso i prezzi, attuato dalla Pac sin dagli inizi, si è trasformato in sostegno diretto al reddito, l'ancoraggio ai vecchi prezzi ha determinato, per la scelta dell'aggancio alle produzioni storiche, anche una differenziazione dei pagamenti, accresciuta dalla libertà per i paesi membri di seguire il criterio della regionalizzazione per massimizzare gli importi da corrispondere. Dunque appare innegabile un effetto macroscopico di distorsione prodotto dalla Pac almeno in relazione alla politica dei prezzi e dei mercati.

Negli ultimi anni, tuttavia, in parallelo alla revisione della Pac e alla riformulazione dei suoi obiettivi si è assistito a uno sforzo di individuazione di nuovi compiti per l'agricoltura e di nuove motivazioni per giustificare il sostegno accordato a essa anche per renderlo compatibile con gli accordi internazionali che si andavano stipulando sotto l'egida del Gatt, prima, e della Wto, poi. Da un punto di vista strettamente teorico, in realtà, non cambia nulla perché il sostegno rimane, anche se in misura più ridotta e con giustificazioni più complesse di quelle che, poste alla base della Pac negli anni '50, ne avevano decretato il successo. Un risultato, quello di allora, tanto paradossale da aver concorso a determinarne l'affossamento in seguito.

Se si può convenire, in linea di principio, che ogni tipo di aiuti tali da distorcere la concorrenza debba essere eliminato, non si può disconoscere il fatto strategico che un paese non può accedere alla tesi di una eccessiva

dipendenza per gli alimenti dal mercato mondiale. Tuttavia ciò apre una controversa strada alla definizione di che cosa sia tollerabile, e fino a che punto, e di che cosa, invece, sia incompatibile con questa visione. I paesi occidentali, in particolare Ue e Usa sono stati accusati di un eccesso di protezionismo, dannoso per lo sviluppo dei paesi più poveri. Le loro concessioni sono state accettate quasi a malincuore dagli altri partner mondiali che si sono dichiarati insoddisfatti in più occasioni. La riduzione del sostegno e l'apertura dei mercati alle importazioni hanno però mostrato per sé sole una discreta inefficacia nel risolvere i problemi della cattiva distribuzione delle produzioni agricole, come si è visto all'atto della crisi agricola del 2008, quando gli stessi accusatori dell'Ue e degli Usa li hanno nuovamente incolpati di essere la causa della crisi stessa per aver ridotto nell'ultimo decennio le rispettive produzioni agricole.

Il cambio di criteri e di modalità di aiuto alle produzioni è, ancora una volta, un fattore di diverso favore nei confronti delle singole colture, non fosse altro che per il fatto di veder cessare un sostegno importante nei confronti di questa o quella coltura. Il futuro assetto della Pac che, al di là di altri elementi al momento ancora sconosciuti, introdurrà per certo il concetto dell'unicità dell'importo del pagamento unitario, sarà in questo senso un ulteriore fattore di modifica delle situazioni di convenienza a produrre determinate colture.

I seminativi nello scenario italiano

La trasposizione di tutto quanto precede nel nostro paese avviene in una situazione in cui il settore dei seminativi, come tutta l'agricoltura, si trova a fronteggiare un contesto che appare sostanzialmente ostile. Non è estraneo a questa sensazione un diffuso pregiudizio dell'opinione pubblica nei confronti delle pratiche agricole ritenute pericolose per l'ambiente e in genere dannose per la salute. Questo atteggiamento, sostenuto da intense campagne di stampa e anche dall'interpretazione eccessivamente unidirezionale delle recenti tendenze della Pac, si salda nei fatti con una serie di comportamenti come l'insistente antropizzazione degli animali con l'interesse sempre più pressante per un benessere animale spesso male inteso, o come la diffidenza nei confronti del progresso scientifico e tecnologico in agricoltura, si veda l'approccio aprioristicamente negativo agli OGM.

La rigida applicazione delle regole comunitarie, di quelle emanate dalle autorità locali in materia di sicurezza e tutela della salute e di quelle provenienti dal governo centrale, rende in molti casi difficile praticare determinate colture con ciò, implicitamente, favorendone altre. Basti citare a questo pro-

posito, e rimanendo ai soli seminativi, certe ordinanze comunali che ristabiliscono ad esempio una distanza minima dai centri abitati della coltivazione del riso, come nei secoli in cui se ne temevano i “miasmi venefici”, o, sempre a proposito di riso, quelle che intervengono per eliminare le zanzare attraverso la riduzione delle aree risicole e il loro allontanamento dai centri urbani.

Gli stessi cittadini, però, quando assumono il ruolo di consumatori richiedono contemporaneamente prodotti a buon prezzo, di qualità elevata, ottenuti con le pratiche agricole di una volta, provenienti da un determinato territorio e reperibili con comodo in uno dei sempre più numerosi ipermercati che devastano il territorio rurale.

E la sindrome del mitizzato Mulino che ha fatto la fortuna della maggiore industria del settore, ma è allo stesso tempo un atteggiamento incoerente perché il consumatore, consumista ed elitario, diventa un altruista preoccupato per le sorti di questa o quella categoria di produttori, visti come anacronistici Robin Hood, mentre trepida per chi nel mondo ha ben più seri problemi di sottanutrizione senza cogliere l'implicita contraddizione di questi atteggiamenti. La risposta del sistema agricolo all'insieme di tutte queste sollecitazioni va ricercata nella reazione, più che nella capacità di adeguamento, agli indirizzi delle determinanti che abbiamo visto agire su di esso ed è stata una risposta che ha messo in evidenza una forte volontà di adattamento a condizioni mutevoli e in assenza di strategie chiare del paese. Si è assistito infatti a una rilevante serie di cambiamenti che sono stati messi in atto spontaneamente da una parte del mondo agricolo e che hanno interessato anche il settore dei seminativi agendo sul versante delle strutture agricole e dell'organizzazione produttiva. Le soluzioni empiriche che sono emerse sono il frutto dello sforzo quotidiano degli agricoltori che cercano di sottrarsi alla morsa della situazione generale e dei vincoli crescenti. Dall'osservazione della realtà si possono ricavare almeno tre modelli identificabili con una certa frequenza proprio nell'ambito delle imprese agricole che operano sui seminativi. Come ho avuto modo di indicare in altre occasioni, il riferimento è a tre tipi di aziende integrate a cui ci rifaremo indicandoli come “complessi”:

1. Il complesso produttivo e di trasformazione “grandi colture”,
2. Il nuovo complesso “agricolo-zootecnico”,
3. Il complesso “agricolo-commerciale integrato”, prevalentemente orticolo.

I tre modelli proposti riguardano tutti il settore dei seminativi, anche se in modo diverso. Il primo, quello relativo alle “grandi colture” integra le produzioni realizzate nei seminativi della Pac (cereali, oleaginose, colture industriali) con le fasi successive di lavorazione e utilizzo del prodotto agricolo. Si può riscontrare in diversi contesti produttivi e può comprendere anche

le attività di *produzione* per usi energetici con esigenze produttive differenti rispetto all'agricoltura tradizionale. Il suo obiettivo principale è l'efficienza dei processi produttivi e l'ottimizzazione delle risorse disponibili, quindi non include necessariamente solo grandi aziende, anche se punta su una forte concentrazione di produzione e di offerta per conseguire un maggiore potere contrattuale e volumi di offerta significativi a fronte di una domanda molto concentrata.

Il secondo modello "agricolo-zootecnico" è caratteristico e diffuso nelle aree in cui l'attività zootecnica, come nelle aziende più intensive della pianura Padana, incontra crescenti difficoltà ad acquisire una produttività sempre maggiore, un obiettivo che è essenziale per il mantenimento della redditività. Esso si differenzia da quello classico perché realizza una separazione fra l'attività di produzione di alimenti per il bestiame e quella di allevamento. In sostanza esso ha alla base una specializzazione produttiva spinta e realizza un utilizzo ottimale delle risorse alimentari producibili in un certo territorio. Si tratta di un modello di integrazione fra grandi allevamenti e agricoltori di varia dimensione che si orientano a produrre per essi gli alimenti per il bestiame. Il suo obiettivo è l'ottimizzazione del processo complessivo, insieme alla ricerca di una crescente produttività grazie alla specializzazione. Questo modello prevede spesso un rilevante ricorso al contoterzismo, in particolare per le aziende minori che altrimenti si troverebbero nell'impossibilità di realizzare economicamente la produzione.

Infine il terzo, il modello "agricolo-commerciale integrato", riguarda un particolare tipo di seminativi, quelli utilizzati per orticole di pieno campo. La sua caratteristica distintiva è la forte integrazione con gli acquirenti dei prodotti individuati direttamente nella grande distribuzione o nell'industria di trasformazione ed è diffuso in molti casi là dove queste colture prendono il posto dei cereali e delle colture industriali, un fatto importante da considerare nella prospettiva della futura Pac. Esso realizza una forte integrazione delle fasi di produzione agricola anche con territori lontani, ma complementari come tempi e caratteristiche dell'offerta, e di "servizio" agli acquirenti. Queste comprendono, ad esempio, garanzia di costanza qualitativa e rispetto quantitativo delle forniture, presentazione di un'offerta adatta a incontrare le esigenze della domanda, conservazione della costanza delle caratteristiche dell'offerta. Il modello punta a una maggiore presenza nelle fasi a valle della produzione, recuperando valore aggiunto, assicurando la certezza del collocamento del prodotto in termini di prezzo e di quantità grazie all'ottimizzazione delle caratteristiche dell'offerta, a un'elevata efficienza e alla specializzazione sia della produzione sia delle fasi successive grazie alla costruzione di adeguate piattaforme di supporto. In vista dei futuri cambiamenti della Pac,

proprio in materia di seminativi, un incremento della presenza di questo modello, unito a un trasferimento di superfici dai cereali alle ortive di pieno campo, può costituire un fenomeno evolutivo di grande interesse.

I modelli individuati attraverso un'analisi della realtà che si sta consolidando nei seminativi mostrano una transizione in atto dall'azienda tradizionale ad aziende innovative, che si avvalgono di strumenti organizzativi e di processi produttivi nuovi o già esistenti, come il contoterzismo, ma utilizzati in modo innovativo.

L'integrazione crescente sia con altre aziende agricole del territorio sia con aziende commerciali o industriali è un altro aspetto di rilievo. Esso si accompagna all'introduzione di innovazione di processo, di prodotto e organizzativa, implicando stretti collegamenti da un lato con l'evoluzione degli aspetti scientifici e dall'altro con il quadro economico e sociale che influenza la domanda dei prodotti. Proprio quest'ultima impone standard qualitativi elevati, pur mantenendo costi competitivi per non cedere alla concorrenza. In definitiva, l'obiettivo strategico consiste nel rendersi indispensabili agli acquirenti per il prodotto e per i servizi forniti insieme a esso, un concetto di grande rilievo in un settore a modesta differenziazione del prodotto in cui diventa difficile acquisire e conservare il proprio mercato.

QUALI PROSPETTIVE PER I SEMINATIVI NELL'AGRICOLTURA ITALIANA?

Abbiamo visto che i seminativi nel contesto agricolo italiano sono sottoposti a una complessa serie di forze che ne determinano le prospettive.

Queste forze sono costituite dagli influssi che derivano dal mercato mondiale, dalla sua crescente globalizzazione, dalla competizione e dalla conseguente sempre maggiore interconnessione dei diversi paesi produttori, tutti elementi che spiegano il fenomeno della immediata diffusione della crisi e anche in prospettiva inducono a ritenere che le fasi di mercato perturbato si ripeteranno con una frequenza superiore al passato e senza lo schermo protettivo costituito dalla vecchia Pac. La volatilità dei prezzi, specie per le *commodities*, sarà un fenomeno sempre più frequente e da inquadarsi in crisi di durata breve, ma di forte intensità.

Sempre sul mercato mondiale si porrà, con crescente importanza, il problema di produrre a sufficienza per un'umanità in espansione e con bisogni alimentari sempre più differenziati. Ciò significa che le politiche agrarie dei paesi ricchi vanno ripensate in un'ottica di maggiore attenzione all'intero scacchiere mondiale che vada al di là delle concessioni contingenti fatte

nell'ambito delle trattative internazionali e che sono state subito accantonate dimostrandosi effimere al momento della crisi.

Sul piano europeo stiamo per affrontare una revisione ulteriore della Pac, in una logica che si baserà sulla riduzione del sostegno; sul contenimento di una spesa per l'agricoltura da limitare e, oltre tutto, da ripartire con paesi più poveri e "agricoli" di noi; su un'attenzione crescente ai problemi ambientali, di benessere animale, di "goodpractices"; su un'agricoltura produttrice di beni pubblici più che di beni materiali.

Tutto ciò, per altro, sembra trascurare il fatto che di questi vi sarà comunque bisogno, sia per il consumo interno dell'Ue, sia in funzione strategica, sia per non creare competizione nell'acquisto di alimenti con i paesi poveri, sia infine per contribuire anche noi ad alimentare un mondo che ha, e avrà sempre più, bisogno di cibo.

La Pac attuale e le proposte che circolano sul suo futuro assetto non danno risposte a tutti questi bisogni e non sembrano tenere conto della lezione della crisi agricola del 2008, un elemento non trascurabile di riflessione che ci sembra sottovalutato.

All'interno dell'agricoltura italiana l'impressione è che negli scorsi anni, alla ricerca della valorizzazione delle produzioni alimentari, ci si sia occupati più di prodotti che di processi produttivi. L'agricoltura italiana contribuisce sempre meno a fornire quei beni che, trasformati, diventano i punti di forza dell'alimentare italiano. Ciò porta però a un conflitto insanabile tra la industria di trasformazione che sta progredendo e l'agricoltura che arretra, senza contare i problemi dell'alimentazione del paese. Le difficoltà di accontentare le molteplici anime di un consumatore che vuole tutto contemporaneamente sono davvero troppo numerose.

Dobbiamo porci il problema di capire come si possano conciliare tutte le esigenze sul tappeto quando la superficie agricola si contrae, vengono suggerite tecniche agricole sempre meno produttive, la competizione per il cibo è un dato di fatto già oggi e si aggraverà in futuro con il superamento della crisi. La soluzione del progresso scientifico e tecnologico viene costantemente aversata, con il risultato di creare un ritardo che difficilmente si potrà superare. Le stime degli agronomi indicano che già da oltre un decennio l'agricoltura italiana presenta rese produttive stazionarie e si avvale di varietà superate che non sono state innovate perché l'interesse della ricerca si rivolge alle nuove frontiere delle biotecnologie che da noi sembrano rigidamente precluse. Lo spettro di una replica del caso del nucleare non è così irrealistico, eppure non facciamo altro che esaltare i grandi prodotti della nostra agricoltura e della nostra industria alimentare, ma sembriamo non accorgerci che in futuro in

quegli alimenti ci sarà sempre meno materia prima agricola nazionale.

In questo contesto è difficile prevedere che i seminativi, già oggi in media meno redditizi di altre colture, possano reggere una competizione impari. Senza potersi avvalere degli strumenti che sono a disposizione degli agricoltori degli altri paesi i nostri saranno gradualmente spinti ai margini di un mercato in cui, invece, vi è spazio anche per loro, se solo ce ne rendessimo conto e operassimo per rafforzare il sistema produttivo.

RIASSUNTO

Le colture che concorrono a formare i seminativi interessano attualmente circa il 35% dell'intera superficie agricola italiana e quindi costituiscono l'insieme di colture più importanti, un ruolo che hanno sempre rivestito e che condividono con le analoghe coltivazioni nella gran parte dei paesi del mondo. La loro incidenza in termini di valore si colloca oggi attorno al 28% di quello totale della produzione agricola italiana.

Nel tempo il loro peso percentuale tende a scendere, a conferma di un minore interesse della nostra agricoltura verso queste colture.

Le tendenze e le prospettive dei seminativi vengono esaminate tenendo conto dello scenario agricolo mondiale negli anni della crisi, dello sviluppo delle politiche agrarie e delle tendenze del sistema agricolo nazionale. La reazione del sistema agricolo ha portato alla formazione di nuovi modelli aziendali, ma nel contesto individuato è difficile prevedere se i seminativi, già oggi in media meno redditizi di altre colture, potranno reggere una competizione impari senza potersi avvalere degli strumenti produttivi che sono a disposizione degli agricoltori degli altri paesi.

ABSTRACT

Economic Scenarios, Trends and Perspectives of Arable Crops. Nowadays arable crops are interesting about 35% of total Italian agricultural area and represent the main group of agricultural cultures, like in most world countries. In Italy the value of arable crops is about 28% of the total agricultural output. Both area and output follow a decreasing trend over time and reveal less interest towards these crops.

Trends and perspectives of arable crops are considered within a framework which includes world agriculture scenarios in the years of the crisis, development of agricultural policies and evolution of Italian agriculture. The reaction of agricultural system has led to the formation of new organizing models of farms, but in the context identified is difficult to predict whether the Italian arable crops, that are less rentable than others, can match a global competition without using productive tools that are in use in other countries but not in Italy.

Sistema sementiero e seminativi, un futuro inscindibile

A fronte di un carico demografico mai sperimentato prima nella storia dell'umanità e ormai prossimo, secondo le stime ONU, alla soglia di sostenibilità da parte del pianeta, le produzioni agrarie rivestono il ruolo di prim'attore. Tra di esse i seminativi, o "grandi colture", saranno la chiave di volta per la sostenibilità alimentare ed energetica del pianeta. È richiesta una nuova rivoluzione verde, che si deve confrontare ora con sfide di elevata complessità, riconducibili all'aumento delle rese, della sostenibilità ambientale, della qualità e sicurezza dei prodotti agrari, dei loro settori d'impiego (Den Herder et al., 2010).

All'interno di questo scenario, siamo convinti che un sistema sementiero avanzato e dinamico costituisca una delle strade necessariamente percorribili per rispondere alle future esigenze agricole sia a livello globale, che nazionale. Si rifletta sul ruolo che ha avuto il sistema sementiero per il miglioramento della resa areica e della sostenibilità dei seminativi nella seconda metà dell'ultimo secolo fino ai giorni nostri. È evidente quanto sia rilevante l'importanza della varietà, della diffusione del seme certificato e del mantenimento di un sistema di innovazione varietale, quindi di prodotto, in tutte le filiere cui appartengono i seminativi. In figura 1 è riportato, a titolo esemplificativo, il progresso delle rese di frumento ottenuto in diversi Paesi, nell'arco di un secolo, grazie all'introduzione di varietà migliorate, frutto della cosiddetta rivoluzione verde.

Le varietà migliorate sono il risultato del *plant breeding*, combinazione di interventi applicata a una serie di individui per ottenere un gruppo riprodu-

* CRA-GPG, Centro di Ricerca per la Genomica, Fiorenzuola d'Arda (PC)

** Facoltà di Agraria, Università di Modena e Reggio Emilia

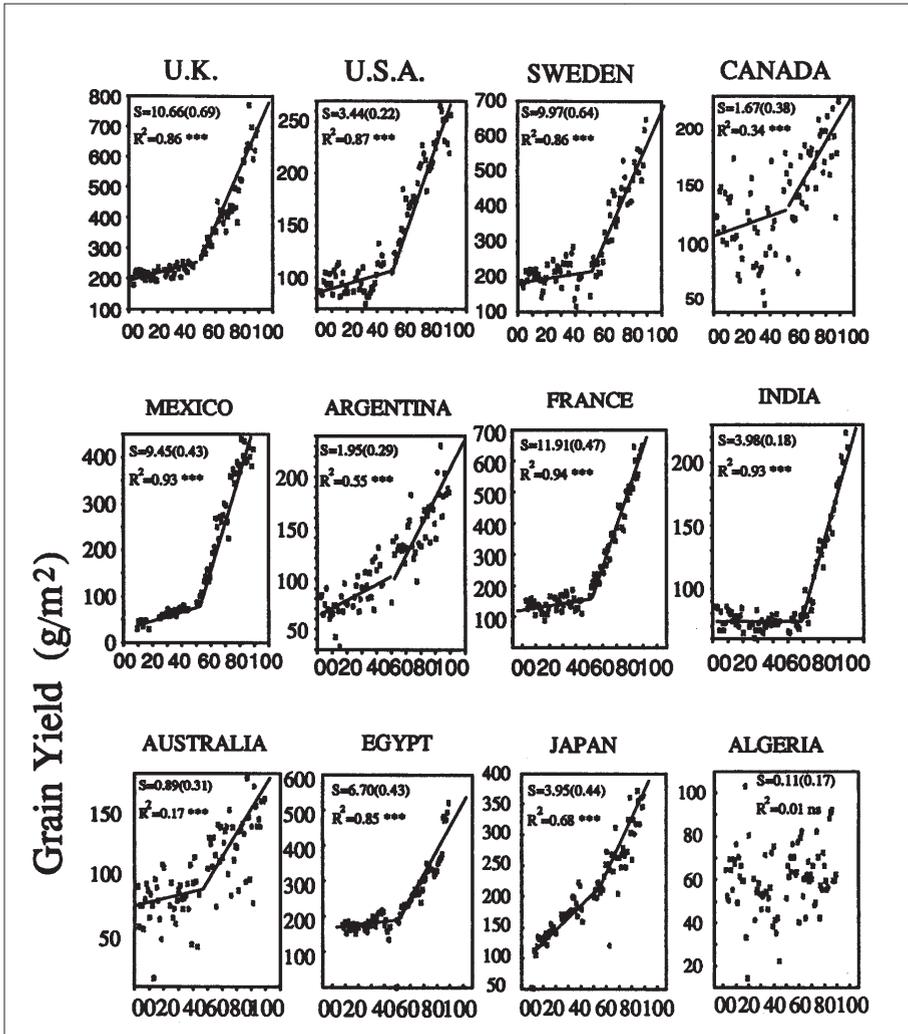


Fig. 1 Miglioramento delle produzioni di frumento in una finestra temporale pari a un secolo in diversi Paesi europei ed extra-europei. L'introduzione di varietà migliorate ha giocato un ruolo essenziale nell'incremento delle produzioni in tutti i Paesi. L'Algeria, al contrario, ha mostrato produzioni altalenanti, spiegabili, oltre che con motivi politico-sociali, anche con il mancato utilizzo di varietà moderne. Tratto da Slafer et al. (1994)

cibile di piante (la varietà) con un valore agronomico-economico superiore al precedente. Il plant breeding ha avuto, nell'ultimo secolo, una veloce evoluzione in termini di approcci e tecnologie, di pari passo con l'evoluzione della disponibilità di tecnologie di biologia molecolare (fig. 2), che lo ha condot-

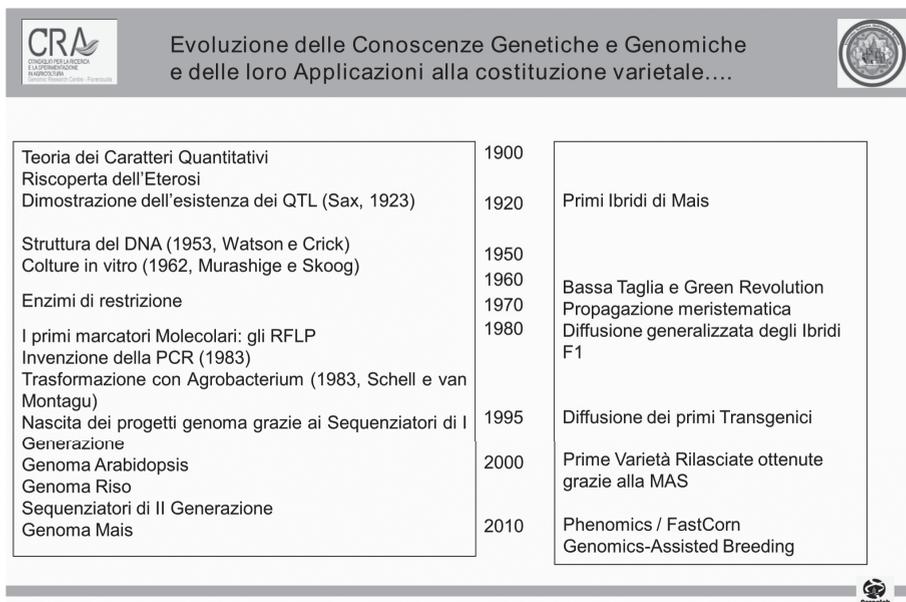


Fig. 2 *Evoluzione di tecnologie molecolari, genetiche e genomiche, assieme a innovazioni nel plant breeding sviluppate nell'ultimo secolo*

to a un nuovo paradigma, della selezione assistita o MAS (Marker-Assisted Selection). La massimizzazione dei programmi di miglioramento si ottiene attualmente attraverso lo sfruttamento di caratteri nativi derivanti da risorse genetiche coniugati all'ottimizzazione dei processi di introduzione di alleli superiori in germoplasma elite (Pecchioni et al., 2002; Stanca et al., 2003). Le biotecnologie offrono l'uso dei marcatori molecolari per lo studio della variabilità genetica a livello di singole piante, accessioni, popolazioni e specie, oltre che per il monitoraggio della diversità genetica nel tempo e nello spazio (Guerra et al., 2009). I marcatori molecolari hanno la capacità di evidenziare polimorfismi nella sequenza nucleotidica, consentendo la discriminazione di alleli diversi a uno stesso locus. Essi non sono influenzati da fattori ambientali, né fenologici e sono potenzialmente utili per diversi scopi: il fingerprinting dei genotipi e i test di purezza, lo studio delle relazioni filogenetiche e delle distanze genetiche, la costruzione di mappe genetiche e fisiche per la localizzazione di geni e QTL responsabili dell'espressione di caratteri d'interesse. La loro applicazione al breeding attraverso la selezione assistita da marcatori molecolari (Marker Assisted Selection - MAS) si è affermata nel decennio 1990 – 2000 e ha consentito un significativo aumento della rapidità ed efficacia di programmi di pre-breeding e breeding (Sabatini et al., 2011). L'introgres-

ne e la selezione di caratteri a base genetica semplice, tipicamente resistenze a patogeni, sono attualmente realizzate di routine attraverso la MAS. Diverse tipologie di marcatori molecolari sono attualmente disponibili e sono tutti virtualmente utilizzabili in programmi di MAS, purché caratterizzati da facilità d'impiego, affidabilità, basso costo associato alla possibilità di automazione d'analisi.

Il successo di un programma di MAS dipende innanzitutto dalla natura del carattere oggetto di miglioramento. Mentre infatti il trasferimento di caratteri monogenici è relativamente semplice e diversi esempi sono rinvenibili in letteratura, la MAS per caratteri complessi è più difficoltosa, in ragione dei costi, dell'interazione genotipo x ambiente e gene x gene. Un'altra problematica è legata al grado di associazione tra i marcatori e il gene a effetto maggiore o al QTL d'interesse: più stretta è l'associazione, minore sarà la possibilità di ricombinazione tra il marcatore e il gene target e quindi maggiore sarà l'efficacia d'intervento genetico (Laidò et al., 2009; Holloway e Li, 2010). Nelle condizioni più favorevoli che prevedono il clonaggio del gene responsabile della caratteristica desiderata, sarà possibile costruire sulla sua sequenza un marcatore perfetto, garantendo perciò il completo controllo del gene stesso (Barabaschi et al., 2007).

Dell'ultimo decennio è però la capacità di sequenziare, a costi progressivamente ridotti, interi genomi di piante agrarie, con il conseguente ottenimento di imponenti informazioni genomiche. Lo sforzo attuale è di assicurare una parallela fenotipizzazione delle risorse genetiche, che abbia comparabili caratteristiche di precisione e alta processività (Faccioli et al., 2009a). Genotipizzazione e fenotipizzazione su grandi numeri di caratteri molecolari e fenotipici, e su grandi numeri di individui di una specie agraria apre la porta al Genomic Assisted Breeding (GAB), cioè alla capacità di selezionare piante migliorate a un superiore livello di complessità.

La "Pianta del Futuro" si può già oggi "progettare" a tavolino grazie alle conoscenze della genomica e si può ottenere con la selezione assistita: lo si è chiamato "breeding by design".

Da quanto detto, è chiaro come serva un nuovo modo di pensare da parte delle ditte sementiere italiane, caratterizzate troppo spesso dalle piccole dimensioni e da difficoltà di competitività nei confronti delle grandi imprese internazionali. Le 175 imprese sementiere associate ad ASSOSEMENTI nel 2007, che operano in prevalenza nei settori delle orticole, cereali e foraggere, hanno bisogno di una nuova generazione di operatori sementieri, capaci di applicare le nuove metodologie e di integrare i risultati delle prove agronomiche con le informazioni molecolari e con grandi quantità di dati informatici (Faccioli et al., 2009b). È sempre più necessario costituire dei gruppi di lavo-

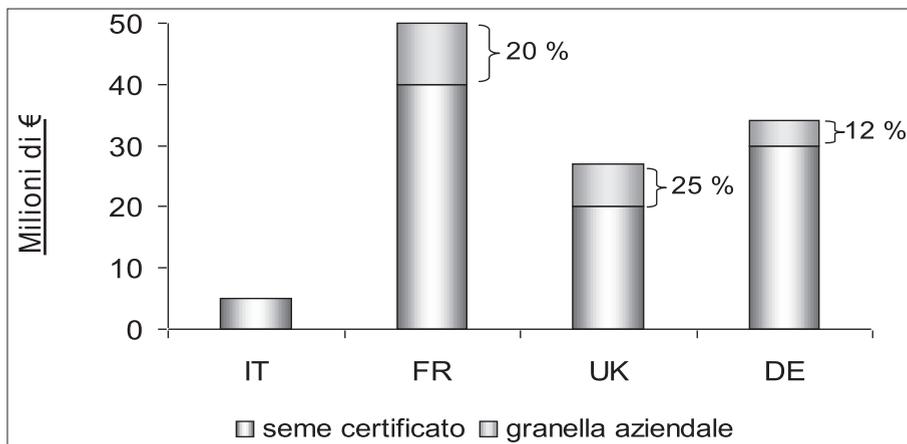


Fig. 3 Risorse private a disposizione dei costitutori derivate dalla vendita di seme certificato e granella aziendale in Italia a confronto con altri Paesi Europei. I dati, forniti da M. Nardi (2007), ASSOSEMENTI, si riferiscono ai cereali a paglia

ro con tutte le diverse professionalità necessarie al successo della varietà, che affianchino i breeder nel loro lavoro.

Il sistema sementiero nazionale ha innegabili punti di forza, quali ambienti vocati ed elevata specializzazione per la produzione di sementi per alcune specie, tradizione professionale e intraprendenza degli operatori, presenza di una agricoltura comunque evoluta, opportunità di ricerca e di interazione tra ditte sementiere, università ed enti di ricerca. Esistono però punti deboli del sistema che non consentono di sfruttare a pieno le potenzialità dell'innovazione varietale, né di legare sempre di più il sistema sementiero ai seminativi. Tra le altre, l'insufficiente competitività nei confronti di varietà di importazione, l'attività di ricerca di base e di costituzione varietale insufficiente e poco coordinata, la mancanza di finanziamento alla ricerca da parte della granella aziendale (fig. 3), da associazioni di costitutori, o da associazioni di produttori, le organizzazioni interprofessionali apparentemente poco interessate all'innovazione varietale, un quadro amministrativo e burocratico pesante, tempi ancora lunghi tra l'idea innovativa e la varietà costituita.

Tutto questo dilata i tempi di trasferimento dell'innovazione varietale e quindi del ritorno degli investimenti iniziali fatti dall'impresa. Nel caso dei cereali 8-10 anni sono necessari in assenza di MAS per passare dalla fase di ricerca e sviluppo iniziale, alla costituzione della nuova varietà, iscrizione al registro, produzione e vendita delle sementi e infine arrivare all'incasso dei diritti di costituzione.

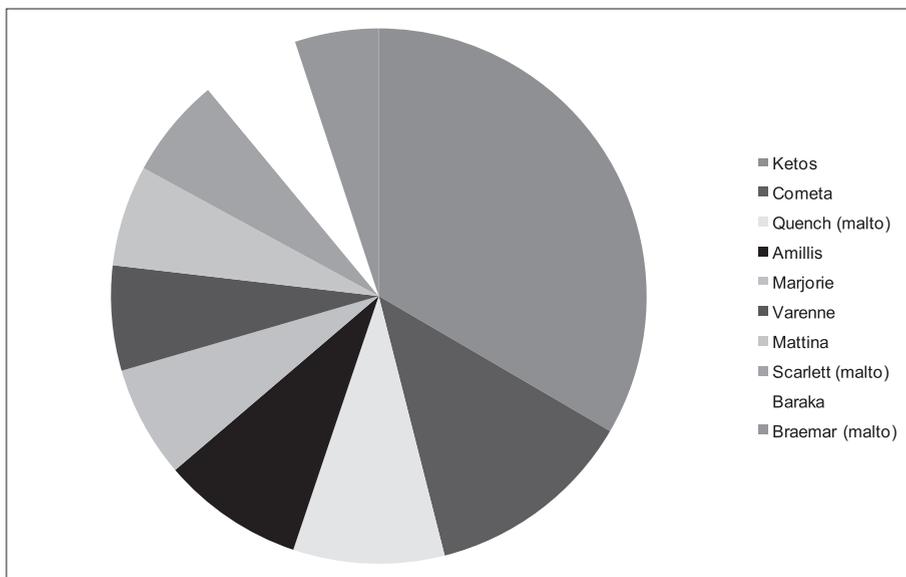


Fig. 4 *L'innovazione varietale arriva in tempi brevi all'azienda? Un esempio viene dalle vendite di seme certificato di orzo nel 2009: tra le prime 10 varietà è compresa la varietà Baraka, costituita più di vent'anni prima, nel 1988, e che costituiva il 33% del seme certificato ancora nel 2006 (elaborato da dati ENSE)*

Da rimarcare è infine l'incompleta consegna alla azienda o alla filiera delle più recenti innovazioni varietali (fig. 4).

Variegata è al contrario la situazione a livello internazionale in relazione a tutti i fattori di criticità evidenziati. In tabella 1 è riportata schematicamente un'analisi di aspetti chiave legati all'attività sementiera in frumento in grandi Paesi o macroaree.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il seme certificato è garanzia per la filiera e per il consumatore: su questo punto c'è totale convergenza di opinioni. Diverse proposte operative possono perciò essere ipotizzate per migliorare, nel futuro, la fruttuosità del rapporto inscindibile tra sistema sementiero e seminativi.

Dovrebbe essere stimolata la nascita di "club" o consorzi di imprese nel settore sementiero, che si facciano capifila dell'innovazione varietale nel Mediterraneo e Sud Europa. Le Organizzazioni Interprofessionali possono stimolare e guidare l'innovazione varietale: a questo proposito un modello

NAZIONE	VARIETÀ RILASCIATE PER ANNO	FRUMENTO OGM	MAS (MARKER-ASSISTED SELECTION)	RUOLO DEL SETTORE PUBBLICO	LIVELLO DI INVESTIMENTO PER IL BREEDING	CARATTERI CHIAVE DI SELEZIONE
UE	da 5 a 25	Non in programma, o in fase di ricerca e sviluppo	MAS usata di routine, a seconda delle dimensioni delle ditte, mirata da pochi a molti caratteri	Soprattutto mantenimento di germoplasma e materiali per incroci più che sviluppo di varietà (differenziato nei paesi)	Medio, medio-alto, elevato in UK (25-30% del totale)	Bilanciamento tra produzione e qualità a seconda della destinazione resistenze a stress biotici, ma anche abiotici (es. siccità)
Stati Uniti	50	Non in programma per il momento	MAS usata soprattutto da settore pubblico, di routine, ma mirata a specifici (pochi) caratteri	Mantenimento di germoplasma e sviluppo di materiali per incroci (USDA e Università), breeding (Università)	Medio (quarto dopo mais, soia e cotone)	Caratteri diversificati per ogni Stato dell'Unione. Obiettivi comuni: resistenza a fusariosi, ruggine gialla, bruna e dello stelo
Rep. Pop. Cinese	30	Sperimentazione di campo	MAS usata prevalentemente da istituzioni pubbliche e per pochi caratteri (qualità)	Breeding	Elevato, secondo dopo il riso, meno del 30% del totale	Produzione, resistenze (ruggine gialla, fusariosi, oidio), e qualità
Australia	20-22	Prove di campo sotto severi controlli	MAS usata di routine, per pochi o per molti caratteri	Mantenimento di germoplasma e sviluppo di materiali per incroci	Elevato	Qualità, resistenze sia a stress biotici che abiotici

Tab. 1 *Punti chiave dell'attività di costituzione varietale di frumento in macroaree del pianeta (adattato da Pecchioni, 2007)*

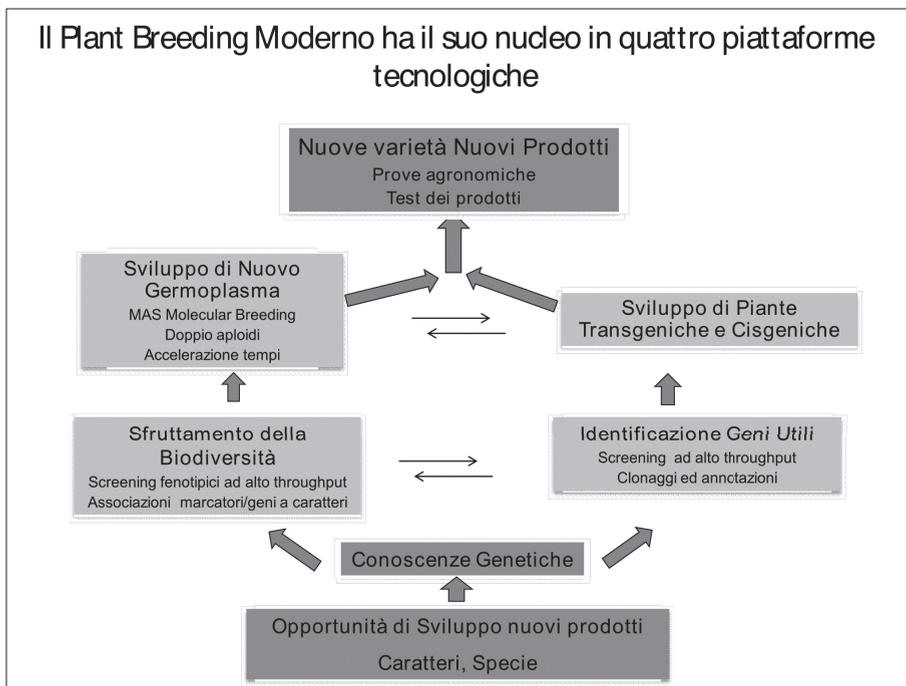


Fig. 5 Partendo dalla crescente mole di informazioni genetiche e genomiche (Feuillet et al., 2010) e con l'obiettivo di sviluppare varietà vegetali disegnate per raggiungere un elevato standard qualitativo il plant breeding attuale si fonda sulle quattro piattaforme riportate, a loro volta basate su alcune tecnologie fondanti

potrebbe essere offerto dalla organizzazione di CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, <http://www.cetiom.fr/>), organizzazione interprofessionale focalizzata sulla ricerca e sviluppo al servizio delle produzioni oleaginose, quali colza, girasole, soia e lino, sul territorio francese. CETIOM, principalmente attraverso una CVO (Cotisation rendue Obligatoire par l'Etat) di 10,1 M€, completata da finanziamenti del Ministero dell'Agricoltura francese, e rafforzata da contratti di ricerca con le regioni, altri enti e con gli industriali interessati, ha a disposizione un budget annuo di 14 milioni di euro che assicurerà alla Francia un dinamico progresso nel settore delle oleaginose.

Dovrebbero essere quindi stimolati con strumenti adeguati maggiori investimenti in R&D da parte delle industrie sementiere, ma si potrebbe prevedere anche la nascita di un sistema di finanziamento alla ricerca varietale a partire dal seme aziendale (vedi fig. 3). Questo meccanismo è già presente in alcuni Paesi europei, quali Francia, Germania, Gran Bretagna, Ungheria:

in Italia, al contrario, il seme aziendale non è soggetto al pagamento di alcuna quota da destinarsi alla costituzione sementiera. Sebbene a prima vista impopolare, un provvedimento di questo genere, se ben gestito e calibrato, potrebbe aiutare l'innovazione varietale, con ricadute a tutto vantaggio degli agricoltori.

Dovrebbe crescere l'interazione pubblico-privato per la ricerca varietale, seguendo esempi positivi di interazione, così come dovrebbe crescere la presenza concreta dei diversi pezzi della filiera, incluso il settore sementiero, nelle organizzazioni interprofessionali, con investimenti significativi, ma anche con controllo e progettazione comune delle attività. In questo può essere essenziale il ruolo delle associazioni e dei Ministeri per trasformare le nostre imprese sementiere da competitori a collaboratori.

Infine, nella visione di utilizzo delle biotecnologie come mezzo per ridurre sensibilmente i tempi di ritorno dell'innovazione, si dovrebbero implementare le quattro piattaforme tecnologiche che sono alla base della selezione assistita moderna (fig. 5). A questo proposito il ruolo degli enti di ricerca pubblici è chiaramente importante per favorire più speditamente l'introduzione di tecnologie moderne nel pre-breeding e nel breeding.

In conclusione, è convenienza, da parte della singola azienda agricola, richiedere al settore sementiero nazionale nuove varietà disegnate per raggiungere un elevato standard qualitativo per rispondere alle esigenze delle filiere e dei consumatori e per assicurarsi competitività a livello locale, nazionale ed europeo: una situazione dinamica di richiesta e offerta di innovazione costituisce una delle vere opzioni strategiche per il futuro dei seminativi italiani.

RIASSUNTO

Non c'è futuro per i seminativi senza un sistema sementiero competitivo; assicurare innovazione varietale significa garantire innovazione di prodotto, e vantaggi all'ambiente, all'azienda, alla filiera e al consumatore. Maggiori possibilità tecnologiche sono oggi a disposizione del settore, in particolare le metodologie della selezione assistita o MAS (Marker-Assisted Selection). Il sistema sementiero deve superare i suoi punti deboli per sfruttare a pieno tali potenzialità. Tra gli altri, piccole dimensioni delle imprese, incompleta consegna alla azienda delle più recenti innovazioni varietali, insufficiente competitività nei confronti di varietà di importazione, attività di ricerca e di costituzione varietale insufficiente e poco coordinata, mancanza di finanziamento alla innovazione varietale da parte della granella aziendale, interazione pubblico-privato con ampi margini di miglioramento. Si propone quindi di stimolare la nascita di "club" o consorzi di imprese nel settore sementiero, che si facciano capifila dell'innovazione varietale nel Mediterraneo. Stimolo alla crescita di investimenti in ricerca da parte delle industrie sementiere, ma anche la nascita di un sistema di finanziamento alla ricerca varietale dal seme aziendale,

e crescita dell'interazione pubblico-privato, con lo sviluppo della Selezione Assistita o MAS.

ABSTRACT

No future for crops without a breeding and seed sector in good health. The continuous delivery of new cultivars for the main crops of a country is a guarantee for new products, for a higher sustainability of crops, together with advantages for the farm, the production chain and the consumer. The availability of MAS (Marker-Assisted Selection), together with the recent advancements in crop genomics are today a reality also for the seed sector. The particular Italian situation of the private seed companies is then evaluated, focusing on some weakness. In fact these, as the small dimension of the companies, the not sufficient public-private interaction, the limited resources dedicated to research and development, and also the absence of a financing system for the research in seed companies that derive from the farm seed. The authors propose some actions necessary to overcome a critical period and to raise the national seed sector. New deals, clubs and agreements between seed companies should be favoured, also economically; research and variety development encouraged mainly through the public-private interaction, and the increase of the impact of MAS projects on breeding.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro svolto nell'ambito del progetto "BORA", Regione Emilia-Romagna.

BIBLIOGRAFIA

- BARABASCHI D., CAMPANI L., FRANCA E., TOUBIA-RAHME H., VALÉ G.P., GIANINETTI A., DELOGU G., STANCA A. M., PECCHIONI N. (2007): *Haplotype structure around the nud locus in barley and its association with resistance to leaf stripe* (Pyrenophora graminea), «Plant Breeding», 126, pp. 24-29.
- DEN HERDER G., VAN ISTERDAEL G., BEECKMAN T., DE SMET I. (2010): *The roots of a new green revolution*, «Trends in Plant Science», 15 (11), pp. 600-607.
- FACCIOLI P., MORCIA C., TERZI V. (2009a): *From genome to phenome*, in *New Plant Physiology*, a cura di R.T. Devane, Nova Science Publishers, Inc., New York, USA, pp. 241-246.
- FACCIOLI P., STANCA A.M., MORCIA C., TERZI V. (2009b): *From dna sequence to plant phenotype: bioinformatics meets crop science*, «Current Bioinformatics», 4 (3), pp. 173-176.
- FEUILLET C., LEACH J., ROGERS J., SCHNABLE P., EVERSOLE K. (2010): *Crop genome sequencing: lessons and rationales*, «Trends in Plant Science», 832, pp. 1-12.
- GUERRA D., TONDELLI A., BISELLI C., STANCA A.M. (2009): *Analisi del genoma delle piante coltivate per l'adattamento all'ambiente culturale*, «I Georgofili. Quaderni», 2008/VI, pp. 129-148.

- HOLLOWEY B., LI B. (2010): *Expression QTLs: applications for crop improvement*, «Molecular breeding», 3, pp. 381-391.
- LAIÒ G., BARABASCHI D., TONDELLI A., GIANINETTI A., STANCA A.M., LI DESTRI NICOSIA O., DI FONZO N., FRANZIA E., PECCHIONI N. (2009): *QTL alleles from a winter feed type can improve malting quality in barley*, «Plant Breeding», 128, pp. 598-605.
- NARDI M. (2007): *Ruolo delle tecnologie avanzate nello sviluppo varietale*, Workshop CE-REALAB, Reggio Emilia, 31 maggio 2007.
- PECCHIONI N. (2007): *Obiettivi e traguardi dell'innovazione varietale*, «Terra e Vita [Speciale Grano Tenero]», 35, pp. 58-62.
- PECCHIONI N., TERZI V., FACCIOLO P., DELOGU G., CATTIVELLI L., VALÈ G., STANCA A.M. (2002): *Barley: from Hordeum spontaneum to the modern varieties*, in *Evolution and adaptation of cereal crops*, a cura di S. Prakash and V.L. Chopra, Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA, pp. 135-211.
- SABATINI E., BERETTA M., SALA T., ACCIARRI N., MILC J., PECCHIONI N. (2011): *Molecular Breeding*, in *Tomato*, a cura di J. Labate, Genomics of Fruit and Vegetable Crops Series, in 5 voll. (coordinated by C. Kole), Science Publishers Inc., Enfield, NH, USA, in press.
- SLAFER G.A., SATORRE E.H., ANDRADE F.H. (1994): *Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes*, in *Genetic Improvement of Field Crops*, a cura di Slafer, G.A., Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 95-181.
- STANCA A.M., ROMAGOSA I., TAKEDA K., LUNDBORG T., SATO K., TERZI V., CATTIVELLI L. (2003): *Diversity in abiotic stresses*, in *Diversity in barley (Hordeum vulgare)*, a cura di R. von Bothmer, T. van Hintum, H. Knupffer, K. Sato. Elsevier Publ., pp. 179-199.

ANGELO CALIANDRO*, PAOLO MANNINI**

Il ruolo dell'irrigazione nel futuro dei seminativi

I. INTRODUZIONE

La carenza idrica sta progressivamente diventando un problema sempre più grave su tutto il pianeta. La ristrettezza della risorsa idrica è ovviamente sentita in maniera molto diversa nei vari Paesi e assume caratteristiche drammatiche per molti di essi. Anche nei territori più provvisti d'acqua il problema comincia a manifestarsi sempre più frequentemente, sia per l'incremento della domanda d'acqua potabile, industriale e irrigua, sia per i problemi derivanti dalla sempre maggiore irregolarità delle piogge. Inoltre la qualità dell'acqua sta progressivamente peggiorando e spesso si assiste a ripercussioni negative dell'irrigazione sull'ambiente causate dall'eccessivo prelievo della risorsa e dall'accumulo dei sali in essa contenuti nei terreni irrigati.

Nelle regioni del nord Italia il problema della scarsità d'acqua è molto meno grave che nelle regioni meridionali e insulari, ma anche in questi ambienti esistono territori con risorse idriche limitate e gli eccessi di prelievo dai fiumi e dalla falda, determinano danni sull'ambiente.

Per ridurre la necessità di reperimento e accumulo di ulteriori risorse idriche, occorre giungere a una maggiore efficienza dell'uso dell'acqua, incentivare il riuso per trasformare quello che sarebbe un "rifiuto" spesso dannoso per l'ambiente, in una nuova risorsa, e quindi garantire le acque più pregiate agli usi potabili.

La filosofia "sull'utilizzo razionale dell'acqua" non indica però un criterio univoco con cui operare: alcuni riconducono il ragionamento a quello dei costi-benefici di stampo puramente economico, altri a un'estrema rigidità

* Già Professore ordinario di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee, Università di Bari

** Direttore ricerche agronomiche del Consorzio di bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo

d'ordine ambientale che non tiene conto delle esigenze di sviluppo economico del territorio; probabilmente, come al solito, il giusto comportamento sta a metà, deve cioè unire insieme le contrastanti esigenze in un non meglio definibile “uso sostenibile della risorsa idrica”.

Occorre quindi passare a un cambiamento della mentalità di tutti gli utilizzatori dell'acqua e in particolare di quelli irrigui, che dovranno adattarsi a un uso più etico, basato, appunto, su concetti di impiego sostenibile della risorsa idrica. Il cambiamento di mentalità sarà probabilmente lungo e complesso ma deve essere iniziato al più presto, con azioni mirate e incisive d'informazione, stimolo e coinvolgimento degli agricoltori che dovranno indirizzarsi all'applicazione di “regole di buona pratica irrigua”.

È però necessario che tutti comprendano che l'irrigazione rappresenta un indispensabile fattore produttivo, capace di incrementare le rese e la loro qualità, di ridurre i costi per unità di prodotto, di difendere l'agricoltore dall'incertezza delle piogge, di stabilizzare le rese tra le annate, di consentire l'introduzione di colture pregiate più redditizie e di maggior qualità.

2. CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DEL TERRITORIO

Il clima italiano presenta rilevanti differenze territoriali dovute alle marcate variabilità orografiche e di latitudine. La media delle temperature giornaliere del mese di gennaio varia tra 0-3 gradi in Pianura Padana, sino ai 6-8 gradi degli ambienti coltivati costieri meridionali e insulari. Il mese più caldo è generalmente luglio, con temperature medie comprese tra i 21-24 gradi dei territori padani e i 24-27 gradi di quelli meridionali.

La differenza delle temperature tra le varie zone climatiche italiane si ripercuote direttamente sull'evapotraspirazione di riferimento (ET₀), indice climatico che indica la domanda evapotraspirativa dell'ambiente, e quindi il consumo idrico potenziale delle colture. Nelle regioni nord italiane l'ET₀, calcolata secondo Hargreaves, giunge a valori di 896 mm/anno, contro i 968 mm/anno delle regioni centrali e 1088-1118 di quelle meridionali e insulari, evidenziando una differenza di oltre 200 mm annui di consumo potenziale tra gli ambienti di coltivazione settentrionali e quelli meridionali. Il minimo consumo annuo è registrato in Trentino con poco più di 700 mm, mentre il massimo in Puglia nella quale l'ET₀ arriva a quasi 1200 mm/anno.

Il picco dell'evapotraspirazione avviene normalmente nella terza decade di luglio, quando l'ET₀ giunge a 5,3 mm/giorno al nord, a 5,9 al centro e sino a 6,4-6,5 al centro e nelle isole.

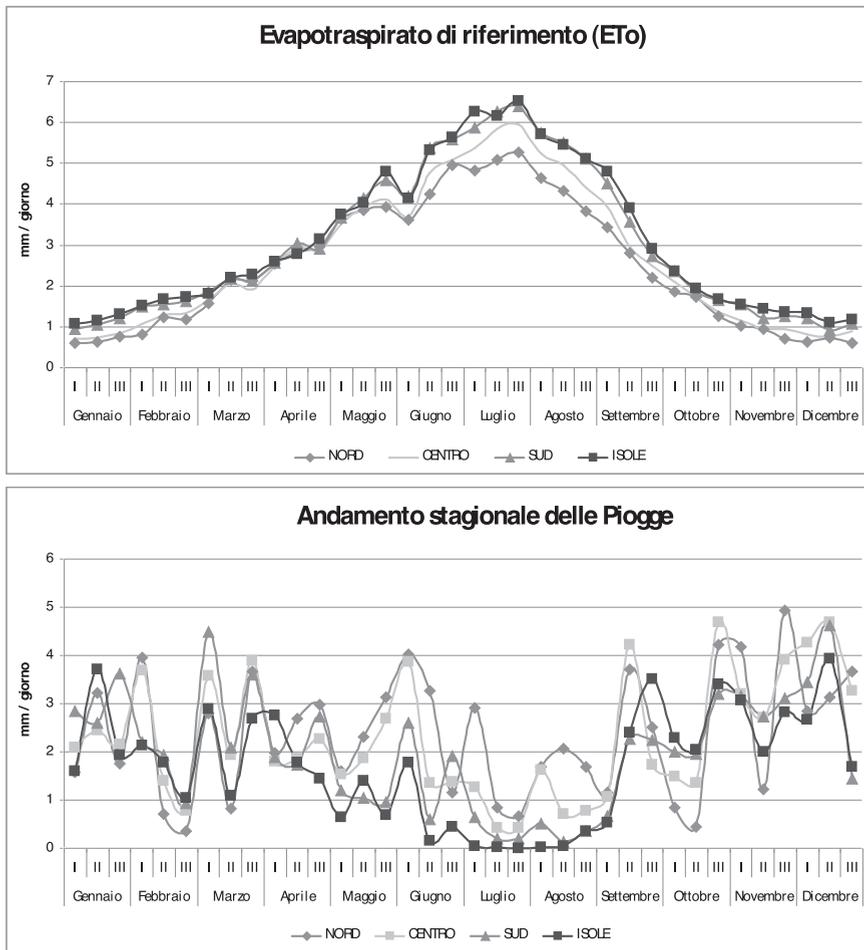


Fig. 1 *Andamento degli evapotraspirati di riferimento e delle piogge in quattro ambienti italiani*

Anche la piovosità compensa i consumi con una forte variabilità dei diversi ambienti della penisola.

Nelle regioni del centro-nord la media delle precipitazioni degli ultimi anni è stata compresa tra gli 820-850 mm/anno, contro i 718 di quelle meridionali e i 608 mm/anno di quelle insulari. Il massimo di precipitazione media al nord è avvenuto in Friuli (1190 mm/anno), mentre il minimo si registra negli ambienti di coltivazione della pianura emiliano-romagnola ove è inferiore ai 650 mm/anno; valore simile a quello della Basilicata, Calabria e Sicilia (circa 675 mm/anno), e superiori a quello della Puglia (560 mm) e

della Sardegna (521 mm). Tranne che al nord che risente, in gran parte delle regioni, di un clima di tipo continentale, nel resto della penisola la distribuzione delle piogge è di tipo mediterraneo, con un massimo di precipitazioni nel periodo autunnale e invernale e una scarsità di piogge in quello primaverile e soprattutto estivo. La pluviometria è pressoché inversamente correlata con gli evapotraspirati di riferimento, infatti, al ridursi delle piogge si assiste a un innalzamento delle temperature che determinano la crescita degli evapotraspirati. In tutti gli ambienti italiani, le piogge sono inferiori agli evapotraspirati a partire dalla prima decade di aprile e sino a tutta la prima decade di ottobre. All'interno di tali periodi però, l'ampiezza del deficit idroclimatico ha una differente severità nelle macroaree nazionali. Al nord la differenza tra evaporati e piogge nel periodo è di circa 296 mm, al centro di 442 mm, mentre al sud e nelle isole il deficit idroclimatico giunge sino a valori di 602 e 653 mm rispettivamente; segnalando esigenze irrigue standard praticamente doppie rispetto a quelle del nord.

3. SUPERFICI A SEMINATIVO E COLTURE IRRIGATE

I dati ISTAT del 5° Censimento generale dell'agricoltura 2000 evidenziano che la superficie agricola utilizzata nel 2000 è stata di 13.212.652 ettari complessivi, dei quali 7.340.221 di seminativi, 2.457.994 ettari di colture legnose agrarie e 3.441.437 di prati e pascoli permanenti. I seminativi occupano quindi oltre il 55% della superficie coltivata italiana.

Su una superficie complessivamente irrigabile¹ di 3.887.387 ettari ne sono stati effettivamente irrigati 2.467.763, con un rapporto tra superficie irrigata e irrigabile (parzializzazione irrigua) pari al 63%. Le regioni con la più elevata parzializzazione sono quelle del nord-Italia (Piemonte 79%, Valle d'Aosta 90%, Lombardia 79%, Liguria 64%, Trentino-Alto Adige 94%, Veneto 61% e Friuli-Venezia Giulia 69%), indice di territori dotati d'acqua disponibile in discreta quantità e a costi contenuti. Al Sud e nelle isole la situazione è abbastanza diversa, infatti, i valori scendono di alcuni punti percentuali rimanendo comunque sopra il 50% (Molise 57%, Campania 69%, Puglia 64%, Basilicata 52%, Calabria 57%, Sicilia 77%). La minore parzializzazione deriva dalle limitate risorse idriche di-

¹ Per l'ISTAT si intende irrigabile quella superficie coperta da impianti irrigui aziendali disponibili, dunque a prescindere dalla disponibilità d'acqua e dalla presenza di impianti consortili presenti sul territorio.

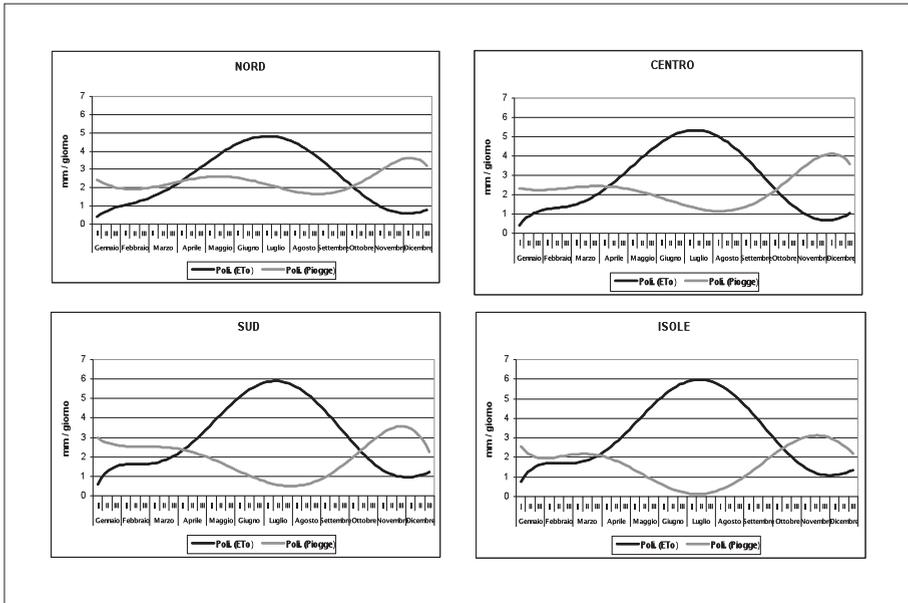


Fig. 2 Ampiezza del deficit idroclimatico – area tra linea delle piogge e degli evapotraspirati – in quattro ambienti italiani

sponibili, dalla maggiore presenza di colture seccagne negli ordinamenti colturali, e anche dalla necessità di dover evitare successioni strette di colture irrigue; per consentire un adeguato dilavamento dei sali da parte delle piogge nei frequenti casi d'irrigazione con acque salmastre. Nell'Italia centrale la situazione pare problematica, i valori scendono sotto il 50%: Toscana 42%, Umbria 48%, Marche 51%, Lazio 49%, Sardegna 38%; anche l'Emilia-Romagna, con il 45% del rapporto tra superficie irrigata e irrigabile appare una regione nella quale le potenzialità irrigue non sono pienamente sfruttate.

Esaminando i dati dei principali seminativi irrigui (riso escluso), si evidenzia che la parzializzazione specifica dei seminativi (superficie irrigata della coltura sulla superficie complessiva della stessa) arriva ad appena il 24% (tab. 1).

Le ortive sono irrigate sul 70% della superficie, quindi su oltre 217.000 ettari, mentre altri 95.000 ettari sono coltivati senza ricorso all'irrigazione. Le ortive risultano irrigate tra il 60 e l'80% delle loro superfici in tutte le regioni orticole italiane.

Il **mais** è il seminativo di maggiore superficie complessiva (1.068.525 ha) ed è irrigato sul 58% della stessa, quindi oltre 620.000 ettari sono irrigati e

SEMINATIVO	SUPERFICIE TOTALE	SUPERFICIE IRRIGATA	SUPERFICIE ASCIUTTA	PARZIALIZZAZIONE SPECIFICA (%)
Mais da granella	1.068.525	621.846	446.679	58%
Foraggere avvicendate	1.528.117	267.293	1.260.824	17%
Ortive	311.897	217.175	94.723	70%
Frumento	2.232.988	99.534	2.133.455	4%
Barbabietola	224.333	81.095	143.238	36%
Soia	226.710	78.128	148.583	34%
Girasole	210.999	14.220	196.779	7%
MEDIA	5.803.570	1.379.290	4.424.280	24%

Tab. 1 *Superficie totale, irrigata, asciutta e relativa parzializzazione dei principali seminativi irrigui (ettari)*

su quasi altri 450.000 non viene fatto ricorso alla pratica irrigua. Le maggiori superfici irrigate sono presenti nei territori italiani nord-occidentali, e in particolare in Piemonte e Lombardia dove la parzializzazione risulta del 67% e dell' 87%, e in quelli nord-orientali cioè in Veneto ed Emilia-Romagna, dove viene irrigato il 39% e il 46% della superficie complessiva. Anche nelle altre regioni italiane, ove il mais è presente su aree più modeste, la superficie irrigata si attesta tra il 40-50%, con punte del 66% nel Lazio.

Sulle **foraggere avvicendate**, tra le quali la medica è la coltura principale, l'irrigazione è praticata mediamente su circa 267.000 ettari corrispondenti a solo 17% della superficie complessiva di oltre 1.528.000 ettari. Ben oltre 1.260.000 ettari sono quindi privi di apporti irrigui. Anche per tale comparto le Regioni del Nord-ovest fanno registrare la maggiore parzializzazione irrigua, con valori del 47%, 51% e 60% per Piemonte, Valle d'Aosta e Lombardia. La frazione irrigata scende tra il 16% e il 36% in Friuli, Campania, Trentino e Veneto, per poi mostrare valori sempre inferiori al 20% nelle altre regioni italiane, con minimi di poche unità percentuali in Sicilia, Puglia e Molise.

La **bietola** da zucchero, che alla data del censimento ISTAT del 2000 aveva una consistenza di 224.333 ettari, era irrigata sul 36% della superficie, quindi su 81.095 ettari contro oltre 143.000 seccagni. Oltre la metà della superficie bieticola irrigata si trova al nord, e in particolare in Veneto ed Emilia-Romagna, che avendo una mediocre parzializzazione irrigua (25-30%) riescono da sole ad abbassare quella nazionale. La soia risulta irrigata su 78.128 ha, quindi su solo 1/3 della superficie complessiva, e praticamente solo al nord. Il girasole, dotato di radici profonde ed efficienti e aridoresistente è stato irrigato nell'anno 2000 su solo il 7% della sua superficie investita (14.220 ha) in larga parte nell'Italia centrale. Il frumento, che è la coltura con maggiore superficie col-

tivata in Italia (2.233.000 ettari) sarebbe stato irrigato nel 2000 sul 4% della propria superficie (99.500 ettari) e per oltre il 50% al sud.

In sintesi, anche i seminativi caratterizzati dalla migliore risposta produttiva all'acqua risultano frequentemente non irrigati, infatti, la parzializzazione irrigua delle ortive è del 70%, quella del mais del 58%, la bietola risulta irrigata su circa il 36% della superficie, la soia per il 34%. Il girasole, è stato irrigato nell'anno 2000 su solo il 7% della sua superficie investita, mentre il frumento risulta irrigato su circa il 4% della sua estensione. Tale particolare situazione irrigua evidenzia che alcune colture, pur molto reattive all'irrigazione, non sono irrigate negli ambienti ove l'acqua è disponibile in quantità limitata, costringendo gli agricoltori a irrigare solamente le colture sulle quali le poche dotazioni idriche a disposizione massimizzano il reddito aziendale.

Esaminando la situazione dei seminativi nelle quattro macroaree italiane risulta evidente che al nord prevale l'irrigazione sul mais e le foraggere, mentre al sud e nelle isole i seminativi maggiormente irrigati sono rappresentati dalle ortive (tab. 2).

4. ESIGENZE IDRICHE E IRRIGUE

4.1 *Esigenze idriche*

Il consumo d'acqua dei seminativi, dipende fortemente dalla domanda evapotraspirativa dell'ambiente in cui è coltivato (E_{To}) e anche dal coefficiente colturale (K_c) tipico di ogni specie e sua fenofase del ciclo biologico, in dipendenza del LAI (Leaf Area Index), della copertura vegetale del terreno e delle caratteristiche fisiologiche della pianta. Applicando agli evapotraspirati di riferimento i più probabili coefficienti colturali è possibile stimare l'evapotraspirato massimo della coltura (E_{Tc}) tramite la nota equazione $E_{Tc} = E_{To} * K_c$.

Per giungere alla stima delle esigenze idriche sono stati impiegati gli E_{To} decadici delle quattro macroaree descritte, e i coefficienti colturali di alcuni seminativi rappresentativi di alcune sarchiate primaverili-estive (bietola, soia, mais, girasole), di alcune ortive da pieno campo e industriali (cipolla, patata, cocomero, melone, fagiolino, pomodoro da industria), e di una foraggera poliennale come la medica. Il risultato della stima mostra consumi idrici molto diversificati tra nord e sud su tutti i seminativi presi in considerazione, e assumono valori visibilmente molto dipendenti dalla lunghezza del loro ciclo colturale (fig. 3). La stima porta, ad esempio, a evidenziare un consumo idri-

	ETTARI IRRIGATI DEI PRINCIPALI SEMINATIVI									
	BIETOLA	FORAGGERE	FRUMENTO	GIRASOLE	MAIS	ORTIVE	PATATA	SOIA	TOTALE	
Nord	46.713	187.734	24.059	3.273	569.794	64.253	7.829	77.803	981.457	
Centro	19.263	28.116	12.054	8.813	39.370	33.014	4.404	274	145.309	
Sud	11.906	26.893	50.201	1.638	11.718	66.005	11.065	49	179.475	
Isole	3.214	24.550	13.220	496	963	27.542	3.063	1	73.049	
Italia	81.095	267.293	99.534	14.220	621.846	190.814	26.361	78.128	1.379.290	

Tab. 2 Ripartizione per macroaree delle superfici irrigate dei principali seminativi irrigui (ettari)

	CONSUMI IDRICI POTENZIALI ETc (mm)										
	Bietola	Soia	Mais	Cipolla	Girasole	Patata	Cocomero	Melone	Fagiolino	Pomodoro	Medica
Nord	443	401	444	411	401	344	299	315	249	524	457
Centro	474	438	478	433	432	359	328	348	278	569	493
Sud	516	476	518	471	471	391	359	380	304	619	540
Isole	522	481	524	477	476	399	365	385	306	626	548

Tab. 3 Stima dei consumi idrici potenziali di alcuni seminativi nelle macroaree italiane

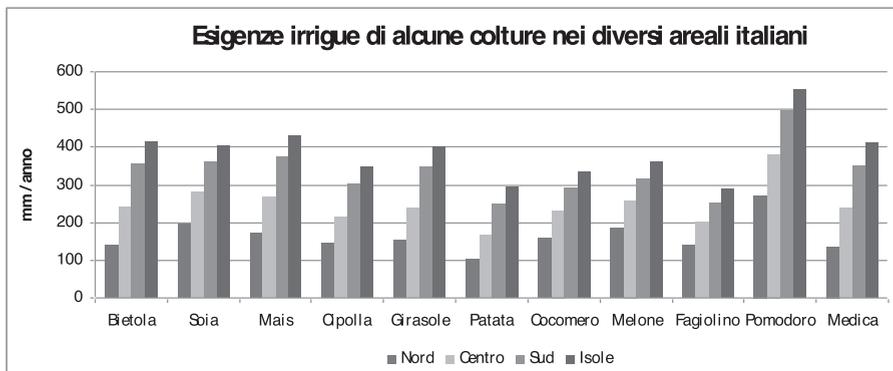


Fig. 3 *Esigenze irrigue di alcuni seminativi nelle macroaree italiane*

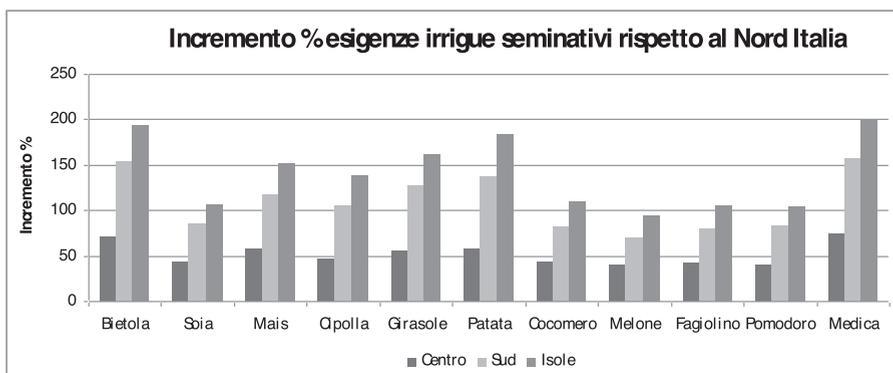


Fig. 4 *Incremento percentuale delle necessità irrigue delle aree centro meridionali rispetto al nord-Italia*

co della bietola da zucchero a ciclo primaverile-estivo variabile tra i 443 mm al nord e i 520 mm al sud, valori variabili tra i 344 e i 399 mm/anno per la patata che, in virtù del breve ciclo colturale (come anche il fagiolino, calcolato per un solo ciclo), assume valori meno distinti tra gli ambienti italiani rispetto alle colture a ciclo lungo, come il pomodoro da industria (tab. 3).

4.2 *Esigenze irrigue*

Le esigenze irrigue massime dei seminativi nei vari ambienti sono state stimate sottraendo all'evapotraspirazione massima delle colture ET_c , cioè al fabbisogno idrico complessivo, le piogge cadute nel loro ciclo colturale. Tale

calcolo porta a stimare il fabbisogno stagionale d'irrigazione in valori relativamente modesti al nord; con volumi d'acqua irrigua variabili tra i 100 e i 150 mm per la patata il fagiolino la cipolla la bietola e la medica; tra i 150 e i 200 mm per il mais la soia il cocomero e il melone, e sino a valori di 270 mm per il pomodoro da industria.

I medesimi gruppi di seminativi coltivati negli ambienti insulari molto meno piovosi, evidenziano esigenze irrigue potenziali molto maggiori, con valori anche doppi o tripli per talune colture (fig. 3). Il maggiore consumo idrico, associato alle ridotte precipitazioni del sud e delle isole, porta a valutare ad esempio per la bietola esigenze di 356-413 mm contro i 143 mm del nord, per il mais volumi irrigui di 373-432 mm contro i 171 mm del nord, sino al massimo divario evidenziato dal pomodoro da industria con esigenze idriche di 500-550 mm contro i 120 mm degli areali di coltivazione settentrionali (fig. 4).

Tali dati evidenziano con precisione la necessità del maggior ricorso irriguo sui seminativi delle regioni meridionali che, invece, sono purtroppo meno dotate di risorse idriche e caratterizzate da minori superfici irrigabili.

5. VALUTAZIONE DEI VOLUMI IRRIGUI DESTINATI ALL'IRRIGAZIONE DELLE PRINCIPALI COLTURE ERBACEE

I consumi idrici italiani dei tre comparti idroesigenti, civile, industriale e agricolo, mettono in evidenza che in un'annata arida l'irrigazione impiega circa il 50% dell'acqua complessivamente prelevata dalle fonti idriche (IRSA-CNR 1999), cioè circa 20.100 milioni di metri cubi (Mm³).

Tale volume riguarda la somma dei quantitativi d'acqua effettivamente giunti alla pianta, delle perdite per ruscellamento e percolazione oltre la profondità radicale, delle perdite di applicazione del metodo e sistema irriguo impiegato, e infine delle perdite di trasporto tra la fonte idrica e il sistema irriguo aziendale. Nella grande media delle situazioni si pensa che l'efficienza complessiva non raggiunga quasi mai il 35-50%.

Una valutazione dei volumi irrigui netti necessari, cioè dei consumi irrigui massimi dei seminativi al netto delle perdite è stata eseguita applicando alle superfici dei seminativi le esigenze irrigue potenziali calcolate per gli stessi nelle differenti macroaree indagate. Il risultato giunge a stimare come necessario un volume netto di 2.739 Mm³ che risulta pari a circa il 13,6% dell'intero comparto agricolo. In realtà, applicando l'efficienza descritta, i

AREA	VOLUMI IDRICI NETTI IMPIEGATI SUI PRINCIPALI SEMINATIVI IRRIGATI (Mm ³)						
	BIETOLA	SOIA	MAIS	FORAGGERE	GIRASOLE	ORTIVE	TOTALE
Nord	66	152	976	256	5	164	1619
Centro	46	1	106	67	21	119	360
Sud	42	0	44	95	6	313	500
Isole	13	0	4	101	2	140	260
Italia	168	153	1129	519	34	737	2739

Tab. 4 *Stima dei volumi idrici impiegati sui principali seminativi in Italia*

principali seminativi tenuti in considerazione determinerebbero un prelievo idrico dalle fonti stimabile in circa 5.500-7.800 Mm³, quindi attorno al 27-39% dell'intero volume d'acqua annualmente impiegato in agricoltura in Italia.

Le maggiori necessità idriche risultano a carico delle vaste superfici irrigate nel nord-Italia, e questo nonostante le minori esigenze unitarie di tali ambienti di coltivazione. Il volume netto impiegato al nord è stimato in circa 1.619 Mm³, per la maggior parte necessario per il mais, le foraggere e le ortive. I consumi del centro sono valutati in 360 Mm³ per circa 1/3 relativo all'irrigazione delle ortive. Al sud le necessità irrigue nette sono state stimate in 500 Mm³ dei quali oltre 300 (63%) necessari alle ortive. Per le Isole la valutazione delle necessità nette giunge a 260 Mm³ per oltre il 50% impiegati per l'irrigazione delle ortive.

I rilevantissimi volumi d'acqua necessari per l'irrigazione dei seminativi, accompagnati dall'incremento dei costi per l'irrigazione e dalla crescente scarsità e qualità della risorsa, mettono in luce la necessità di introdurre forti innovazioni agronomiche, tecnologiche e gestionali connesse all'irrigazione, capaci, nel loro complesso, di consentire l'indispensabile prosecuzione della pratica irrigua sui seminativi italiani.

6. I METODI IRRIGUI ADOTTATI SUI SEMINATIVI

L'indagine Istat del 2000 ha evidenziato che il metodo irriguo più utilizzato in Italia è quello ad aspersione con 1.047.680 ettari, seguito dallo scorrimento e infiltrazione laterale (850.480 ha) e da quello a goccia (290.700 ha) che, assieme alla microirrigazione (75.318 ha), raggiunge una superficie di notevole importanza (366.018 ha), portando l'Italia tra i Paesi nel quale questo metodo irriguo tecnologicamente avanzato, e potenzialmente capace d'alta efficienza irrigua, è maggiormente impiegato (fig. 5).

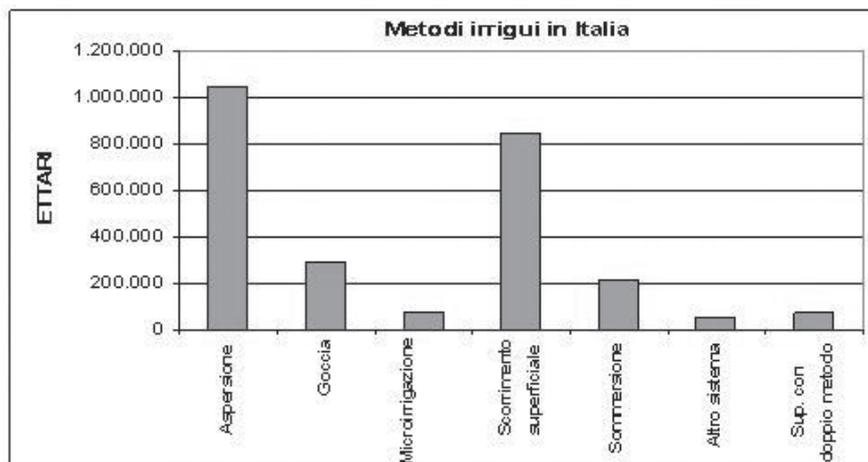


Fig. 5 Superfici irrigate con i vari metodi in Italia (Istat 2000)

Passando a un'analisi un po' più accurata si può notare come l'irrigazione, in Italia, trova diversa forma d'applicazione secondo la zona geografica; in particolare si distingue: lo scorrimento nel Nord-Ovest compresa l'Emilia occidentale; l'aspersione nel Nord-Est e nella fascia adriatica che va dall'Emilia Romagna fino al Molise, oltre alla Sardegna.

Il metodo per aspersione abbisogna di discrete portate continue e si adatta bene all'irrigazioni delle grandi colture di pieno campo (mais, medica, prati polifiti, bietola da zucchero, ecc.), ed è infatti maggiormente impiegato in Emilia-Romagna (162.500 ettari), Veneto (157.500 ettari) e in Lombardia (138.500 ettari) ove sono principalmente presenti tali colture.

Lo scorrimento superficiale e l'infiltrazione laterale da solchi sono metodi gravitazionali di bassa efficienza irrigua, per i quali occorrono grandi volumi e portate d'acqua disponibili, una fitta rete d'adduzione alle aziende agricole e superfici ben livellate e sistemate. Anche questi metodi si adattano alle grandi colture e in particolare alle marcite lombarde, ai prati stabili della zona del parmigiano reggiano, al mais, ecc. La Lombardia con oltre 343.000 ettari è la regione con maggiore superficie a scorrimento superficiale, seguita dal Piemonte (211.500 ettari), dal Veneto (86.000 ettari) e dall'Emilia-Romagna (45.000 ettari); in Campania (39.200 ettari) il metodo per infiltrazione è molto adottato sulle ortive in terreni sistemati per l'infiltrazione da solchi corti, sui quali la perizia degli operatori consente un'efficienza superiore a quella da solchi lunghi utilizzati nel nord-Italia Il metodo a goccia e quelli simili di microirrigazione sono principalmente diffusi nel meridione: in Puglia con oltre 143.000 ettari e in Sicilia con quasi 62.000 ettari, e al nord in Emilia-

Romagna (prevalentemente in Romagna) con quasi 38.000 ettari. Le tre aree sono accomunate dalla presenza di ampie superfici a frutteto e ortive e da severe o gravi limitazioni di disponibilità d'acqua che hanno spinto gli agricoltori ad adottare metodi d'elevata efficienza irrigua proprio sulle colture sulle quali la goccia trova un ottimale adattamento, appunto come sulle ortofrutticole. La sommersione è il metodo impiegato a quasi esclusivo favore delle risaie, il Piemonte con oltre 111.000 ettari e la Lombardia con 89.500 ettari sono quindi le due regioni con preponderante superficie a sommersione. Il Veneto, l'Emilia-Romagna e la Sardegna risultano le altre tre zone di produzione risicola con circa 15.000 ettari complessivi coperti da tale metodo.

7. TREND DELL'IRRIGAZIONE E DEI METODI IRRIGUI

Per quanto attiene ai metodi irrigui impiegati l'ISTAT non fornisce il trend delle superfici nel tempo ma quello del numero di aziende che hanno adottato i vari metodi. Dall'analisi dei dati risulta però ben evidente come tutti i metodi irrigui, a eccezione della goccia, abbiano subito una contrazione, che per la sommersione è risultata vistosissima (da 48.000 aziende a circa 7500 dal 1990 al 2000). Il dato seppure influenzato dal processo di allargamento delle superfici aziendali per assorbimento di alcune aziende in altre, evidenzia la difficoltà crescente di poter ricorrere all'irrigazione in conseguenza della sempre crescente carenza idrica che caratterizza ormai l'intero territorio nazionale.

I dati mettono però anche in rilievo che gli agricoltori, per effetto delle sempre più pressanti esigenze di risparmio idrico e della limitata disponibilità d'acqua in gran parte delle pianure italiane, stanno via via abbandonando i metodi irrigui di peggiore efficienza di distribuzione a favore di quelli che, come la goccia, consentono irrigazioni di più basso volume stagionale irriguo.

È anche visibile una netta propensione a privilegiare l'uso dell'acqua sulle colture a più alta redditività dell'irrigazione abbandonando o limitando, viceversa, l'irrigazione delle colture caratterizzate da più bassa remuneratività dell'intervento irriguo.

La tendenza sembra anticipare ciò che molti economisti agrari stanno recentemente ipotizzando come conseguenza delle direttive europee sull'uso delle risorse idriche, che costringeranno a una corretta valutazione dei costi dell'acqua come più forte e veloce strumento per riequilibrare il rapporto tra disponibilità della risorsa e il suo impiego.

8. LA SCELTA DEL METODO E DEL SISTEMA IRRIGUO SUI SEMINATIVI

Il notevolissimo volume d'acqua impiegato in irrigazione focalizza l'esigenza di guardare oggi con maggiore attenzione alla razionalità del suo impiego. La scelta di tecnologie irrigue efficienti può contribuire notevolmente a un uso corretto e parsimonioso della risorsa idrica; infatti la sostituzione dei metodi scarsamente efficienti con quelli dotati di maggiori possibilità di ridurre gli sprechi è considerato da tutti uno degli elementi principali capaci di ridurre i prelievi non produttivi d'acqua.

La scelta del metodo e del sistema irriguo è un importante aspetto di tutta la problematica irrigua. Da essa dipende, molto spesso, la convenienza economica dell'irrigazione. Esistono, infatti, metodi idonei al solo umettamento del terreno, altri che si prestano per la fertirrigazione, altri ancora che possono servire per il dilavamento dei sali in eccesso o alla regolazione termica o alla lotta antiparassitaria.

I vari metodi differiscono inoltre per quanto riguarda l'impiego di acqua, di energia, di manodopera, di capitali, per la possibilità di automazione, per l'adattabilità a certi tipi di terreno e non ad altri, per la possibilità che offrono di soddisfare o meno le esigenze specifiche di determinate colture. La scelta del miglior metodo irriguo da adottare deve essere fatta, quindi, tenendo in considerazione numerosi fattori: agronomici, climatici, di qualità dell'acqua e del suo tipo di approvvigionamento. In caso di eguaglianza dei vantaggi e degli svantaggi indotti tra il confronto tra le varie tipologie, la scelta è solitamente effettuata su base esclusivamente economica.

Nella fase attuale alcune tendenze sono ben visibili nella scelta dei metodi e sistemi irrigui. La sommersione è strettamente legata alla risaia, ormai presente nei territori largamente dotati d'acqua, e nei quali rappresenta un elemento essenziale del paesaggio ed essenziale per l'alimentazione e l'equilibrio delle falde; le variazioni delle superfici dipendono fortemente dall'andamento del prezzo del riso più che da altre considerazioni.

Lo scorrimento superficiale da solchi sta subendo una leggera contrazione a favore dell'aspersione e, in taluni rari casi è sostituito dalla goccia con ali gocciolanti integrali meccanizzate. Il passaggio verso l'aspersione sul mais e le foraggere avvicendate è agronomicamente semplice, ma determina un deciso incremento dei consumi energetici per la messa in pressione e, generalmente, della manodopera necessaria. Il maggior consumo energetico contrasta con le esigenze di limitazione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

L'irrigazione per aspersione è l'irrigazione di maggior uso sui seminativi

estensivi, comprese le ortive da industria. Il metodo è ormai quasi completamente applicato mediante delle grandi macchine irrigue, quasi sempre semoventi ad ala avvolgibile, dotati di irrigatore a turbina, o di barra irrigatrice con spruzzatori sui seminativi di taglia più bassa e più sensibili all'impatto delle gocce con la vegetazione (patate, pomodori da industria, cipolle). Queste macchine sono state recentemente innovate, e dotata di centraline elettroniche capaci di regolarne con facilità la velocità di arretramento, per ottenere precise altezze di adacquamento sulle colture. Il consumo energetico, la necessità di discrete portate disponibili e la sensibilità al vento, rappresentano i maggiori inconvenienti per il loro impiego. Sotto il profilo dell'efficienza d'adacquamento e della omogeneità di distribuzione fanno invece registrare elevate efficienze di applicazione (80% se dotati di irrigatore e 94% se con barra adacquatrice) e buone prestazioni se razionalmente impiegati (Mannini et al., 2005).

Negli ultimi anni si è poi fortemente affermato un sistema irriguo che riunisce vantaggi dell'aspersione e della microirrigazione. La microaspersione o microirrigazione mediante mini irrigatori dinamici. Il sistema impiega materiali plastici e diametri delle tubazioni tipici della microirrigazione, ma bagna la coltura sovrachiuma senza localizzazione. Il sistema sta sostituendo, su molte ortive da consumo fresco e industriali, sia l'irrigazione per aspersione sia quella a goccia. Rispetto alla prima risulta di minor consumo energetico, meno sensibile al vento, più facile da montare in campo, più economica e semplice da gestire specie per irrigazioni frequenti e di basso volume, supera gli inconvenienti dell'eccessiva localizzazione e permette la climatizzazione della vegetazione.

La microirrigazione a goccia è un metodo che trova il suo principale campo d'applicazione sulle ortive e in frutticoltura. Il sistema a goccia ha visto un forte impulso nel suo impiego con l'avvento delle ali gocciolanti integrali poliennali o "usa e getta", caratterizzate da erogatori interni al tubo e dalla possibilità di meccanizzazione e interrimento per l'effettuazione dell'irrigazione a goccia interrata. Il pomodoro da industria è la coltura ortiva dove ha trovato il maggior impiego; infatti, l'ampia distanza tra le file della coltura meccanizzata, attorno a 1,5-1,6 metri, limita i quantitativi di ala gocciolante necessaria, rendendone economica l'applicazione. Negli ambienti di coltivazione emiliani coesistono ancora ampie superfici di pomodoro irrigate mediante macchine irrigue semoventi ad ala avvolgibile (rotoloni), che hanno fatto verificare ottime produzioni e la medesima efficienza d'uso dell'acqua dell'irrigazione a goccia (Mannini et al., 2005).

Sugli altri seminativi a file più ravvicinate l'irrigazione a goccia sta am-

pliando il suo impiego solo su quelle di elevato reddito, e ancor più sulle ortive e i terreni ove la fertirrigazione è assolutamente strategica per le migliori produzioni. Solo in questi casi pare che il costo attuale dell'irrigazione a goccia sia economicamente sopportabile.

Alcuni tentativi di coltivazione con ali gocciolanti sono in corso su patata e su mais con discreti esiti produttivi ma con dubbi risultati economici e gestionali.

9. POSSIBILITÀ DI RIDURRE I FABBISOGNI IRRIGUI

9.1 *Strategie per ridurre i consumi idrici*

Considerando che la quantità di acqua destinata all'agricoltura per l'irrigazione si aggira intorno al 60% di quella utilizzata dall'uomo e l'efficienza d'uso di quest'ultima in media è intorno al 50%, e in alcuni casi anche meno, ci si chiede se esistono possibilità o strategie utili per ridurre i consumi di acqua in agricoltura senza ridurre le superfici irrigate e contenere le produzioni, la risposta è positiva e qui di seguito si accennerà ad alcune di esse.

Una prima strategia deriva dalla considerazione che della quantità di acqua prelevata alle fonti e distribuita nei campi durante la stagione irrigua, in media circa il 50% non è utilizzata dalle colture per i propri fabbisogni idrici, quindi l'efficienza d'uso totale dell'acqua utilizzata in agricoltura è bassa. Tale efficienza può essere aumentata elevando il valore delle sue singole componenti, che secondo Hsiao (2005) sono: efficienza relativa al trasporto interaziendale e intraziendale; alla distribuzione dei metodi irrigui; all'evapotraspirazione, alla traspirazione, all'assimilazione, alla produzione di biomassa, e relativa alla produzione commerciabile. L'efficienza d'uso totale dell'acqua, infatti, è data dal prodotto delle singole efficienze parziali, pertanto elevando uno o più di queste ultime si eleva l'efficienza totale, di entità tanto più elevata quanto maggiore è il numero delle efficienze parziali su cui si agisce. In definitiva, quindi, per elevare in modo significativo l'efficienza d'uso totale dell'acqua occorre puntare su un insieme di strategie integrate tra loro.

Il valore dell'efficienza d'uso totale dell'acqua può essere influenzato: da aspetti ingegneristici (caratteristiche delle reti irrigue, tipo di consegna dell'acqua, metodo irriguo adottato, monitoraggio dei volumi di acqua applicati alle colture); dal tipo di tariffazione dell'acqua (per ettaro coltura o volumetrica); da aspetti agronomici (adeguatezza delle variabili irrigue, concimazione, sistemi colturali, etc.); dalle caratteristiche delle colture (risposta produttiva delle colture all'irrigazione).

9.1.1 Aspetti ingegneristici

Relativamente agli aspetti ingegneristici, le caratteristiche delle reti irrigue inter e intraziendali possono riguardare sia aspetti costruttivi sia l'adeguatezza delle loro dimensioni agli effettivi fabbisogni irrigui delle colture effettivamente presenti sul territorio. Le caratteristiche costruttive possono influenzare direttamente l'efficienza relativa al trasporto: le perdite di acqua lungo il percorso, infatti, sono minime con trasporto in condotte tubate, maggiori con trasporto in canali rivestiti e molto più elevate con trasporto in canali non rivestiti, con conseguenti perdite di acqua oltre che per evaporazione anche per infiltrazione. Tuttavia, queste ultime perdite di acqua non sempre sono da considerarsi negative in quanto potrebbero risultare utili per rimpinguare le falde utilizzate più a valle anche a scopo irriguo.

Le dimensioni delle reti irrigue insufficienti a soddisfare i reali fabbisogni delle colture presenti sul territorio, spesso diverse da quelle considerate in fase di progettazione, sebbene non influenzino direttamente l'efficienza relativa al trasporto possono ridurre l'efficienza produttiva in quanto non permetterebbero di applicare i volumi di acqua di massima convenienza economica. Inoltre, le reti irrigue progettate per adottare il tipo di consegna "alla domanda", a causa delle variazioni delle colture nel tempo, potrebbero risultare non più idonee per soddisfare le esigenze idriche delle colture attuali, obbligando l'adozione della consegna turnata. In questo caso l'intervallo di consegna non sempre coincide con il turno irriguo più appropriato per il tipo di terreno da irrigare, per le esigenze delle colture praticate e per il metodo irriguo adottato, con possibilità che le colture vadano incontro a fenomeni di stress idrici e quindi che si verifichino riduzioni dell'efficienza relativa alla produzione. Inoltre, il tipo di consegna turnata non permette di adottare metodi irrigui localizzati a bassa pressione, che consentono di realizzare elevate efficienze distributive dell'acqua, a meno che non si faccia ricorso a piccoli invasi aziendali in cui accumulare acqua a ogni turno di consegna, con aggravio dei costi e perdita di acqua per evaporazione. La forma di consegna turnata, inoltre, spinge gli agricoltori a consumare l'intero volume di acqua che ha diritto di utilizzare a ogni turno, volume che spesso è superiore a quello di adacquamento effettivamente occorrente nelle diverse situazioni pedologiche e colturali, con conseguente abbassamento dell'efficienza distributiva dell'acqua per perdite per percolazione profonda.

Per quanto concerne l'adeguatezza delle reti irrigue potrebbe risultare utile valutare la convenienza economica nel loro miglioramento in funzione dell'incremento di reddito derivante dall'aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua.

Nell'ambito delle diverse efficienze quella migliorabile a costo relativamente basso è l'efficienza distributiva dell'acqua alla parcella che varia, anche di molto, tra i metodi irrigui e nell'ambito di ciascuno di essi.

È noto, infatti, che passando dai metodi irrigui gravimetrici (infiltrazione laterale da solchi, scorrimento superficiale su spianate e su campoletti) a quelli per aspersione, localizzati a bassa pressione, come per esempio l'irrigazione a goccia, e alla subirrigazione capillare, l'efficienza distributiva dell'acqua può aumentare da valori inferiori al 50%, a valori di circa il 70-80% e a valori anche superiori all'80-90%, rispettivamente. Inoltre, nell'ambito di ciascun metodo irriguo l'efficienza distributiva dell'acqua può variare in relazione: alle dimensioni dell'unità irrigua (per es. larghezza e lunghezza delle spianate e lunghezza dei solchi, che dovrebbe variare in funzione delle caratteristiche idrauliche dei terreni, della loro pendenza e del corpo d'acqua disponibile) per i metodi irrigui gravimetrici; all'intensità di pioggia, rispetto alla permeabilità dei terreni, alla lunghezza del getto d'acqua e alla disposizione spaziale degli irrigatori in campo per il metodo irriguo per aspersione; alla distanza tra i gocciolatoi, alla loro portata e alla lunghezza delle ali gocciolanti, per il metodo irriguo localizzato a bassa pressione a goccia.

Tuttavia, anche i metodi gravimetrici possono essere impiegati con buona efficienza, se impiegati in terreni profondi ed argillosi, su colture adatte e unità irrigue ben dimensionate. In tal caso è possibile ottenere efficienze distributive elevate, anche molto prossime a quelle realizzabili con l'aspersione, ossia intorno al 70-80% (Caliandro e Marzi, 1972; Caliandro e De Franchi, 1974).

D'altra parte, con l'irrigazione a pioggia efficienze distributive dell'ordine del 70-80% sono talvolta difficilmente raggiungibili. Si pensi, ad esempio, all'influenza della ventosità sulla uniformità di distribuzione dell'acqua erogata dagli irrigatori, specialmente da quelli a lunga gittata, e alla ventosità piuttosto elevata lungo le coste; alle intensità di pioggia realizzate in pratica, spesso superiori alla permeabilità dei terreni, che generano perdite di acqua per ruscellamento su terreni in pendio e percolazione profonda nelle aree di confluenza delle acque in terreni pianeggianti.

L'irrigazione localizzata a bassa pressione, largamente diffusa su colture orticole, in modo particolare in Puglia e Sicilia. Prevedendo il trasporto dell'acqua dalla fonte all'utilizzatore, ossia alla pianta, in condotte tubate, permette di eliminare quasi completamente perdite di acqua sia durante il trasporto nell'azienda che durante la distribuzione sull'unità irrigua, quindi consente di realizzare valori di efficienza distributiva dell'acqua

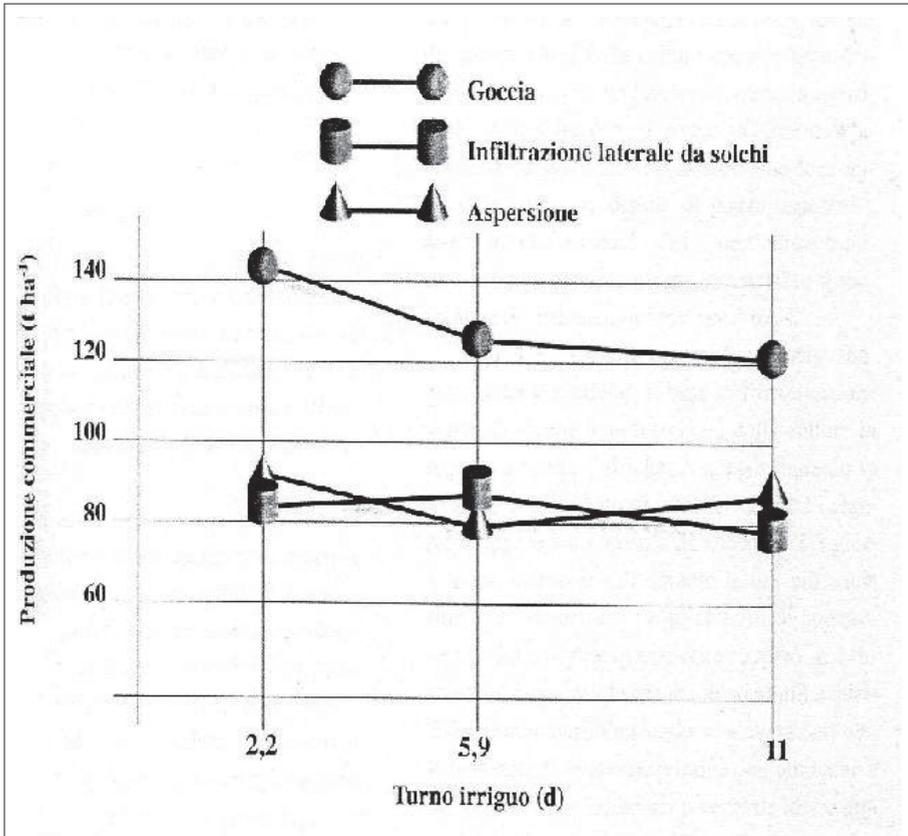


Fig. 6 *Influenza del metodo e del turno irriguo sulle produzioni del pomodoro da industria*

dell'ordine del 90% e oltre. L'irrigazione localizzata a bassa pressione, però, pur consentendo di realizzare efficienze distributive elevate, può dare luogo a bassi valori di efficienza se le variabili irrigue (turno irriguo e volumi specifici di adacquamento) non sono adeguate alla capacità di ritenzione idrica del terreno e alle caratteristiche della coltura, in particolare alla profondità del suo apparato radicale. È frequente osservare nella pratica colture irrigate con il metodo a goccia sofferenti per fenomeni di asfissia radicale per eccesso di acqua di irrigazione. A questo inconveniente gli operatori possono facilmente andare in contro se si considera che con l'irrigazione localizzata il terreno è bagnato poco in superficie e sufficientemente in profondità e che gli agricoltori valutano il volume di adacquamento somministrato osservando più l'umidità del terreno in superficie che fare riferimento al volume di acqua somministrato.

L'irrigazione localizzata a bassa pressione e quella a pioggia, rispetto ai metodi irrigui gravimetrici, consentono risparmi di acqua anche perché permettono di dosare con precisione i volumi specifici di adacquamento.

L'irrigazione localizzata, rispetto ai metodi irrigui che bagnano l'intero volume di terreno colonizzato dalle radici, consentendo maggiore arieggiamento del terreno, più uniforme distribuzione dell'acqua a livello dei singoli erogatori e uno stato idrico del terreno umettato quasi permanentemente molto prossimo alla capacità idrica di campo, dà luogo a produzioni areiche più elevate, con conseguenti più elevati valori di efficienza produttiva dell'acqua. Questo è dimostrato da dati sperimentali come quelli di una ricerca condotta nel Metapontino (Italia meridionale) su pomodoro da industria, mettendo a confronto il metodo irriguo a goccia con l'aspersione e l'infiltrazione laterale da solchi, a parità di turni irrigui e di volumi specifici di adacquamento (Tarantino e Rubino, 1982). Con l'irrigazione a goccia la produzione commerciabile areica, rispetto agli altri due metodi confrontati, in media, sarebbe risultata più elevata di circa il 45% (130 t/ha contro 90 t/ha) (fig. 6).

Circa l'evoluzione della diffusione dei metodi irrigui nel futuro, al di là delle brevi considerazioni precedentemente formulate ai fini del risparmio idrico, un aspetto non trascurabile riguarda l'organizzazione futura dei sistemi irrigui in relazione ai possibili profondi cambiamenti gestionali delle aziende per reggere alla pressante competitività derivante dalla scelta politica della globalizzazione. È abbastanza realistico ipotizzare che nel futuro le aziende con indirizzi colturali a seminativi siano gestite da organizzazioni di servizi, come per esempio contoterzisti e coltivatori non proprietari di terreni, peraltro già operanti in alcune aree prevalentemente del nord Italia i primi e del sud Italia i secondi: nel foggiano, per esempio, coltivatori di bietola, alcuni anni fa, e di pomodori, attualmente, su superfici dell'ordine di centinaia di ettari sono realtà diffuse. Una organizzazione gestionale di questo tipo implica l'utilizzo di macchine di elevate capacità lavorative, quindi di spazi notevoli, il che necessariamente porterà alla gestione di aziende limitrofe accorpate. Questo tipo di gestione indurrà cambiamenti dei metodi irrigui, particolarmente al nord, dove molto verosimilmente si passerà dagli attuali metodi gravimetrici, diffusi per l'irrigazione di foraggiere e altri seminativi, all'irrigazione a pioggia, adottando macchine irrigue di facile mobilità, come ad esempio gli irrigatori giganti semoventi, detti anche "rotoloni". I rotoloni di ultima generazione, oltre a essere di facile spostamento, utilizzando

irrigatori a lunga gittata a turbina, a ritorno lento e braccio oscillante su un piano orizzontale, ad angolo variabile e richiedenti pressioni di esercizio inferiori a quelle di prima generazione, oppure in zone ventose, in sostituzione dell'irrigatore a lunga gittata, adottando l'ala piovana o barra irrigatrice, meglio se dotata di diffusori di tipo LDN (Low Drift Nozzle) oppure LEPA (Low Energy Precision Application), con velocità di arretramento regolabile e uniforme lungo il percorso, permettono di realizzare efficienze distributive dell'acqua soddisfacenti e di irrigare con limitato impiego di manodopera. I rotoloni con barra irroratrice e con diffusori di tipo LEPA, inoltre, potrebbero trovare applicazione anche in orticoltura, probabilmente, là dove possibile, in sostituzione anche dell'irrigazione a goccia. Questo è ipotizzabile in considerazione della bassa pressione di esercizio richiesta da questo tipo d'impianto, della sua elevata efficienza distributiva che permette di realizzare e per la maggiore facilità e minore onerosità degli spostamenti di questa macchina irrigua rispetto all'impianto dell'irrigazione a goccia.

L'accorpamento gestionale di aziende limitrofe e l'introduzione dell'irrigazione a pioggia, in sostituzione di quelli gravimetrici al nord, potrà determinare più o meno profonde revisioni delle reti di canali inter e intraaziendali di trasporto dell'acqua, sicuramente con conseguenti modifiche delle alberature esistenti, quindi con cambiamenti degli attuali paesaggi.

Come già precedentemente accennato, le aziende raramente sono dotate di misuratori volumetrici, il che pone seri problemi circa la reale valutazione dell'efficienza distributiva e d'uso dell'acqua irrigua e l'individuazione di strategie idonee a ridurre i fabbisogni irrigui. Pertanto, un problema di fondo dell'irrigazione che si pone a livello generale, che si ripercuote su ogni opportuna valutazione dell'efficienza d'uso dell'acqua irrigua, è il monitoraggio delle quantità di acqua distribuite durante la stagione irrigua con i diversi sistemi irrigui, a livello di rete sia pubblica che aziendale. Il monitoraggio delle effettive quantità di acqua distribuite a livello di distretti, di comizi e di singole utenze, oltre a consentire agli operatori di conoscere obiettivamente i volumi di acqua applicati alle proprie colture, fornirebbe indicazioni utili e concrete anche per la valutazione dell'adeguatezza delle reti idriche all'effettivo fabbisogno delle colture e per la progettazione di loro eventuali ristrutturazioni. Il monitoraggio dei volumi d'acqua somministrati alle colture, confrontati con quelli realisticamente occorrenti, oltre a consentire di ottimizzare l'efficienza d'uso dell'acqua, apporterebbe un contributo notevole alla razionalizzazione dello sfruttamento delle falde, aspetto di grande importanza nelle aree in cui sono in atto fenomeni di

salinizzazione per emungimenti eccessivi, come in Puglia, particolarmente lungo le coste.

9.1.2 Tariffazione dell'acqua

Il tipo di tariffazione dell'acqua in generale può essere: a ettaro-coltura o su base volumetrica. Nel primo caso, poiché il volume di acqua prelevato per irrigare una determinata coltura non incide sul pagamento della stessa, l'agricoltore è poco attento a evitare sprechi e l'efficienza d'uso dell'acqua generalmente è bassa. Nel secondo caso, invece, poiché il sistema irriguo è dotato di misuratori volumetrici e il costo dell'irrigazione aumenta con l'aumento del volume di acqua usato, gli agricoltori sono molto accorti a somministrare volumi di acqua adeguati alle effettive esigenze delle colture, gli sprechi sono contenuti e l'efficienza d'uso dell'acqua risulta generalmente elevata.

Ricerche condotte in Puglia, nell'ambito di un Consorzio di Bonifica, hanno mostrato l'utilità, ai fini della riduzione dei consumi idrici e dell'aumentare dell'efficienza d'uso dell'acqua, della tariffa volumetrica, anche differenziata: prezzo più basso per volumi minimi compatibili con le esigenze irrigue delle colture, prezzo più elevato per volumi eccedenti quelli minimi.

Inoltre, per un più razionale uso dell'acqua e per una migliore gestione di un sistema irriguo con consegna alla domanda, è stato sviluppato negli ultimi anni un nuovo apparato di consegna, basato su un sistema di micro-processore che permette di regolare i prelievi dell'acqua. Questo apparato è stato installato e usato con successo in alcuni schemi irrigui del Consorzio di Bonifica per la Capitanata in Puglia (Altieri et al., 1999) e si sta diffondendo in molti territori irrigui italiani.

9.1.3 Aspetti Agronomici

Ai fini del contenimento dei consumi idrici, quindi dell'aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua, tra gli aspetti agronomici particolare importanza riveste la definizione delle variabili irrigue connesse con la gestione dell'irrigazione a livello aziendale e più in particolare a livello parcellare, ossia la definizione del turno irriguo e del volume specifico di adacquamento.

In quasi tutti gli ambienti irrigui italiani il turno irriguo e il volume specifico di adacquamento sono stabiliti con criteri empirici basati su esperienze pluriennali dei singoli operatori, criteri che in generale sortiscono risultati

apprezzabili se usati da operatori capaci, che conoscono bene l'ambiente in cui operano e le colture da irrigare e se le agrotecniche adottate nell'ambito dell'azienda sono consolidate; danno luogo a risultati poco soddisfacenti, invece, quando sono introdotte agrotecniche innovative: cambio del metodo irriguo, introduzione di nuove colture o cultivar, variazioni dell'epoca di semina o di trapianto, ecc.

La definizione del turno irriguo implica fissare sia l'inizio della stagione irrigua sia l'intervallo di tempo tra l'inizio di due adacquate consecutive.

In situazione di regime irriguo ottimale e uniforme durante la stagione irrigua, concettualmente si dovrebbe intervenire con l'irrigazione ogni qual volta nello strato di terreno maggiormente interessato dall'apparato radicale si esaurisce la riserva idrica facilmente utilizzabile dalla coltura in irrigazione, somministrando un volume specifico di adacquamento pari a quest'ultima riserva divisa per l'efficienza del metodo irriguo adottato.

Per individuare il momento in cui la frazione di acqua facilmente utilizzabile si è esaurita, in letteratura sono riportate diverse metodologie, peraltro in continua evoluzione. Allo stato attuale alcune di queste sono ormai consolidate, altre, invece, sono in fase di studio sia per approfondire le conoscenze scientifiche su cui si fondano, che per migliorare, dal punto di vista tecnico e operativo, le apparecchiature di misura necessarie. Fondamentalmente le metodologie proposte e attualmente utilizzabili nella pratica sono tre e si basano: una prima sul monitoraggio dello stato idrico del terreno; una seconda sul monitoraggio dello stato idrico della pianta e una terza sul bilancio idrico suolo-piante-atmosfera. In ogni caso, per stabilire il momento dell'intervento irriguo e il volume specifico di adacquamento occorre fare riferimento ai principi di base riguardanti: i rapporti acqua terreno (potenziale idrico del terreno, curva caratteristica di ritenzione idrica del terreno, capacità idrica di campo, punto di appassimento, acqua o riserva idrica facilmente utilizzabile, potenziale matriciale dell'acqua del terreno limite di intervento irriguo, ecc.); l'idrologia della pianta (potenziale dell'acqua nella pianta, resistenza stomatica, traspirazione, ecc.) e il processo evapotraspirativo (evapotraspirazione di riferimento, massima ed effettiva della coltura, coefficiente culturale, coefficiente di decurtazione o riduzione idrica, ecc.).

Tra le metodologie attualmente utilizzabili il metodo evapotraspirometrico è quello più facilmente applicabile a livello di assistenza tecnica. A tal riguardo sono stati proposti numerosi modelli: dai più complessi, che tengono conto del flusso di acqua nel sistema continuo suolo-piante-atmosfera, ai più semplificati che si basano sull'aggiornamento continuo del bilancio idrico e prevedono che si debba intervenire con l'irrigazione quando la sommatoria

dell'evapotraspirazione giornaliera, calcolata a partire dal giorno dell'ultimo intervento irriguo, al netto della pioggia utile caduta, è pari alla riserva idrica facilmente utilizzabile dello strato di terreno esplorato dall'apparato radicale.

Indagini effettuate in Puglia e in Emilia-Romagna, miranti a confrontare la programmazione irrigua degli operatori, usando criteri empirici, con la programmazione adottando il metodo evapotraspirometrico, pur con differenze variabili tra le colture esaminate, hanno messo in evidenza che irrigando con il criterio del bilancio idrico, anziché con quello empirico, si riscontrano risparmi idrici e maggiore efficienza produttiva dell'acqua, anche a causa di una maggiore tempestività degli interventi irrigui (Cavazza et al., 1996; Mannini et al., 2007).

La problematica della definizione del momento dell'intervento irriguo e del volume di adacquamento si complica con l'irrigazione localizzata, per es. a goccia, in quanto è mal definibile il volume di terreno umettato da ciascun erogatore. Tuttavia, anche con questo metodo irriguo è possibile individuare il momento dell'intervento irriguo e valutare il volume specifico di adacquamento con obiettività facendo ricorso, rispettivamente, al monitoraggio dello stato idrico del terreno umettato da uno o più gocciolatoi, per esempio con tensiometri, e al criterio del bilancio idrico suolo/pianta/atmosfera.

L'efficienza d'uso dell'acqua può essere influenzata anche da altre pratiche agricole. È noto, infatti, che la risposta produttiva delle colture all'irrigazione aumenta con l'aumentare della fertilità del terreno, a dimostrazione che quando l'acqua non costituisce fattore limitante della produzione, altri fattori, quali il contenuto di nutrienti, cattiva struttura del terreno, eccessiva presenza di patogeni e di infestanti nel terreno, la possono limitare. Pertanto la conoscenza delle interazioni tra irrigazione e altri fattori della produzione, nelle differenti condizioni pedoclimatiche, potrebbe apportare un notevole contributo al miglioramento dell'efficienza d'uso dell'acqua e al contenimento dei consumi idrici.

Un esempio dei rapporti che possono instaurarsi tra i consumi idrici (V) e altri fattori della produzione (F) è grossolanamente schematizzato nella figura 7, da cui si può rilevare che la curva di isoprodotto Y_1 può essere raggiunta senza irrigazione (V_0) e un apporto di altro fattore della produzione fino al livello F_1 , oppure aumentando le disponibilità idriche con l'irrigazione fino al livello V_1 e mantenendo a livello F_0 , pari alle risorse esistenti nel terreno, l'apporto di altri fattori della produzione. La produzione può essere elevata, fino a raggiungere la curva di isoprodotto Y_2 , aumentando contemporaneamente le disponibilità idriche, attraverso l'irrigazione, fino al livello V_1 e

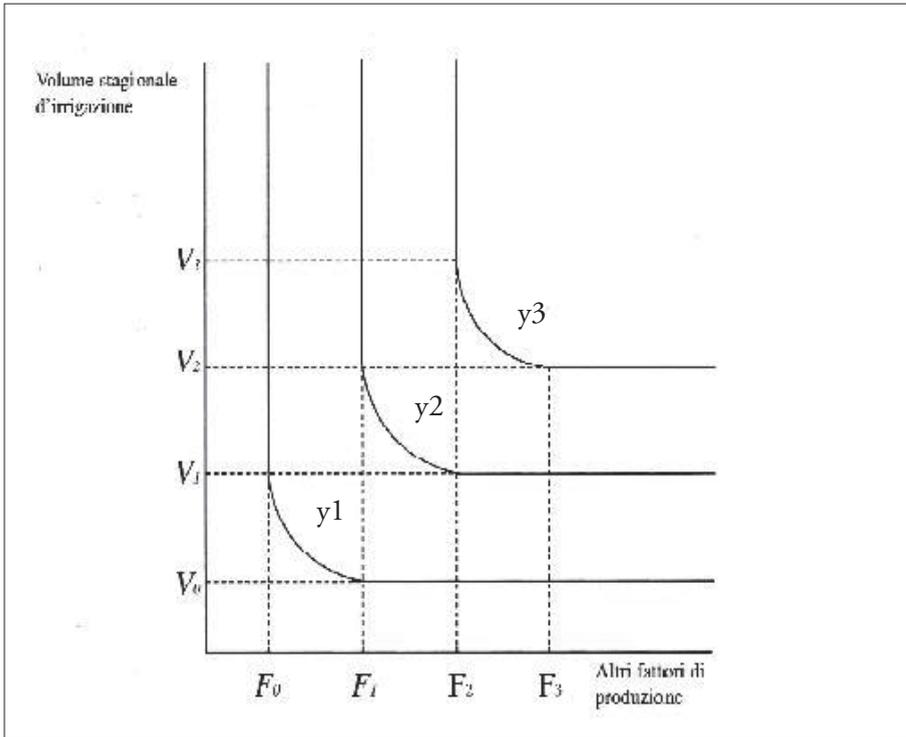


Fig. 7 Rapporti tra due diversi fattori della produzione

un altro fattore della produzione fino al livello F_2 , oppure portando le disponibilità idriche a livello V_2 e mantenendo l'altro fattore della produzione al livello F_1 . Considerazioni simili possono essere ripetute se si vogliono elevare ulteriormente le produzioni. La ripercussione di tali rapporti tra fattori della produzione sulla produttività marginale dell'acqua è evidente: aumentando il volume stagionale d'irrigazione la produttività marginale dell'acqua irrigua aumenta se aumentano altri fattori della produzione (Caliandro, 2001).

Inoltre, alcune pratiche agronomiche che limitano l'evapotraspirazione, come la coltivazione sotto apprestamenti protettivi (serre, tunnel, reti antigrandine per colture arboree), o la pacciamatura possono contribuire a ridurre i consumi idrici e ad aumentare alcune componenti della efficienza, dall'efficienza d'uso dell'acqua relativa alla traspirazione a quella relativa alla produzione commerciale.

In relazione agli effetti della pacciamatura sulla efficienza d'uso dell'acqua relativa alla produzione di biomassa, i risultati di una ricerca condotta in lisimetri a pesata su melone mostrano che l'efficienza relativa alla biomassa

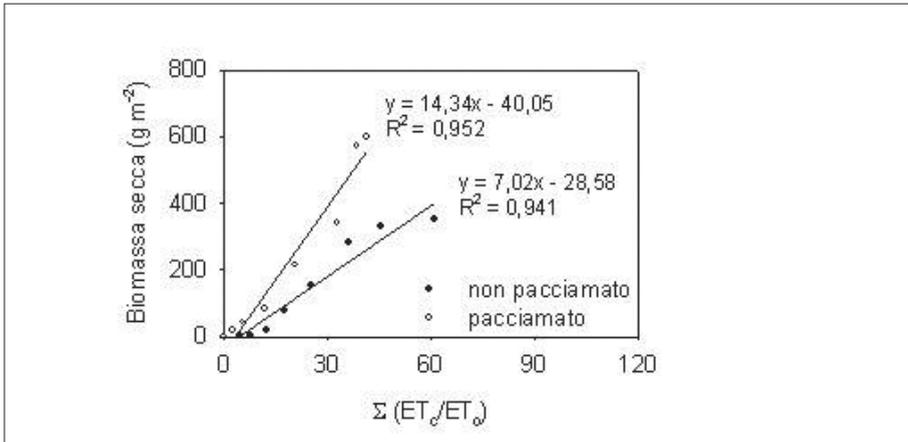


Fig. 8 *Influenza della pacciamatura sull'efficienza d'uso dell'acqua relativa alla produzione di biomassa del melone*

della coltura pacciamata è aumentata del 104% rispetto a quella della coltura non pacciamata (Cantore et al., 2005) come ben evidenziato dalle rette di regressione di figura 8.

Inoltre, ai fini della valorizzazione delle acque disponibili, un ruolo notevole potrebbero giocare gli ordinamenti colturali. Numerosi risultati sperimentali ottenuti in ambienti dell'Italia meridionale, infatti, mostrano che le colture reagiscono all'irrigazione in modo sostanzialmente diverso. Volumi stagionali d'irrigazione crescenti su colture caratterizzate da apparati radicali profondi e densi e da buon adattamento a situazioni di stress idrico, come medica, bietola da zucchero a semina autunnale e girasole a semina anticipata, determinano incrementi marginali di produzioni areiche gradualmente decrescenti; su altre colture, invece, come la maggior parte delle orticole a ciclo primaverile-estivo, determinano incrementi produttivi marginali pressoché lineari fino al raggiungimento del 60-70% della produzione massima ottenibile (Venezian Scarascia et al., 1987). Questo diverso comportamento consente: per il primo gruppo di colture di adeguare in maniera continua il volume stagionale d'irrigazione alla ricerca della dose di massima convenienza economica; mentre, per il secondo gruppo di colture, è facile trovarsi di fronte a situazioni in cui conviene irrigare abbondantemente fino a soddisfare quasi totalmente il fabbisogno irriguo o non conviene coltivarle (fig. 9). Pertanto, allorquando le risorse idriche sono limitate, come in annate siccitose, colture appartenenti al primo gruppo permettono di ridurre

i volumi irrigui senza evidenti danni economici e di destinare l'acqua risparmiata a colture appartenenti al secondo gruppo, con innalzamento dell'efficienza d'uso dell'acqua. A quest'ultimo riguardo, per meglio definire l'allocazione di limitate risorse idriche, al fine di massimizzare il reddito aziendale o comprensoriale, la risposta produttiva delle colture all'irrigazione dovrebbe essere valutata, direttamente o attraverso modelli di simulazione, in termini economici. Esprimendo le produzioni in termini di reddito e applicando opportuni modelli matematici di ottimizzazione, infatti, è possibile ottimizzare in termini economici l'efficienza d'uso dell'acqua degli ordinamenti colturali adottati a livello aziendale o comprensoriale (Caliandro et al., 2007).

Tra le pratiche agronomiche miranti a contenere i consumi idrici e a valorizzarle meritano di essere ricordate le tecniche di aridocoltura utilizzabili anche in ambienti irrigui, intendendo per aridocoltura "un'agricoltura in cui è praticato il più razionale uso delle limitate risorse idriche disponibili".

Oltre agli accorgimenti già indicati precedentemente (elevata efficienza distributiva dell'acqua, attraverso la scelta appropriata dei metodi irrigui e delle variabili irrigue; monitoraggio dei volumi idrici applicati alle colture; scelta delle colture; appropriata allocazione di limitate risorse idriche tra le colture; ecc.), tra le tecniche di aridocoltura se ne citano altre, particolarmente indicate negli ambienti dell'Italia meridionale, quali: favorire la formazione di riserve idriche nel terreno, durante la stagione piovosa, con appropriate lavorazioni dello stesso, che nel meridione potrebbe essere l'aratura profonda tradizionale effettuata prima dell'inizio del periodo piovoso, pratica valida anche per colture a ciclo primaverile-estivo; contenere perdite inutili di acqua immagazzinata nel terreno attraverso il controllo delle infestanti e le sarchiature, per ridurre le perdite per diretta evaporazione dalla superficie del terreno; anticipo appropriato dell'epoca di semina o trapianto delle colture a ciclo sia autunno-primaverile sia primaverile-estivo, per meglio utilizzare le piogge autunno-invernali nel primo caso, e per contenere l'estensione del ciclo colturale nel periodo estivo, nel secondo caso; per colture a ciclo autunno-primaverile scelta di cultivar precoci, per sfuggire, nei limiti del possibile, all'alidore estivo; per colture normalmente non irrigate, in situazioni di siccità, fare ricorso a irrigazioni di soccorso durante fasi fenologiche critiche, allo scopo non solo di aumentare le produzioni ma anche di valorizzare l'acqua di pioggia. Là dove è possibile, adottare la tecnica dell'irrigazione deficitaria controllata, tecnica, però più facilmente applicabile sulle colture arboree.

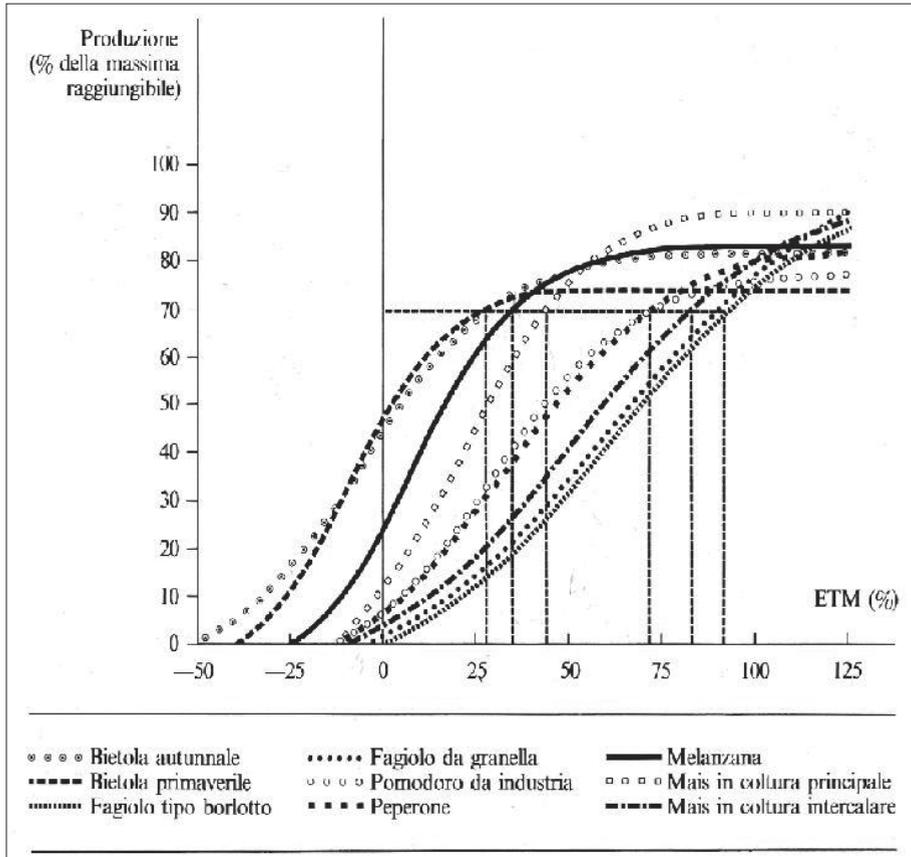


Fig. 9 Andamento delle produzioni di alcune colture erbacee in relazione al volume stagionale d'irrigazione, espresso in percento dell'evaporazione massima stimata (ETM), e indicazione dei volumi stagionali d'irrigazione occorrenti per ottenere il 70% della produzione massima ottenibile

10. UTILIZZO DI ACQUE NON CONVENZIONALI (SALMASTRE E REFLUE)

10.1 Introduzione

La limitata disponibilità di acqua rispetto alla crescente domanda per usi domestici, industriali e agricoli, spinge a usare per l'irrigazione acque non convenzionali: salmastre e reflue. Le acque salmastre provengono prevalentemente da falde, ma anche da corsi d'acqua salmastra, come è riscontrabile

in Sicilia. La salinità delle acque d'irrigazione costituisce per l'Italia una preoccupazione abbastanza rilevante nelle zone costiere della penisola (Veneto, Emilia-Romagna, Puglia, Campania, Lazio, Toscana, Sardegna e Sicilia) nelle quali si va sempre più diffondendo il fenomeno di cuneo marino rilevabile nei corsi di acqua, anche per lunghi tratti a monte della foce, fenomeno che impedisce il prelievo a scopo irriguo per tutto il tratto fluviale interessato, nonché quello dell'intrusione dell'acqua marina nelle falde costiere. In queste ultime aree i numerosi pozzi trivellati hanno favorito la contaminazione di una notevole parte delle acque sotterranee. Le falde di acqua dolce, alimentate dalle piogge, galleggiano sull'acqua di mare che, in aree caratterizzate da sottosuolo costituito da roccia fessurata fino alla costa, invade il sottosuolo dell'entroterra e l'eccessivo e incontrollato emungimento dai pozzi provoca la riduzione dello spessore dello strato di acqua dolce, l'innalzamento del livello dell'acqua di mare, con conseguente inquinamento dell'acqua dolce e prelievo di acqua salmastra.

Un'altra possibile fonte idrica per l'agricoltura è l'utilizzo di acque reflue, trasformandole da rifiuto in risorsa utile al sostegno dell'agricoltura, con risparmio di acqua primaria di buona qualità a favore di altri usi e con riduzione dei prelievi da fonti convenzionali, particolarmente dalle falde, con conseguente attenuazione dei processi di salinizzazione in atto. D'altra parte le vigenti disposizioni di legge prevedono l'utilizzazione delle acque reflue a scopo irriguo, previo affinamento terziario, e indicano caratteristiche qualitative e modalità di impiego. A tal riguardo il Piano di Tutela delle Acque recentemente approvato dalla regione Puglia prevede l'utilizzazione per scopi irrigui di circa 110 milioni di metri cubi di acque reflue affinate, al fine di ridurre i prelievi dalla falda, allo stato attuale eccessivamente sfruttata e in progressiva fase di salinizzazione.

L'utilizzo di acque non convenzionali, però, pone problematiche per i suoi effetti sul terreno e sulle colture e richiede particolari strategie irrigue e molta attenzione per la sicurezza alimentare delle produzioni.

10.2 *Problematiche relative all'utilizzo di acque salmastre*

Le problematiche connesse all'utilizzo di acque salmastre e le relative limitazioni d'uso sono riconducibili essenzialmente a tre differenti categorie: rischi legati alla presenza di elevata concentrazione di sali, che si riflette in una minore disponibilità per la pianta dell'acqua presente nel terreno, a causa dell'abbassamento del potenziale osmotico; rischi legati alla presenza di elevate concentra-

zioni di sodio, in quanto la progressiva sodicizzazione del complesso di scambio provoca riduzione della velocità d'infiltrazione dell'acqua nel terreno e fenomeni di asfissia; rischi legati alla presenza, oltre certi limiti, di elementi tossici quali boro, litio, cloro, metalli pesanti, residui di fitofarmaci, ecc., la cui presenza può determinare fenomeni di tossicità nelle specie vegetali.

Tuttavia, la salinità, mentre sulle colture ha effetti negativi, sul terreno, invece, potrebbe avere anche effetti positivi. Elevate concentrazioni di sali di calcio e magnesio nelle acque di irrigazione, infatti, favoriscono la flocculazione delle particelle colloidali del terreno, con formazione di aggregati strutturali e miglioramento delle proprietà idrauliche dello stesso e degli scambi gassosi con l'atmosfera.

10.2.1 Effetti sul terreno e sulle colture

Come precedentemente accennato l'uso di acque salmastre può determinare nel terreno problemi di progressiva salinizzazione e/o alcalinizzazione. I primi sono strettamente connessi con la quantità totale di sali apportati con le acque d'irrigazione e riguardano essenzialmente: la disponibilità di acqua per la pianta e l'accumulo nel terreno di eventuali elementi tossici. I problemi di alcalizzazione o sodicizzazione derivano, invece, dalla presenza nell'acqua di sodio non bilanciato da calcio e magnesio, condizione questa che determina fenomeni di dispersione del materiale argilloso del terreno, con conseguente riduzione della sua conducibilità idraulica, quindi della sua permeabilità, e aumento della capacità di ritenzione idrica del terreno stesso. Queste modifiche delle proprietà fisiche del terreno si traducono in una generalizzata perdita di fertilità, derivante da fenomeni di asfissia che limitano l'attività microbica, l'approfondimento e la funzionalità degli apparati radicali delle colture e, in terreni in pendio, provocano fenomeni erosivi a causa della ridotta permeabilità del terreno.

L'accumulo di sali negli strati superficiali del terreno interessati dagli apparati radicali può essere causato e accentuato anche da fattori indipendenti dalla qualità dell'acqua irrigua o dall'irrigazione. La presenza di falda poco profonda, infatti, per effetto della capillarità determina un flusso di acqua e dei sali in essa disciolti verso la superficie del terreno, dove l'acqua evapora mentre i sali permangono e si accumulano. In simili situazioni l'irrigazione può favorire l'innalzamento della falda e aggravare il problema, in modo particolare se l'acqua è salmastra.

Problemi quasi simili al precedente si potrebbero verificare anche in presenza di strati impermeabili superficiali che potrebbero ostacolare lo sposta-

mento in strati profondi dei soluti apportati con l'irrigazione e lisciviati da acque di percolazione di origine irrigua e piovana.

In assenza di falda superficiale e di strati impervi lungo il profilo del terreno, l'accumulo dei soluti apportati con le acque irrigue è maggiore in terreni argillosi e minore in terreni sabbiosi; inoltre, indipendentemente dal tipo di terreno e a parità di salinità dell'acqua, negli ambienti meridionali il problema è accentuato dalla più elevata domanda evapotraspirativa dell'ambiente che comporta maggiori apporti di acqua irrigua, quindi di sali. L'accumulo di soluti negli strati superficiali del terreno è maggiore con i metodi irrigui localizzati rispetto a quelli non localizzati.

La salinità, abbassando il potenziale osmotico dell'acqua del terreno rende questa meno disponibile per le colture, ne modifica il normale consumo idrico e determina fenomeni di stress idrici a cui si accompagnano attenuazioni dell'accrescimento delle piante, riduzioni delle produzioni areiche e modifiche qualitative dei prodotti.

Gli effetti di livelli diversi di salinità delle acque sulle colture sono notevolmente diversi tra le specie. Numerose ricerche hanno contribuito a stabilire, entro certi limiti, il grado di tolleranza delle differenti colture alla salinità, permettendo a diversi autori di approntare tabelle di tolleranza delle colture alla salinità, in cui sono indicate anche le riduzioni delle produzioni areiche al variare della salinità dell'acqua irrigua e della presumibile salinità dell'estratto di pasta satura e dell'acqua del terreno.

La resistenza alla salinità delle singole specie varia anche con la cultivar, con la fase fenologica e con la domanda evapotraspirativa dell'ambiente. La fase di germinazione è la più sensibile. Negli ambienti settentrionali la resistenza è maggiore che in quelli meridionali, come anche le colture a ciclo autunno-invernale sono più resistenti rispetto a quelle a ciclo primaverile-estivo. Gli effetti negativi della salinità delle acque, infatti, aumentano all'aumentare della domanda evapotraspirativa dell'ambiente, in quanto all'aumentare di quest'ultima aumenta il flusso di acqua dal terreno all'atmosfera attraverso la pianta, a causa dell'aumento del gradiente di potenziale nel sistema continuo suolo-pianta, che si verifica principalmente per progressivo abbassamento del potenziale idrico della pianta.

10.3 *Problematiche relative all'utilizzo di acque reflue*

Le problematiche riguardanti l'utilizzo delle acque reflue, affinate conformemente alle vigenti normative, dovrebbero essere di entità trascurabili se non

inesistenti. Tuttavia, per ragioni diverse, le acque reflue potrebbero dare luogo a problemi di tipo igienico-sanitario, di tipo simili a quelli precedentemente visti per le acque salmastre e riguardanti la funzionalità degli stessi impianti irrigui.

Grazie all'adeguamento strutturale degli impianti di depurazione in futuro si potrà disporre di volumi sempre maggiori di refluo e di qualità migliore. Per rendere tale risorsa utilizzabile nel settore agricolo è necessario effettuare un ulteriore trattamento, trattamento terziario o affinamento, finalizzato principalmente all'abbattimento della carica microbica. Nella scelta del tipo di trattamento da adottare, potrebbe risultare utile ai fini agricoli considerare gli elementi nutritivi presenti nelle acque reflue di cui le piante hanno bisogno e possibilmente non rimuoverli, come anche sarebbe utile non rimuovere la sostanza organica presente.

Pertanto utilizzando acque reflue urbane potrebbe essere un vantaggio l'apporto al suolo di sostanza organica, di fosforo e azoto, e altri elementi minerali, se durante i processi di depurazione e affinamento non fossero rimossi, così come le vigenti disposizioni di legge prevedono per l'utilizzo di acque reflue in agricoltura.

Gli inquinanti più pericolosi, che possono provocare danni in agricoltura, per effetto della loro fitotossicità, sono i microelementi come il boro e i metalli pesanti quali zinco, cadmio, rame e piombo in concentrazioni relativamente elevate. È da considerare, però, che questi elementi sono presenti generalmente in concentrazioni elevate solo nelle acque reflue industriali, mentre, in quelle urbane, le loro concentrazioni, dopo il trattamento di depurazione, sono quasi sempre nei limiti imposti per legge.

Uno degli aspetti salienti da considerare, nell'utilizzare acque reflue, è il rischio sanitario per l'inquinamento dei prodotti agricoli e delle acque di falda. I principali problemi sono legati alla presenza di microrganismi patogeni dannosi per l'uomo in seguito a ingestione e all'eventuale lisciviazione dell'azoto sotto forma nitrica. Il tempo di sopravvivenza dei microrganismi patogeni nel suolo varia da poche ore ad alcuni mesi e più, in funzione della radiazione solare e della presenza di microflora antagonista che ne riduce la durata di sopravvivenza, del tipo di patogeno e della forma sotto cui è presente nelle acque reflue.

Quest'ultimo aspetto, legato ai riflessi igienico-sanitari dell'uso di acque reflue e/o inquinate, è oggi molto attuale anche perché la sensibilizzazione del consumatore sui problemi legati alla salubrità delle produzioni ha spinto le Autorità e i diversi soggetti della filiera agroalimentare a predisporre norme e regolamenti capaci di salvaguardare la qualità e la salubrità degli alimenti

(2001/178/CE, EUREPGAP, HACCP, EMAS II, ISO 14001), sollecitando la certificazione delle produzioni agricole nei riguardi del rischio di contaminazione di inquinanti di varia origine, anche veicolati dalle acque irrigue. Oggi, l'accettazione da parte di alcuni mercati esteri e della grande distribuzione internazionale è vincolata alla conoscenza delle caratteristiche qualitative dell'acqua irrigua impiegata nel processo produttivo, con implicazioni commerciali ed economiche di estremo rilievo, perché la qualità dell'acqua irrigua utilizzata può portare alla esclusione dei prodotti agricoli e agroindustriali dai mercati più ricchi e avanzati.

10.4 *Strategie irrigue utilizzando acque non convenzionali*

Gli accorgimenti adottabili nell'utilizzo di acque salmastre sono diversi ed essenzialmente mirano a contenere gli effetti negativi sulla fertilità del terreno e sulla produttività delle colture. Considerando che la tolleranza delle colture alla salinità varia con la specie e la cultivar, uno degli accorgimenti di primaria importanza è la scelta delle colture e delle cultivar da irrigare.

Poiché l'uso di acqua salmastra comporta riduzione della disponibilità di acqua per le colture ed è causa di progressiva salinizzazione e/o sodicizzazione dei terreni, ogni accorgimento mirante a prevenire o attenuare tali fenomeni valorizza l'impiego delle acque salmastre.

Considerando che gli effetti negativi della salinità delle acque sul terreno decrescono passando da quelli argillosi ai terreni sabbiosi, per via della maggiore permeabilità e del minore rischio di degrado delle proprietà fisiche di questi ultimi, là dove è possibile è preferibile utilizzare acque salmastre per irrigare terreni sabbiosi anziché quelli argillosi, specialmente quando le acque hanno un elevato contenuto in sodio rispetto a calcio e magnesio.

Per agevolare la lisciviazione dei soluti apportati con le acque d'irrigazione dallo strato di terreno interessato dagli apparati radicali in quelli sottostanti è indispensabile attivare un buon sistema di drenaggio naturale presenti strati impervi superficiali rimovibili attraverso il loro scasso, viceversa, là dove sono presenti falde poco profonde soggette a fluttuazioni durante l'anno a causa delle piogge invernali e dell'irrigazione, realizzando una appropriata rete di drenaggio sottosuperficiale.

Tra i lavori preparatori principali del terreno è da preferirsi la disciura profonda o l'ara-ripuntatura, detta anche a doppio strato in alternativa all'aratura profonda. Questa lavorazione evita di riportare in superficie strati

profondi di terreno in cui si sono accumulati sali lisciviati dagli strati sovrastanti e la formazione del crostone o suola di lavorazione che ostacolerebbe il drenaggio profondo.

Avvicinare colture irrigate con colture non irrigue, al fine di accentuare l'azione liscivante delle piogge invernali. In ambienti irrigui della Puglia è stato ampiamente dimostrato che le piogge invernali allontanano dallo strato radicale la quasi totalità dei soluti apportati con le acque irrigue durante la stagione precedente (Pantaneli, 1929; Ficco, 1961; Caliandro et al., 1991). Alternando colture irrigue a colture non irrigate si darebbe la possibilità alle piogge di due inverni consecutivi di dilavare tutti i sali apportati in precedenza, specialmente in annate siccitose e in ambienti dell'Italia meridionale.

Là dove si dispone anche di quantità limitate di acqua dolce si potrebbe prevedere di avvicinare colture sensibili alla salinità, da irrigare con acqua dolce, con colture resistenti alla salinità da irrigare con acque salmastre, almeno dopo la fase di germinazione-emergenza, oppure impiegare acque dolci durante le fasi fenologiche critiche della coltura nei riguardi della salinità e le acque salmastre durante le fasi tolleranti.

In presenza di acque a diversa concentrazione salina si potrebbe anche ipotizzare la miscelazione dell'acqua dolce con quella salmastra; questa soluzione, però, se da una parte migliora la qualità dell'acqua salmastra, dall'altra peggiora quella dell'acqua dolce. L'opportunità di miscelare acque di qualità diverse dipende da più circostanze e da valutazioni anche di tipo economico oltre che tecnico. A quest'ultimo riguardo Cavazza e Patruno (2009) suggeriscono la possibilità di miscelare acque a diversa concentrazione salina sulla base della risposta produttiva delle colture ad acque a diversa salinità e degli effetti della salinità dell'acqua sulla qualità del prodotto ottenuto e sul suo valore commerciale.

È buona norma frazionare la concimazione azotata in più epoche al fine di non contribuire a elevare eccessivamente la concentrazione salina dell'acqua del terreno.

Tra i metodi irrigui disponibili sarebbe preferibile adottare quelli che favoriscono la liscivazione dei soluti apportati con le acque irrigue dagli strati di terreno colonizzati dagli apparati radicali a quelli sottostanti, come la sommersione, lo scorrimento, e l'aspersione che determinano nel terreno il flusso dell'acqua, quindi dei soluti, dalla superficie in profondità. L'irrigazione per infiltrazione laterale da solchi e quella localizzata a goccia, pur determinando un flusso di acqua e di soluti intorno alla zona di infiltrazione, al disotto e lateralmente al solco o al punto di gocciolamento, consentono di allontanare

i soluti dal volume di terreno umettato in cui le radici sono più attive. Tuttavia, questi due metodi favoriscono accumuli di soluti in superficie tra solchi o gocciolatoi contigui, con problemi di salinità per la coltura successiva a quella irrigata se i soluti accumulati non sono dilavati da piogge cadute nell'intermezzo tra le due colture consecutive o da irrigazione lisciviante effettuata in presemina.

Immediatamente dopo un intervento irriguo e sino a poco prima di quello successivo l'umidità del terreno diminuisce progressivamente, per perdite di acqua per evapotraspirazione, e la concentrazione salina dell'acqua residua aumenta, di conseguenza si abbassano i potenziali matriciale, osmotico e quindi quello totale dell'acqua residua del terreno; pertanto, con l'uso di acqua salmastra, l'abbassamento del potenziale totale può essere attenuato adottando turni irrigui brevi. Così operando si attenuano anche fenomeni di stress idrici ed eventuali riduzioni di produzioni.

Una tecnica consigliata con l'uso di acque salmastre è l'applicazione di una opportuna quantità di acqua superiore al normale volume di adacquamento, ossia l'adozione del "leaching requirement (L.R.)", al fine di lisciviare dallo strato radicale i sali apportati con l'adacquata precedente. Tuttavia, se il fabbisogno idrico delle colture è soddisfatto in parte anche dalle acque di pioggia e se queste ultime, durante il periodo autunno-invernale, allontanano dallo strato radicale i soluti apportati durante la precedente stagione irrigua, l'adozione della tecnica del L.R. si rivela di scarsa utilità o addirittura dannosa (Ficco, 1961; Caliandro et al., 1991).

Nella gestione dell'irrigazione con acque reflue urbane, risulta di fondamentale importanza scegliere metodi irrigui che riducano il contatto diretto delle acque con la vegetazione, almeno quando sono irrigate colture ortofrutticole.

L'irrigazione a goccia e la sub-irrigazione capillare sono i metodi più consigliati anche se altri metodi irrigui localizzati a bassa pressione potrebbero essere applicati senza particolari problemi.

Per ottimizzare l'utilizzo delle acque reflue è indispensabile la corretta gestione dell'irrigazione, per evitare apporti di volumi irrigui superflui che potrebbero aumentare il pericolo di accumulo di sostanze indesiderate nel sistema suolo e favorire la liscivazione dei nitrati e la contaminazione delle acque sotterranee.

Le acque reflue potrebbero trovare largo impiego per irrigare colture no food, come per esempio colture bioenergetiche, e colture da granella, come il mais. Su queste colture sarebbero utilizzabili anche metodi irrigui gravitazionali e per aspersione.

I I. SEMINATIVI IRRIGUI: AMBIENTE E PAESAGGIO

È noto che le caratteristiche ambientali e paesaggistiche di una determinata area dipendono dal deficit idrico climatico sia mensile che totale annuo, ossia dalla differenza tra evapotraspirazione di riferimento mensile e piovosità totale mensile e dalla sommatoria dei deficit idrici climatici mensili dell'intero anno, rispettivamente. In altri termini i parametri climatici che maggiormente condizionano la pedogenesi, la diffusione spaziale degli esseri viventi e le loro attività, gli areali di diffusione delle specie vegetali spontanee (le zone botaniche) e di quelle coltivate (le zone agrarie) sono l'acqua (la pioggia) e la temperatura: là dove l'acqua non è fattore limitante lo è la temperatura e viceversa.

L'irrigazione, negli ambienti irrigui, modifica sostanzialmente la disponibilità di acqua e quindi i deficit idrici climatici mensili e totale annuo, il che comporta cambiamenti significativi degli ordinamenti colturali a causa della possibilità di introdurre in essi nuove specie irrigue, come la barbabietola da zucchero nell'Italia meridionale negli anni '60 del secolo scorso, anche se attualmente le superfici si sono contratte notevolmente, e della espansione delle superfici destinate a numerose colture orticole da pieno campo, come il pomodoro da industria, il carciofo, solanacee, brassicacee, lattughe, insalate, cucurbitacee e altre specie di nicchia, come asparago, fragola, piante aromatiche e officinali. Così il paesaggio agricolo caratterizzato da poche colture erbacee non irrigate, con l'introduzione o la persistenza dell'irrigazione ha subito e subisce profonde modifiche. Modifiche che assumono maggiore consistenza in caso di gestioni aziendali da parte di contoterzisti con aggregazione delle aziende, l'introduzione di macchine irrigue e la revisione delle reti idriche a cielo aperto, là dove sono utilizzati metodi irrigui gravimetrici, e l'eliminazione e/o modifiche della distribuzione spaziale delle alberature.

L'irrigazione, oltre a modificare più o meno profondamente il paesaggio agricolo, migliorare la redditività in agricoltura, ed aumentare l'impiego di manodopera e l'uso di fattori della produzione, solleva anche importanti problematiche ambientali, quali: progressiva salinizzazione e/o sodicizzazione dei terreni in caso di impiego di acque salmastre e/o ricche in sodio non controbilanciato da calcio e magnesio e di piogge invernali insufficienti a dilavare i soluti apportati durante la precedente stagione irrigua, come pure in situazioni di drenaggio insufficiente; eccessivo emungimento di acqua dalle falde, con rischi del loro impoverimento e, là dove sussistono le condizioni, di progressiva salinizzazione e/o fenomeni di subsidenza; fenomeni di inquinamento di

corpi idrici superficiali e profondi, a causa del maggiore uso di fattori della produzione (fertilizzanti, fitofarmaci, diserbanti, ecc.); eventuale necessità di ricorrere all'uso di acque reflue con rischi ambientali e igienico-sanitari che ne potrebbero derivare.

12. CONCLUSIONI

I seminativi irrigui occupano una superficie di 1.379.290 ha, pari al 24% della superficie totale a seminativi su cui sono praticate colture con interesse economico notevole, non è quindi ipotizzabile che nel futuro possano subire contrazioni o variazioni di rilievo. Le principali colture irrigate sono: il mais e foraggere al nord, che sono alla base di una delle principali attività agricole di quell'area, l'allevamento zootecnico; le ortive in tutta l'Italia, ma in maggiore misura al nord e al sud, colture di notevole interesse dal punto di vista sia economico che sociale, per la elevata richiesta di manodopera, e in minore misura alcune colture industriali, principalmente al nord, tra cui bietola da zucchero e soia, colture da rinnovo che, insieme a orticole da pieno campo, rivestono un importante ruolo agronomico negli ordinamenti colturali ai fini della salvaguardia della fertilità dei terreni. Variazioni di rilievo delle superfici destinate a tali colture determinerebbero sostanziali cambiamenti degli attuali ordinamenti produttivi, con risultati economici tutti da verificare. Tuttavia, mutamenti degli attuali ordinamenti colturali non sono da escludersi del tutto se si considera lo stato attuale di crisi economica in quasi tutti i comparti agricoli e la tendenza a voler utilizzare superfici agricole per la produzione di energia da fonti alternative, anche attraverso colture bioenergetiche.

Ipotizzando che gli attuali ordinamenti produttivi non subiranno notevoli cambiamenti, almeno nell'immediato futuro, va considerato che gli attuali fabbisogni irrigui dei seminativi risultano elevati e si rende indispensabile prevedere una sostanziale loro contrazione attraverso strategie diverse di ottimizzazione dell'uso irriguo dell'acqua.

Considerando attendibili le stime dei fabbisogni irrigui dei seminativi precedentemente indicate, e ipotizzando l'attuale efficienza totale distributiva dell'acqua pari al 35 e al 50%, i volumi di acqua destinati ai seminativi teoricamente potrebbero essere ridotti del 65 e del 50%, rispettivamente. Il che significherebbe che il prelievo di acqua da destinare ai seminativi si abbasserebbe dagli attuali 5.500 o 7.800 Mm³ a 2.739 Mm³. Ovviamente non si può ipotizzare una efficienza totale distributiva dell'acqua del 100%, ma

potrebbe essere verosimile porre come obiettivo una efficienza distributiva totale dell'ordine del 70-80%, il che significherebbe un prelievo, per i seminativi, variabile tra 3.912 e 3.423 Mm³.

Per la riduzione dei prelievi di acqua irrigua, oltre all'oculata scelta di metodi irrigui che consentono di realizzare elevate efficienze distributive dell'acqua, è necessario utilizzare e mettere in campo la notevole quantità di conoscenze agronomiche oggi disponibili in fatto di razionale gestione dell'irrigazione. A tal fine occorre diffondere l'impiego di sistemi esperti di bilancio idrico delle colture e fornire giornalmente indicazioni precise e personalizzate agli agricoltori, da parte di servizi di assistenza tecnica, sul momento dell'intervento irriguo e sul volume di adacquamento, indicazioni necessarie per ottimizzare l'uso dell'acqua. La gestione di aziende aggregate potrebbe favorire la diffusione e l'utilizzo di tali sistemi esperti.

Un contributo notevole al risparmio di acqua di buona qualità e all'attenuazione dello sfruttamento delle falde, specialmente di quelle in fase di progressiva salinizzazione, potrebbe provenire dall'impiego di acque reflue. Per comprendere la portata di tale apporto si cita che in Italia ogni anno sono immessi nelle reti fognanti circa 4 miliardi di metri di cubi di acqua. Se si riuscisse a utilizzare solo in parte tale risorsa, oltre a ridurre i prelievi di acqua convenzionale, potrebbero aumentare le attuali superfici irrigate, aspetto quest'ultimo non trascurabile se si considera che i cambiamenti climatici in atto potrebbero determinare incrementi dei deficit idrici climatici.

Il futuro dei seminativi sarà, quindi, sempre più condizionato dalla capacità degli agricoltori di applicare tutte le innovazioni agronomiche, tecnologiche e gestionali irrigue per ridurre i consumi d'acqua senza aggravare i costi di produzione e peggiorare la competitività.

RIASSUNTO

L'irrigazione dei seminativi è una pratica agronomica indispensabile per assicurare produzioni soddisfacenti e stabili nel tempo. In Italia, escludendo la coltura del riso, il 24% della superficie totale a seminativi è irrigato, il cui fabbisogno irriguo, al netto delle perdite, è stimato intorno a 2.739 Mm³ di acqua. I volumi di acqua prelevati dalle fonti idriche, invece, oscillano tra 5.500 e 7.800 Mm³. Da queste indicazioni si deduce che della quantità di acqua prelevata alle fonti solo la frazione compresa tra il 35 ed il 50% è utilizzato dalle colture per i propri fabbisogni idrici, con perdite che oscillano tra il 65 ed il 50%. Perdite così elevate pongono il problema di affrontare la problematica del miglioramento dell'efficienza d'uso dell'acqua irrigua, facendo ricorso alla notevole quantità di conoscenze ingegneristiche e agronomiche oggi disponibili in fatto di razionale gestione

dell'irrigazione. La crescente domanda di acqua ai fini civili, industriali e agricoli, impone all'agricoltura la riduzione dei prelievi di acqua dalle fonti convenzionali, attraverso sia la riduzione delle perdite durante l'esercizio irriguo sia l'utilizzo di acque non convenzionali, salmastre e reflue opportunamente affinate, adottando accorgimenti e tecniche irrigue adeguati ai fini della difesa della fertilità dei terreni e della salubrità degli alimenti.

ABSTRACT

The function of irrigation in the future of the herbaceous crops. Irrigation is an agronomic practice essential to ensure satisfactory production for of herbaceous crops. In Italy, excluding the cultivation of rice, 24% of the total herbaceous crops area is irrigated in order to supply a net irrigation requirements estimated at about 2739 Mm³ of water. The volume of water taken from water sources vary between 5,500 and 7,800 Mm³, so the efficiency losses are estimated at around 50-65%. The growing demand of water for municipal, industrial and agricultural required the adoption of all strategies to achieve a more efficient irrigation, even using non-conventional water, brackish and waste water properly refined, and by adopting appropriate irrigation techniques and take all care to ensure soil fertility and food safety.

BIBLIOGRAFIA

- ALTIERI S., MARTIRE G., NARDELLI L. (1999): *Completamento funzionale del distretto 10 nel comprensorio sinistra Ofanto*, «Bonifica», 1, pp. 51-56.
- CALIANDRO A., MARZI V. (1972): *Determinazioni di alcuni parametri nel metodo irriguo per infiltrazione da solchi in terreno limoso-argilloso*, Atti Giornate di Studio Prima Sez. CIGR. Firenze, pp. 129-153.
- CALIANDRO A., DE FRANCHI S. (1974): *Determinazione di alcuni parametri nel metodo irriguo per scorrimento superficiale su spianata*, «L'Agri. Jonica», 9, pp. 5-6, pp. 3-21.
- CALIANDRO A., CUCCI G., DE CARO A., CORDELLA S. (1991): *Irrigation with brackish water: influence of the irrigation regime on salt built-up in the soil and leaching effect and rainfall*, Proceeding of the European Mediterranean Conference on "the use of saline water in irrigation" 25-26 July. Bari, Italy-CEC-CIHEAM/IAM-B.
- CALIANDRO A. (2001): *Problemi agronomici dell'irrigazione nel mezzogiorno. In Problematiche dell'Agricoltura Italiana: Scenari Possibili-2 "L'acqua una risorsa preziosa"*, Accademia Naz. le di Agricoltura - C.N.R., Bologna, 15.06.01, pp. 80-98.
- CALIANDRO A., RUBINO P., STELLACCI A.M. (2007): *Water resources use optimisation in the Mediterranean basin*, in RANA G., MASTRORILLI M., ALBRIZIO R. (Ed), "WEMED Workshop: How to advance the knowledge on water use efficiency in the Mediterranean region?" OPTIONS MEDITERRANÉENNES, SÈRIE A: SÈMINAIRES MEDITERRANÉENNES, vol. 72; pp. 47-56, ISSN:1016-121X.
- CANTORE V., BOARI F., ALBRIZIO R., DE PALMA E. (2005): *Influenza della pacciamatura sui consumi idrici e sull'efficienza d'uso dell'acqua del melone*, Proceeding of SIA Conference, Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali, Foggia, 20-22 September 2005.
- CAVAZZA L., ROSSI P., DE SENEEN M.O., GAMMINO M. (1996): *Evaluation of an irriga-*

- tion scheduling programme for providing advice to farmers*, in Proceeding of ICID/FAO workshop on Irrigation Scheduling. Rome, Italy, 12-13 September 1995, pp. 129-134.
- CAVAZZA L., PATRUNO A. (2009): *Limits of mixing water at different salt contents for irrigation*, in *Irrigation, salinization and desertificazione*, Aracne editrice, Rome, pp. 47-57.
- FICCO N. (1961): *Un triennio di sperimentazione irrigua con acque salmastre*, «Genio Rurale», 24, pp. 753-766.
- HSIAO T.C., STEDUTO P., FERERES E. (2007): *A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture*, «Irrig. Sci.», 25, pp. 209-231.
- MANNINI P., GENOVESI R., LETTERIO T. (2007): *Il risparmio idrico attraverso il servizio interattivo di assistenza irrigua irrinet*, AIIA 2007: Firenze, 25-26 ottobre 2007. L'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare
- MANNINI P. (2004): *Le buone pratiche agricole per risparmiare acqua*, Supplemento di «Agricoltura», 18, Regione Emilia-Romagna, 178 pp.
- MANNINI P., ANCONELLI S., GUIDOBONI G. (2005): *Incrementare l'efficienza irrigua dei rotoloni con diffusori innovativi*, «L'Informatore Agrario», n. 42, pp. 69-74.
- PANTANELLI E. (1929): *Irrigazione con acque salmastre*, «Risveglio Agricolo», 2 e 3, pp. 37-41 e pp. 83-90.
- TARANTINO E., RUBINO P. (1982): *Confronto tra metodi e regimi irrigui su coltura di pomodoro da industria nel Metapontino*, «L'Irrigazione», 29 (2), pp. 17-26.
- VENEZIAN SCARASCIA M.E., CALIANDRO A., RUBINO P. ET AL. (1987): *Yield response to different amounts of irrigation water for its best utilization*, Atti Int.Comm. on Irrigation and Drainage, 13th ICID Congr., Rabat-Morocco, pp. 189-224.

Il ruolo della fertilizzazione nel futuro dei seminativi

INTRODUZIONE

La fertilizzazione dei seminativi è una pratica agronomica indispensabile per il conseguimento di risultati produttivi quanti-qualitativi ottimali. Negli ultimi decenni la fertilizzazione ha subito forti limitazioni per due ragioni i cui effetti hanno condotto a risultati analoghi: l'applicazione di regolamenti di tutela ambientale e la forte spinta a ridurre i costi aziendali. Mentre in passato il principale obiettivo di questa pratica agronomica consisteva nell'apportare elementi nutritivi alle colture al fine di incrementarne o sostenerne la risposta produttiva, si cerca oggi di proteggere l'ambiente massimizzando l'efficienza d'uso degli elementi nutritivi (Chien et al., 2009). L'adozione di strategie che consentano di fertilizzare con elevata efficienza agronomica permette teoricamente di perseguire congiuntamente i vari obiettivi.

A livello applicativo, però, non sempre gli obiettivi agronomici, economici e ambientali collimano. I valori medi spesso riportati in letteratura indicano efficienze d'uso nell'impiego degli elementi nutritivi non molto elevate. Ladha et al. (2005), analizzando dati relativi a numerosi esperimenti, indicano valori di efficienza d'uso del fertilizzante azotato in media non superiori al 50% a seguito di perdite per lisciviazione, denitrificazione, volatilizzazione, erosione o riduzione della disponibilità (immobilizzazione nei composti organici, retrogradazione), come anche indicato da Weinbaum et al. (1992) e Chien et al. (2009). Stime recenti relative all'utilizzazione dei fertilizzanti azotati nella

* *Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del territorio, Università di Torino*

** *Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari*

*** *Assessorato Agricoltura, Regione Emilia Romagna*

produzione di cereali a livello mondiale riportano valori di efficienza prossimi al 33% (Raun e Johnson, 1999). Questi valori risultano ancora minori per i concimi fosfatici con stime di efficienza d'uso variabili tra il 10 e il 30% e con risorse che, in relazione alle tecnologie attualmente disponibili, appaiono temporalmente limitate (Varanini et al., 2008).

Le efficienze d'uso degli elementi nutritivi nei nostri ambienti, non risultano sempre così basse. Per esempio Montemurro (2003) riporta valori di recupero apparente del fertilizzante azotato pari al 58% per il mais, Delogu et al. (1998), del 63% per l'orzo e 56% per il frumento, e Tei et al. (2002) valori superiori al 68% per il pomodoro da industria. Anche in Italia, però, l'incremento della capacità d'uso delle risorse nutritive da parte delle piante rimane un obiettivo importante da perseguire e sia il mondo della ricerca scientifica che quello industriale sono fortemente impegnati a ridurre le contaminazioni dell'ambiente e salvaguardare le caratteristiche quali-quantitative delle produzioni (Rahn, 2010). Inoltre, i valori di efficienza elevati osservati in alcune condizioni si riferiscono prevalentemente ad attività di sperimentazione e comunque all'impiego di dosi vicine a quelle ottimali e ad applicazioni frazionate dei fertilizzanti. Le efficienze d'uso del fertilizzante azotato, infatti, tendono a diminuire proporzionalmente all'aumentare della quantità apportata e a incrementare con il frazionamento degli apporti (Weinbaum et al., 1992).

Va inoltre osservato che a livello aziendale l'empirismo ancora esiste nella definizione dei fabbisogni nutrizionali delle colture e degli apporti ottimali, ma anche l'elevata variabilità spaziale e temporale della crescita e produzione causata, a sua volta, dalla variabilità delle proprietà del suolo e dell'andamento climatico, determinano spesso il verificarsi di efficienze d'uso basse. Inoltre, grande importanza assumono la tipologia di fertilizzante applicato, l'epoca di somministrazione e la modalità di distribuzione in funzione del tipo di coltura.

Questo lavoro intende pertanto descrivere le strategie disponibili per ottimizzare la gestione della fertilizzazione dei seminativi, discutendone pregi e difetti in una logica agronomica e ambientale e suggerendo gli approcci che possano consentire di aumentare l'efficienza di questa pratica agronomica in Italia. In particolare, dopo alcune considerazioni sul consumo dei fertilizzanti in Italia, e sulla sua evoluzione nell'ultimo ventennio, si concentrerà l'attenzione sulla definizione dei fabbisogni fertilizzanti (dose ottimale di elementi nutritivi da apportare). A tal fine si utilizzerà come riferimento il bilancio degli elementi nutritivi nel sistema suolo-pianta e si descriveranno approcci caratterizzati da diverso grado di complessità: il bilancio medio, il bilancio stagionale semplificato, il bilancio stagionale prevedente l'impiego di indica-

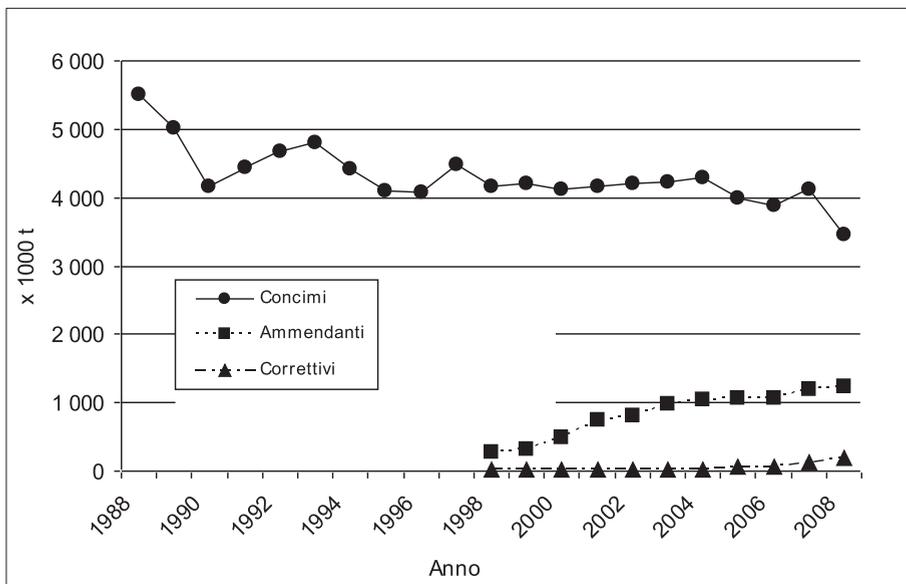


Fig. 1 *Quantitativo di concimi, ammendanti e correttivi commercializzati in Italia da 1988 al 2009 (dati rielaborati da ISTAT)*

tori colturali. Saranno infine descritte le potenzialità di questi ultimi, poiché gli indicatori colturali consentono di tener conto e di gestire la variabilità spaziale e temporale nella crescita delle colture, e di modificare di conseguenza la stima dei fabbisogni fertilizzanti inizialmente stabiliti, rappresentando quindi il presupposto per l'applicazione di strategie di fertilizzazione sito specifica. Allo scopo di riportare i risultati dell'attività di ricerca e sperimentazione condotta sul territorio nazionale, si forniranno esempi basati su alcune colture guida: frumento tenero, grano duro, mais, pomodoro e barbabietola da zucchero. In questa nota si farà riferimento alla sola ottimizzazione della gestione della concimazione azotata.

EVOLUZIONE NEL CONSUMO DEI FERTILIZZANTI

L'impiego dei fertilizzanti può essere descritto dai dati ISTAT relativi al loro impiego (Istat, 2010). In figura 1 e 2 si riporta un'aggregazione a livello nazionale dei dati provinciali disponibili a partire dal 2008.

Con riferimento agli ultimi 21 anni si nota che l'impiego dei concimi minerali ha subito una forte riduzione alla fine degli anni 80, per poi sostan-

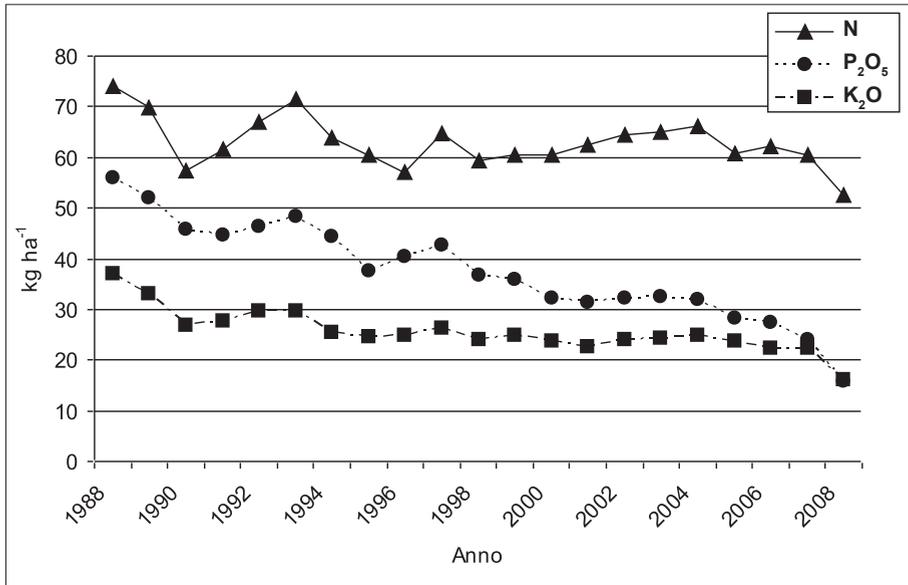


Fig. 2 Unità di macroelementi inclusi nei fertilizzanti commerciali utilizzati in Italia dal 1988 al 2009 (dati rielaborati da ISTAT)

zialmente stabilizzarsi nel quindicennio successivo (fig. 1). Il mercato è risultato nuovamente instabile e tendenzialmente in decrescita a partire dal 2005. All'opposto il consumo di fertilizzanti appartenenti alla categoria dei correttivi, ma soprattutto degli ammendanti (censiti dall'ISTAT solo dal 1998), è risultato essere in continua crescita negli ultimi 11 anni. L'aumento del consumo degli ammendanti equilibra la riduzione del consumo dei concimi minerali.

I dati relativi ai consumi unitari dei tre principali macroelementi sono riportati in figura 2. Da essi emerge una notevole variazione relativa nell'impiego di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K). Si nota infatti una forte riduzione nell'uso di P, un calo meno pronunciato nell'uso di K, mentre una maggiore costanza nell'impiego dell'N a partire dal 1990, fatta eccezione per una nuova riduzione riscontrata nell'ultimo biennio (2007-2009). Nel periodo considerato, quindi, al progressivo ridursi nel consumo dei concimi, è corrisposto un aumento del rapporto N/P e N/K di quelli impiegati. Dai dati riportati risulta che oggi i due rapporti sono intorno a 2,5. Per N/P tale valore è prossimo all'effettivo rapporto riscontrabile nella composizione della sostanza secca asportata per la maggior parte delle colture. Per N/K tale valore è adatto alle colture da granella, avvicinandosi alla composizione delle cariossidi, ma troppo alto con riferimento alle colture la cui intera produzione

è asportata dal campo (raccolta sia della granella che dei residui pagliosi). È comunque necessario considerare che gli elevati apporti di concimi potassici spesso effettuati in passato hanno determinato il costituirsi in molti suoli di riserve elevate dell'elemento, che potrebbero giustificare l'attuale riduzione riscontrata.

IL BILANCIO DEGLI ELEMENTI NUTRITIVI

Il bilancio colturale tra apporti e asportazioni delle colture costituisce il punto di partenza e il fulcro per la definizione e interpretazione delle strategie impiegabili per stabilire gli apporti di elementi nutritivi alle colture. Grignani et al. (2003) forniscono un quadro di riferimento delle voci spesso incluse in tale bilancio, che è una semplificazione del più complesso ciclo dell'azoto nel sistema suolo-pianta. In relazione alle voci riportate nella tabella 1 la dose di concime da apportare (F_c) può essere descritta secondo la seguente formula:

$$F_c = Y * b - (F_o + Bf_x \pm S \pm M_p + M_f + D_a) + Z$$

Quando si applica la formula si adottano alcune semplificazioni pratiche. Fare chiarezza sulle semplificazioni a cui si ricorre è necessario per orientare la concimazione verso l'adozione di criteri di maggiore razionalità. Si noti innanzitutto che così come è proposta la formula di bilancio fa riferimento a un periodo di durata superiore al ciclo colturale e quindi, normalmente, a un intero anno.

La voce ($Y*b$), che corrisponde alle asportazioni di elementi nutritivi operate dall'intera pianta, può essere suddivisa in asportazioni operate dalla produzione utile raccolta (Y_u e b_u), asportazioni operate da paglie e da altri residui non raccolti (Y_p e b_p), e asportazioni operate da parte degli apparati radicali (Y_r e b_r) (tab. 1). Nell'ottica di gestire a livello aziendale la fertilizzazione, le asportazioni degli apparati radicali sono sempre da trascurare per l'oggettiva difficoltà di misura e perché possono essere considerate come sottocicli di quantità di elementi nutritivi poco suscettibili di perdite o blocco. La distinzione tra Y_u (e b_u) e Y_p (e b_p) dovrebbe invece essere sempre esplicita. Di fatto in alcuni casi non lo è e si confonde la somma ($Y_u + Y_p$) con la sola produzione utile Y_u anche quando i residui sono lasciati in campo. Nei casi in cui solo Y_u sia effettivamente raccolto e Y_p lasciato in campo (ad esempio nel mais da granella, quando stocchi e foglie sono interrati, o nella coltivazione del pomodoro), se il metodo di bilancio utilizzato considera (Y_u

		BIL. CULTURALE MEDIO	BILANCIO CULTURALE STAGIONALE	
		“Limite Massimo”	“Produzione Integrata”	“Indicatori culturali”
Y	Produzione della coltura distinguibile in parte utile raccolta (Yu), paglie o altri residui non raccolti (Yp) e radici (Yr)	Sì, medio	Sì, stagionale	Sì, medio
b	contenuto in N (P o K) della coltura distinguibile (come Y) in bu, bp e br	Sì, medio	Sì, stagionale	Sì, medio
±S	Mineralizzazione/Organizzazione o altri apporti/immobilizzazioni a carico di pool stabili del suolo	No	Sì, medio	Sì, stagionale
±Mp	Mineralizzazione/Organizzazione da paglie o altri residui del ciclo colturale precedente	No	Sì, stagionale	Sì, stagionale
Mf	Effetto residuo di apporti di effluenti zootecnici, compost o ammendanti la cui efficacia fertilizzante si manifesta oltre l'anno di somministrazione	No	Sì, stagionale	Sì, stagionale
Da	Deposizioni atmosferiche secche o umide	No	No	No
Bfx	Azotofissazione (in genere di leguminose)	Sì, medio	Sì, medio	Sì, medio
Fc	Apporti da concimi minerali, organo-minerali o organici	Sì, medio	Sì, stagionale	Sì, stagionale
Fo	Apporti da effluenti zootecnici, compost o altri ammendanti	Sì, medio	Sì, stagionale	Sì, stagionale
Z	Perdite, distinguibili in lisciviazione (Zl), ruscellamento superficiale (Zr), volatilizzazione di ammoniaca (Zv) emissione di ossido o protossido di azoto (Zp) o denitrificazione (Zd)	No	Sì, stagionale per la sola lisciviazione	Sì, stagionale

Tab. 1 *Voci del bilancio colturale degli elementi nutritivi e confronto di tre diverse modalità di gestione della fertilizzazione, che considerano le diverse voci come valore medio o valore modulato stagionalmente*

+ Yp), allora diventa importante considerare l'apporto di elementi nutritivi dovuto alla mineralizzazione dei residui culturali con il termine Mp. In rari casi può risultare giustificato considerare Mp negativo, per indicare un blocco di elementi nutritivi dovuto al prevalere di fenomeni di organizzazione (ad esempio a seguito di un apporto molto elevato di paglia). In questi casi, però, tale immobilizzazione deve essere contabilizzata come apporto da parte della mineralizzazione di sostanza organica del suolo (S) negli anni successivi.

La voce Mf dovuta a precedenti apporti di effluenti zootecnici, compost

o ammendanti stabili perché a elevato rapporto C/N risulta di interessante quantificazione solo se riferita ad apporti saltuari o irregolari. Nel caso di somministrazione regolare, invece, la voce *Mf* può essere inclusa nella quota *Fo* semplificando l'applicazione della formula del bilancio. In un equilibrato piano di concimazione vale la regola che nel lungo periodo le voci di blocco e mineralizzazione tendono a equilibrarsi almeno per l'N.

La voce di apporto via deposizioni umide o secche (*Da*) è di necessaria quantificazione solo per N e va considerata pari a un valore compreso tra 20 e 30 kg N ha⁻¹ anno⁻¹.

Il termine *Bfx* indica l'azotofissazione. L'azotofissazione è importante per le leguminose e una serie di valori validi per gli ambienti italiani possono essere dedotti da Grignani et al. (2003). In assenza di altre informazioni più di dettaglio, può essere ritenuto accettabile il considerare le principali leguminose coltivate in Italia come autosufficienti in termini di N ($Bfx = Y * b$). Quando si apporta N alle leguminose, la stessa quantità deve essere sottratta a *Bfx* (per l'effetto depressivo della concimazione azotata sull'azotofissazione) o deve essere quantificata con segno opposto nel termine *Mp* a favore del ciclo colturale successivo (può essere, ad esempio, il caso di prati avvicendati con leguminose che ricevono effluenti zootecnici e che liberano notevoli quantità di N nella coltura da rinnovo).

Varie considerazioni devono essere effettuate circa la quantificazione della voce *Z* relativa alle perdite.

Innanzitutto le perdite potrebbero essere distinguibili in lisciviazione (*Zl*), ruscellamento superficiale (*Zr*), volatilizzazione di ammoniaca (*Zv*), emissione di ossido o protossido di azoto (*Zp*) o denitrificazione (*Zd*). Nelle applicazioni del bilancio al piano di concimazione si distingue al massimo la voce *Zl*, dalle altre, ma è più frequente il caso in cui vengano considerate congiuntamente.

Le perdite sono sempre da minimizzare (fino al livello delle cosiddette "perdite inevitabili"), ma non sono annullabili e quindi gli apporti di fertilizzante ne devono sempre tenere conto. L'applicazione rigorosa dell'equazione di bilancio quantifica le perdite come differenza tra le voci riportate nell'equazione precedente

$$Z = Fc + (Fo + Bfx \pm S \pm Mp + Mf + Da) - Y * b$$

Nei piani di concimazione la voce delle perdite viene quantificata ricorrendo a "coefficienti di efficienza", come ad esempio riportato per gli effluenti zootecnici nei Programmi di Azione regionali in applicazione della Direttiva

Nitrati (DM 7 aprile 2006) o nei disciplinari di produzione integrata predisposti da varie Regioni in conformità alle “Linee guida nazionali per la produzione integrata delle colture” (DM 2722 del 17/04/2008). I coefficienti di efficienza esprimono le perdite come frazione della quantità di fertilizzante apportato e delle disponibilità naturali:

$$Z = (1 - kc) * Fc + (1 - ko) * Fo + (1 - kt) * (\pm S \pm Mp + Mf + Da)$$

La voce kc indica l'efficienza della concimazione minerale. Negli ultimi anni, dopo l'applicazione anche in Italia della Direttiva Nitrati, si considera spesso che kc sia pari a 1, secondo un'interpretazione che confonde l'efficienza del concime chimico con l'obiettivo di politica agro-ambientale derivante dalla necessità di consentire l'uso dei concimi minerali nelle aziende zootecniche solo se impiegati con elevata efficienza agronomica e se il migliore impiego possibile degli effluenti zootecnici non risulti sufficiente a soddisfare il fabbisogno delle colture. Nelle aziende non zootecniche l'impiego del valore 1 è privo di senso agronomico e ambientale. Sarebbe meglio proporre un valore obiettivo molto elevato (ad esempio 0,80), ma realizzabile.

La voce ko indica l'efficienza della fertilizzazione con effluenti zootecnici, compost o altri ammendanti. Per la quantificazione di ko si fa riferimento in genere a quanto riportato in applicazione alla Direttiva Nitrati (DM 7 aprile 2006) dove le efficienze oscillano intorno a valori prossimi allo 0,50, suggerendo quindi un'elevata perdita di azoto nell'ambiente associata all'uso di tali fertilizzanti.

La voce kt è detta “coefficiente tempo” e indica la parte di apporti naturali derivanti dal suolo o dall'atmosfera che risultano disponibili per la coltura in relazione al suo specifico ciclo colturale (Ermes Agricoltura, 2010). Per le colture che coprono il terreno tutto l'anno è pari a 1 (ad esempio i prati), per le colture primaverili estive con ciclo inferiore all'anno, ma assorbimento sincrono ai flussi di mineralizzazione dalla sostanza organica del suolo è di circa 0,70 (ad esempio mais, pomodoro o girasole), per le colture autunno vernine è più basso e di circa 0,60 (ad esempio frumento). Si riduce ulteriormente a valori inferiori a 0,50 nel caso di colture orticole di breve ciclo.

La voce relativa alle vere perdite (Z) non va confusa con le immobilizzazioni reversibili stimate, nell'equazione citata, dalle immobilizzazioni a carico dei pool organici del suolo a lungo turnover ($-S$) o con le immobilizzazioni di breve periodo conseguenti alle somministrazioni di paglie o altri residui organici a elevato rapporto C/N ($-Mp$).

Nel considerare lo sviluppo futuro dei piani di concimazione deve essere considerata criticamente l'utilità di impiegare i coefficienti di efficienza della

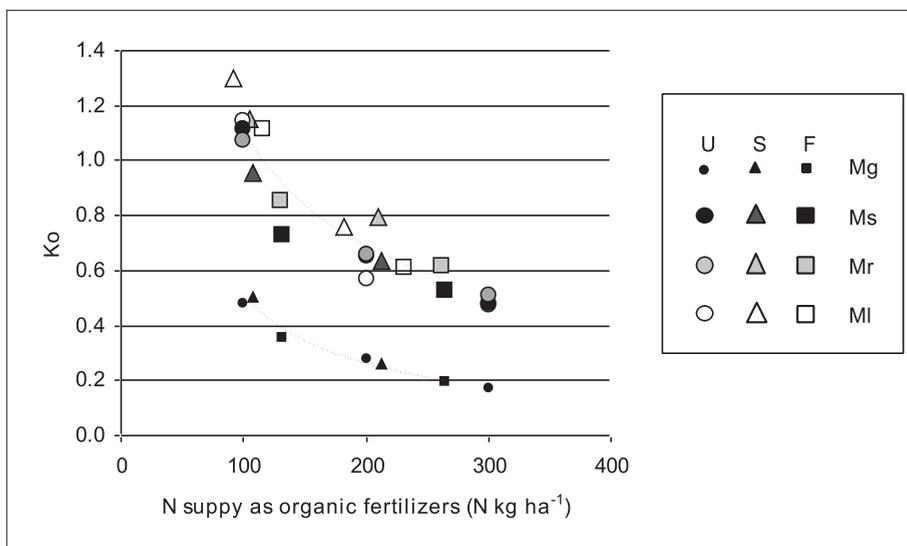


Fig. 3 *Variazione del coefficiente di efficienza di apporti crescenti di azoto in funzione della forma del fertilizzante (U urea, S liquame bovino e F letame bovino), su diverse colture (Mg, mais granella, Ms mais insilato, Mr mais insilato – loiessa, Ml mais e prato) (da Zavattaro, dati inediti)*

concimazione (kc e ko). L'impiego empirico di tale approccio potrebbe essere considerato corretto solo se effettivamente l'efficienza della concimazione rimanesse costante, almeno nell'intervallo di valori nell'ambito dei quali variano gli apporti di fertilizzanti. Questo è impossibile, anche sul piano teorico, perché kc e ko variano sempre in funzione di un complesso di fattori tra cui gli apporti di concimi (fig. 3). Quindi utilizzare nei piani di concimazione i coefficienti di efficienza per calcolare la quantità di concime da apportare, quando il coefficiente dipende da tale quantità, risulta evidentemente contraddittorio. È auspicabile che in futuro il coefficiente di efficienza nella redazione dei piani di concimazione sia superato e un'effettiva quantificazione delle perdite accettabili sia inclusa esplicitamente.

Il metodo del bilancio è di difficile applicazione nella sua versione completa. Le principali difficoltà che gli agricoltori spesso lamentano riguardano, soprattutto, la necessità di effettuare calcoli non facili e che richiedono l'utilizzo di opportuni software per minimizzare gli errori e rendere confrontabili i risultati. Un'ulteriore difficoltà è collegata alla diffusa reticenza ad acquisire in modo preciso e ordinato tutta una serie di informazioni che riguardano le caratteristiche chimico-fisiche del terreno e la storia agronomica degli appezzamenti. Occorre anche aggiungere che il metodo prende in considera-

zione fattori difficilmente stimabili e ciò determina che in alcune situazioni non si riesca a simulare in modo adeguato la realtà. Risulta quindi agli occhi dell'agricoltore non del tutto comprensibile e si configura come un adempimento burocratico più che una scelta tecnica. L'applicazione completa del metodo del bilancio è quindi di scarso significato applicativo e sono necessarie opportune semplificazioni per consentirne l'impiego a livello aziendale. Tali semplificazioni riguardano il ricorso a bilanci medi o bilanci stagionali caratterizzati da diverso grado di complessità.

I bilanci medi trascurano la variabilità climatica interannuale e si concentrano su soli dati medi. Anche la variabilità tra diversi appezzamenti colturali viene trascurata, a meno che non si traduca in notevoli variazioni negli apporti delle colture. I bilanci stagionali tengono invece conto della variabilità di parametri climatici, pedologici e colturali, ma con approcci caratterizzati da diverso grado di complessità, in relazione al tipo e numero di parametri considerati, alla modalità prevista per la loro quantificazione (per classi o mediante equazioni regressive o deterministiche), e infine alla scala temporale con la quale vengono determinati.

Nella forma più semplice, infatti, il bilancio stagionale considera solo i valori di parametri calcolati nella fase iniziale del ciclo colturale. Nella forma più complessa, il bilancio stagionale può prendere in esame la variazione di alcuni indicatori nel corso del ciclo colturale (prevalentemente parametri relativi al suolo o alla pianta, ma anche di natura climatica) e di conseguenza calcolare apporti specifici in funzione di effettive esigenze della coltura. Tra i parametri che è possibile considerare, quelli colturali rivestono un ruolo molto importante perché la risposta della coltura racchiude in sé l'effetto dell'interazione dei numerosi fattori di natura diversa che concorrono a determinarla.

Di seguito saranno riportati esempi di applicazione i) di bilancio medio semplificato (a cui si farà riferimento come metodo del *Limite Massimo*), ii) di bilancio stagionale semplificato (a cui si farà riferimento come metodo della *Produzione Integrata*) e infine iii) di bilancio stagionale prevedente l'impiego del metodo degli *Indicatori Colturali* per il monitoraggio e controllo della variabilità spazio-temporale nell'accrescimento delle colture.

UN'APPLICAZIONE SEMPLIFICATA DEL BILANCIO AZOTATO MEDIO: IL METODO DEL *LIMITE MASSIMO*

Un sistema molto semplice per gestire la fertilizzazione delle colture è quello utilizzato nell'applicazione più diffusa dei Programmi di Sviluppo Regionali

	PIEMONTE	EMILIA ROMAGNA	PUGLIA	MEDIA	DEV.ST.
Grano duro (gran.)		2,46	2,24	2,28	0,21
Grano duro (pt. intera)	3,00	3,18	2,50	2,94	0,25
Grano tenero (gran.)		1,98	2,13	2,10	0,15
Grano tenero (pt. intera)	2,60	2,46		2,59	0,19
Grano tenero FF/FPS (gran.)		2,41		2,41	
Grano tenero FF/FPS (pt intera)	3,00	2,89		2,96	0,06
Mais da granella (gran.)		1,50	1,58	1,56	0,18
Mais da granella (pt. intera)	2,20	2,22		2,27	0,23
Mais trinciato (tal quale)	0,40	0,37		0,39	0,10
Barb. da zucchero (pt. intera)	0,30	0,27	0,45	0,31	0,05
Pomodoro da industria	0,30	0,25	0,20	0,26	0,04

Tab. 2 *Asporti unitari di azoto espressi in kg N per 100 kg di produzione. Confronto tra dati proposti per l'applicazione dei disciplinari di produzione integrata in tre Regioni Italiane e come media di tutte le Regioni Italiane (da documentazione elaborata del Gruppo Tecniche Agronomiche – Produzione Integrata). FF/FPS indica grani di forza o speciali*

(Reg. CE n° 2078/92, 1257/99 e 1698/2005) quando si stabilisce un tetto massimo per la concimazione. Esso rappresenta una applicazione del bilancio medio. Come si evince dalla tabella 1, questo approccio (al quale per semplicità ci si riferirà qui come metodo del *Limite Massimo*), nella sua veste più semplificata, è quello che prende in considerazione il minore numero di voci di bilancio.

Questa strategia è stata utilizzata in varie Regioni d'Italia a partire dagli anni 90 per la adozione di pratiche di fertilizzazione più rispettose dell'ambiente e della salute dell'uomo e per consentire alle aziende agricole che aderivano a tali misure agro-ambientali di percepire un premio commisurato all'attesa perdita di reddito aziendale per gli impegni specifici assunti. Oltre alla pratica applicazione del regolamento e al conseguente premio per le aziende, in termini più generali la strategia Limite Massimo ha informato programmi di assistenza tecnica e reso possibile lo sviluppo di "Disciplinari di Produzione Integrata" (DPI). Su questa base sono in fase di adozione marchi di qualità che potrebbero promuovere commercialmente i prodotti agricoli.

La semplicità del metodo Limite Massimo è insita nel fatto che è un bilancio medio. Esso trascura quindi la variabilità climatica interannuale e si concentra sul solo dato di asporto e apporto. L'equazione di bilancio è quindi

estremamente semplificata e, se non sono apportati effluenti zootecnici o altri fertilizzanti organici, è riconducibile alla seguente:

$$F_c = Y b - B_{fx},$$

dove Y e b si riferiscono alla sola produzione utile. Per le leguminose è presa implicitamente in considerazione anche la voce relativa all'azotofissazione, pertanto F_c è ridotto rispetto a Yb della quantità B_{fx} .

Il livello massimo produttivo Y è legato a statistiche regionali, il contenuto b in elementi nutritivi è stabilito normalmente da valori medi pubblicati dalle Regioni con riferimento al loro intero territorio (tab. 2). I vantaggi e gli svantaggi del metodo Limite Massimo derivano entrambi dall'estrema semplicità dell'approccio. Da un lato questo metodo non prevede difficili controlli sulle modalità di formulazione del bilancio, dall'altro non consente alcun adattamento alle specifiche situazioni aziendali.

Si può concludere che questi metodi così semplificati servono solo per esprimere valori di riferimento (*baseline*), limiti massimi da non superare per l'applicazione di regolamenti agro-ambientali (valori soglia) o come base di ragionamento per applicare più evoluti indicatori colturali della fertilizzazione, che vengono discussi in seguito.

DAL BILANCIO MEDIO AL BILANCIO STAGIONALE: NECESSITÀ DI INDICATORI PER STIMARE LA VARIABILITÀ

I metodi basati sul bilancio medio degli elementi nutritivi per la definizione dei fabbisogni nutrizionali delle colture si fondano sulla definizione della produzione attesa e sulla stima della disponibilità potenziale media di nutrienti nel suolo durante il ciclo colturale. Tuttavia la disponibilità potenziale di elementi nutritivi nel suolo è estremamente variabile in funzione delle caratteristiche pedologiche, delle modalità di gestione agronomica (lavorazioni del terreno, precessione colturale, gestione dei residui colturali, ecc.) e soprattutto della variabilità interannuale delle condizioni climatiche che fa sì che nella stessa località il potenziale produttivo possa differire estremamente negli anni come dimostrato dai risultati di numerosi esperimenti di lungo termine (Scharf et al., 2006).

Per questo motivo risulta estremamente importante considerare altri indicatori di natura climatica, pedologica, colturale e relativi alla gestione agronomica che consentano di tener conto della variabilità tra siti diversi, nell'am-

bito dello stesso anno, e di quella interannuale, nell'ambito dello stesso sito. La quantificazione di tali indicatori consente il calcolo di bilanci stagionali. Come prima indicato, i bilanci stagionali possono prevedere l'impiego di indicatori più o meno semplificati e calcolati nella sola fase iniziale del ciclo colturale, al fine di definire una dose "media" annuale (approccio statico), o nel corso del ciclo colturale, con l'obiettivo di calcolare apporti specifici in funzione delle effettive esigenze della coltura (approccio dinamico). Di seguito saranno descritti entrambi gli approcci e, nel caso dell'approccio dinamico, sarà fatto particolare riferimento all'impiego di indicatori colturali.

METODO SEMPLIFICATO PER CALCOLARE UN BILANCIO STAGIONALE:
IL METODO DELLA PRODUZIONE INTEGRATA
BASATO SULL'IMPIEGO DI INDICATORI SINTETICI

L'eccessiva rigidità del metodo Limite Massimo può essere superata se l'azienda è disposta a quantificare anche altre voci dell'equazione del bilancio. In questo caso è possibile modificare tra diversi anni sullo stesso appezzamento o tra diversi appezzamenti nello stesso anno la dose (F_c) di concime da apportare in funzione di variabili ambientali e agronomiche che possono essere prese in considerazione. Per questo si parla di bilancio colturale stagionale (Grignani et al., 2003). Per arrivare a questa quantificazione occorrono indicatori capaci di descrivere altre voci di bilancio, quali quelle relative al suolo, alla mineralizzazione dei residui colturali o alle perdite. Ci si può basare su semplici indicazioni empiriche o su misure dirette sulla coltura o sul suolo. Una proposta di applicazione di bilancio colturale stagionale basato su indicazioni empiriche è stata originariamente avanzata dalla Regione Emilia Romagna nell'ambito dell'applicazione del proprio PSR, e il metodo è stato denominato "Scheda a dose standard". Tale metodo è stato poi adottato a livello nazionale per la gestione della fertilizzazione per il Marchio di Produzione Integrata. In questo paragrafo si descrive questo approccio come metodo Produzione Integrata (tab. 1).

Il punto di partenza nel metodo Produzione Integrata è simile a quello Limite Massimo: ci si riferisce a una situazione standard e si calcola una dose di concime F_c adatta alla previsione di asporto Y_b sulla base del bilancio descritto. Nel metodo Produzione Integrata, però, si prevede la valutazione di una serie di indicatori che consentono di prendere in considerazione altre voci del bilancio. Lo schema logico utilizzabile è riportato in tabella 3.

I parametri considerati per modificare le condizioni di riferimento e i rispettivi valori variano in funzione delle specie coltivate. In particolare, ven-

VOCE	INDICATORE DI VARIAZIONE	DETERMINA UN AUMENTO DI FC	DETERMINA UNA DIMINUZIONE DI FC
Y	Produzione attesa variabile da + 20% a - 20% rispetto allo standard	Y superiore a soglia	Y inferiore a soglia
	Epoca di semina	Data di impianto molto anticipata	
b	Scelta varietale	Utilizzo di varietà ad alto contenuto proteico	
±S	Contenuto di sostanza organica (SO) del suolo	SO bassa	SO alta
±Mp	Tipo di precessione colturale	Cereale con interrimento paglia	Sovescio di leguminosa
Mf	Effetto residuo di apporti di letame o compost		Realizzati apporti di ammendanti
Z	Perdite per lisciviazione a seguito di forte piovosità invernale (piogge del periodo ottobre-marzo)	> 300 mm	

Tab. 3 *Voci di bilancio colturale stagionale utilizzate per adottare il metodo Produzione Integrata. Si riporta per tutte le voci che si adattano alle mutevoli situazioni ambientali, l'indicatore di variazione adottato e gli effetti sulla dose Fc di concime da apportare*

gono presi in esame fattori di variazione della produzione attesa (Y), delle asportazioni unitarie (b) e della disponibilità di elementi nutritivi nel suolo. Questi ultimi consentono di adattare il bilancio alle caratteristiche pedologiche e alla tecnica agronomica adottata. Infine viene considerato l'effetto dell'andamento climatico, e in particolare del regime pluviometrico, sulle perdite di elementi dal sistema (Z).

I fattori di variazione della produzione attesa (Y) e delle asportazioni unitarie (b) considerati dal metodo si riferiscono all'epoca di semina e al tipo di varietà impiegata. I fattori di variazione delle disponibilità di elementi nel suolo riguardano la fertilità media dello stesso, espressa come contenuto in sostanza organica, la precessione colturale e la gestione dei residui, l'apporto di ammendanti organici. Per definire l'aumento complessivo massimo si riportano delle soglie da non superare che sono inferiori alla somma di tutte le voci di incremento previste dalla tabella 3.

Le entità delle correzioni in incrementi o decrementi, in genere, sono state definite seguendo criteri empirici di buon senso agronomico rifacendosi

VOCE	INDICATORE SINTETICO DI VARIAZIONE	FRUMENTO TENERO	FRUMENTO DURO	MAIS GRANELLA
Y	Y superiore a soglia	+ 30	+ 25	+ 30
	Y inferiore a soglia	- 30	- 25	- 30
b	Varietà ad alto contenuto proteico	+ 15		
	Varietà a basso contenuto proteico	- 15		
±S	SO bassa	+ 15	+ 15	+ 15
	SO alta	- 15	- 15	- 15
±Mp	dopo cereale con interrimento paglia	+ 30	+ 30	+ 30
	dopo medicaio	- 80	- 80	- 80
	dopo prati consociati graminacee e leguminose	- 40	- 40	- 40
Mf	Realizzati apporti di ammendanti	- 20		
Z	> 300 mm da ottobre a febbraio	+ 20	+ 20	+ 20
Massimo incremento di Fc		+ 40	+ 30	+ 70

Tab. 4 Esempi di fattori correttivi del bilancio culturale, espressi sotto forma di apporti di N in kg ha⁻¹ medio per l'applicazione del metodo della Produzione Integrata a seguito della variazione di indicatori sintetici

comunque sempre alle conoscenze acquisite nell'applicazione del metodo del bilancio (tab. 4).

Numerose verifiche sperimentali, relative soprattutto all'elemento azoto e alle colture a ciclo autunno vernino, hanno dimostrato che questo metodo permette di determinare con sufficiente precisione gli apporti ottimali di concimi e riduce al contempo eccessi che aumentano i rischi di inquinamento. A tale proposito si riportano i risultati di prove di verifica condotte su frumento tenero in 52 località alla fine degli anni 90 nell'ambito del progetto "Getramin" (fig. 4).

Le valutazioni effettuate nell'ambito delle azioni di monitoraggio previste dalle misure agro-ambientali dei Programmi di Sviluppo Rurale hanno permesso di verificare che le tecniche di fertilizzazione proposte nei DPI permettono un "risparmio" di unità fertilizzanti dell'ordine del 30%, e risultati produttivi in termini quantitativi e qualitativi generalmente non inferiori a quelli raggiunti con le tecniche usuali. I maggiori costi riguardano aspetti gestionali, come analisi del terreno, predisposizione del piano di fertilizzazione, registrazione degli impieghi, maggior numero di distribuzioni.

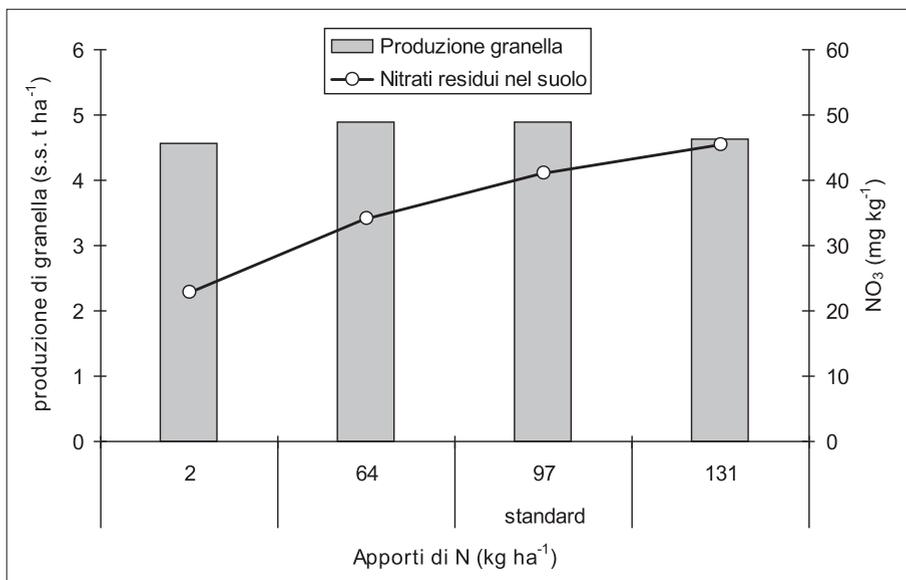


Fig. 4 Effetti sulla produzione di granella di frumento e sul contenuto di nitrati nel suolo di crescenti livelli di concimazione azotata, di cui uno corrispondente alla applicazione della dose standard di azoto (valori medi su 52 prove nell'ambito del progetto "Getramin" della Regione Emilia Romagna)

Tuttavia la variabilità e non predittività a medio termine dell'andamento climatico fa sì che spesso i fabbisogni definiti all'inizio del ciclo colturale possano non rivelarsi adeguati. Condizioni climatiche limitanti possono infatti modificare le dinamiche di crescita e di asportazione delle colture, ma anche indirizzare sia i cicli biogeochimici degli elementi che il movimento degli stessi nel sistema, facendo variare le disponibilità stimate a priori seppure attraverso l'impiego di accurate indagini biochimiche.

Ad aggiungere ulteriore complessità al sistema c'è la variabilità spaziale di proprietà statiche del suolo che, prevalentemente in funzione delle caratteristiche topografiche, può determinare la presenza di aree contraddistinte da considerevole diversità. La variabilità spaziale delle caratteristiche del suolo, interagendo con le condizioni climatiche, può inoltre generare una variabilità della crescita delle colture interna all'appezzamento anche nel corso della stessa stagione di crescita. La differente distribuzione delle componenti tessiturali e la loro interazione con il regime pluviometrico durante il ciclo colturale possono per esempio influenzare la capacità di ritenzione idrica del terreno con conseguente effetto sulla crescita delle colture e sulle asportazioni di N (Basso et al., 2009).

La grande influenza che l'interazione della variabilità spaziale e temporale è in grado di esercitare sulla disponibilità di risorse (in particolare acqua e nutrienti), e di conseguenza sull'accrescimento delle colture, può essere gestita mediante l'adozione di approcci dinamici basati sul monitoraggio dell'andamento di parametri di natura climatica, pedologica e colturale durante il ciclo di crescita al fine di adattare la dose definita a priori ai reali fabbisogni delle colture. Un tale tipo di approccio consentirebbe di ridurre sotto e sovrasstime dei fabbisogni nutrizionali incrementando la sostenibilità economica e ambientale del processo produttivo.

La problematica della variabilità spazio-temporale delle disponibilità di nutrienti riguarda in particolare l'N a causa dell'elevata influenza delle condizioni termo-udometriche del suolo sui cicli biogeochimici e dell'effetto dell'andamento climatico sulla disponibilità dell'elemento apportato mediante interventi di fertilizzazione, in particolar modo se si considerano prodotti a lento rilascio e a rilascio controllato.

Nonostante l'interesse suscitato dalle possibilità di modulare gli apporti di elementi nutritivi in funzione degli effettivi fabbisogni nutrizionali (mediante monitoraggio di parametri pedologici, climatici, colturali), molti degli approcci a disposizione sono ancora in fase di definizione e alcuni di essi risultano poco adatti dal punto di vista applicativo. Tuttavia, soprattutto in futuro potranno assumere sempre più valore. In relazione all'impiego di indicatori colturali, per esempio, nonostante gli studi finora effettuati, e i lavori di sintesi condotti sull'argomento (Schröder et al., 1998; Lemaire et al., 2008), sussistono ancora incertezze su quali siano le metodiche e gli strumenti diagnostici più efficaci per supportare le scelte degli agricoltori e soprattutto sulle modalità di interpretazione dei risultati.

Di seguito saranno descritte strategie miranti a razionalizzare la gestione della concimazione mediante impiego di indicatori colturali che consentono di calcolare un bilancio colturale stagionale dinamico.

CARATTERISTICHE DEGLI INDICATORI COLTURALI PER IL CALCOLO DI BILANCI COLTURALI STAGIONALI

L'impiego degli indicatori colturali, che si riferisce a un ampio range di procedure e metodologie che spaziano da analisi quantitative di laboratorio (diagnostica fogliare, diagnostica peziolare, determinazione quantitativa del contenuto di nitrati nella linfa, determinazione quantitativa della clorofilla nei tessuti o dell'attività di particolari enzimi, ecc.) fino a test rapidi semiquan-

titativi o qualitativi eseguibili direttamente in campo, si basa sul principio che «la pianta stessa rappresenti il miglior indicatore della disponibilità degli elementi nutritivi nel corso del periodo di crescita» (Tremblay, 2004; Olf et al., 2005).

La valutazione dello stato nutrizionale della coltura al fine di modulare le applicazioni di fertilizzanti è sempre stata insita nella pratica agricola. Approcci empirici basati su osservazioni visive della densità o del colore, giudicate in modo assoluto o mediante il confronto con parcelle di riferimento, sono stati successivamente traslati nell'uso di carte colorimetriche. Queste ultime, anche se non hanno avuto grande diffusione in Europa vengono ampiamente impiegate in Asia per la programmazione degli apporti di fertilizzanti su riso (Olf et al., 2005). La ricerca scientifica e tecnologica ha messo poi a disposizione tecniche analitiche e tecnologie sempre più sofisticate che rendono possibile anche in tempi rapidi, e con grande accuratezza, la differenziazione dello stato nutrizionale delle colture.

Lo stato nutrizionale della coltura può essere definito sia mediante impiego di indicatori diretti, basati sulla valutazione delle concentrazioni dei nutrienti nei tessuti, che indiretti, mediante determinazione di proprietà direttamente legate o influenzate dalla disponibilità di quegli elementi.

La concentrazione effettiva di elementi minerali nella pianta è infatti il risultato dell'interazione tra tutti i fattori che ne influenzano la disponibilità fino al momento del campionamento (contenuto dell'elemento nel suolo, tasso di mineralizzazione di composti organici quali sostanza organica nativa, residui colturali, fertilizzanti precedentemente applicati), stato idrico del suolo e della coltura, accrescimento dell'apparato radicale, efficienza di assorbimento, fenomeni di competizione nutrizionale sui siti di assorbimento), in pratica dell'insieme degli elementi elencati nel bilancio riportato (Rossi, 1972).

Tuttavia, come precedentemente indicato, lo stato nutrizionale della pianta può essere descritto anche con la valutazione di altri indicatori biochimici e fisiologici direttamente influenzati dalla variazione delle concentrazioni dell'elemento in esame. Nel caso dell'N, per esempio, poiché l'elemento riveste un ruolo fondamentale nella biochimica vegetale, una situazione di inadeguatezza nutrizionale ha ripercussioni su molteplici vie metaboliche fondamentali. Pertanto, parametri quali la concentrazione (e la fluorescenza) della clorofilla, le caratteristiche ottiche delle foglie, l'attività di specifici enzimi coinvolti in vie metaboliche che portano alla sua utilizzazione (nitrato-reductasi), possono essere considerati potenziali indicatori dello stato nutrizionale azotato (Mambelli et al., 1997).

INDICATORI DIRETTI E INDIRETTI	DETERMINAZIONE ANALITICA	DETERMINAZIONE RAPIDA	
		PRINCIPIO	STRUMENTO
Concentrazione di N totale in specifici tessuti o nell'intera pianta	Digestione a umido (Kjeldahl), combustione a secco (Dumas)		
Concentrazione di N nitrico nella linfa o nei tessuti conduttivi	Cromatografia ionica, spettrofotometria, impiego di elettrodi iono-selettivi	Reazioni colorimetriche (e letture mediante carte colorimetriche o riflettometri) Elettrodi iono-selettivi portatili	Merckoquant test strips Nitrat Schnelltest Cardy-meter
Contenuto in clorofilla totale a livello di foglia copertura vegetale	Spettrofotometria	Valutazione delle proprietà ottiche delle foglie o del manto vegetale (riflettanza, trasmittanza)	SPAD, Hydro N tester Strumenti dotati di <i>active light source</i> (greenseeker, cropcircle); radiometri multispettrali (Yara N-Sensor/FieldScan, Crop-scan, Field-spec, ecc.)
Contenuto in polifenoli (EPhen)	Spettrofotometria	Valutazione delle proprietà ottiche delle foglie (fluorescenza della clorofilla)	Dualex, Multiplex

Tab. 5 *Principali indicatori diretti e indiretti dello stato nutrizionale azotato delle colture e metodologie e strumenti impiegati per determinarli*

Poiché spesso le procedure di determinazione analitica di indicatori sia diretti che indiretti dello stato nutrizionale delle colture risultano complesse e onerose dal punto di vista temporale ed economico, grande interesse ha sempre suscitato la possibilità di disporre di metodologie rapide per la stima di parametri strettamente indicativi dello stato nutrizionale al fine di ridurre sia tempi che costi di esecuzione, ma anche di renderne possibile l'applicazione al di fuori del settore della ricerca scientifica (tab. 5).

Gli indicatori diretti o indiretti dello stato nutrizionale delle colture possono essere riferiti sia ai singoli tessuti (foglie, piccioli, fusti, ecc.) che all'intera copertura vegetale. Attualmente esistono numerosi approcci che si differenziano in relazione al tipo di parametri da misurare e al modo in cui l'informazione ottenuta viene utilizzata per programmare l'intervento di concimazione.

In ogni caso, nonostante l'interesse verso queste metodiche e le grandi potenzialità offerte soprattutto dalla messa a disposizione di strumenti rapidi per le applicazioni "on farm", l'impiego degli indicatori colturali al fine di programmare gli interventi di concimazione si è inquadrato sinora soprattutto come strumento di supporto all'impiego di bilanci degli elementi nutritivi e di indicatori di proprietà del suolo e si basa sull'esecuzione di concimazioni di base e sulla modulazione degli apporti in copertura in funzione delle disponibilità indicate dallo stato nutrizionale della coltura stessa. Nelle fasi iniziali del ciclo colturale, infatti, la copertura del suolo non è sufficiente per l'impiego di misure di riflettanza e colorazione delle foglie e il contenuto fogliare riflette prevalentemente le riserve azotate della coltura e non il quantitativo di N presente nel suolo e disponibile per la pianta (Olfs et al., 2005). Di contro, in stadi di crescita più avanzati, spesso gli indicatori colturali si dimostrano più attendibili di indicatori basati sulla valutazione di proprietà del suolo. Il contenuto di N minerale è infatti estremamente variabile nel corso del ciclo colturale e non sempre rispecchia lo stato nutrizionale delle colture (Radersma e van Evert, 2005; Mambelli et al., 1997).

Infine, un aspetto particolarmente critico riguarda l'interpretazione dei risultati. Infatti, la validità dell'uso di indicatori colturali come strumento diagnostico si basa sull'esistenza di una stretta relazione tra la concentrazione di un elemento nutritivo nell'organo considerato, o il valore assunto dall'indicatore, e l'adeguatezza di quell'elemento per la crescita della pianta. Tuttavia, l'uso corretto di ogni approccio basato sull'analisi delle piante richiede un'accurata standardizzazione delle condizioni di esecuzione per minimizzare l'effetto di numerose variabili. Le concentrazioni degli elementi nutritivi nei tessuti vegetali, e di conseguenza i valori degli indicatori a esse correlati, variano infatti oltre che in funzione di fattori esogeni (temperatura, luce, pressione parziale dell'ossigeno, pH, concentrazione salina esterna, interazione tra ioni) anche in funzione di numerosi fattori endogeni (fattori genetici, tipo di tessuto campionato, età e posizione sulla pianta) di cui è necessario tener conto al fine di interpretare correttamente lo stato nutrizionale della coltura, in particolar modo quando si considerano le sole concentrazioni assolute (impiego di range di sufficienza o di concentrazioni critiche) piuttosto che i valori relativi (derivanti dal confronto con indici ricavati da colture in condizioni nutrizionali ottimali).

Di seguito verranno presi in esame alcuni indicatori diretti e indiretti dello stato nutrizionale, in particolare azotato, della pianta facendo riferimento ai risultati finora raggiunti dalla ricerca internazionale e da quella italiana e cercando di valutare limiti e prospettive dell'inserimento di tali indicatori nella

INDICATORI DIRETTI E INDIRETTI	CARATTERISTICHE	LIMITI E FATTORI CHE NE DETERMINANO LA VARIAZIONE	INTERPRETAZIONE
<p>Concentrazioni di N totale</p> <p>in specifici tessuti</p> <p>nell'intera pianta insieme a dati relativi alla biomassa prodotta</p>	<p>Fortemente correlata alla risposta delle colture in termini di accrescimento e produzione</p>	<p>Tutti i fattori endogeni ed esogeni. Tra questi ultimi particolare importanza assumono le caratteristiche pedologiche. Laboriosità elevata</p> <p>Forte conservatività dei parametri della relazione nell'ambito delle specie in assenza di altri fattori di stress diversi da quelli di tipo nutrizionale. Laboriosità elevata</p>	<p>Impiego di range di sufficienza e concentrazioni critiche definite per stadio fenologico, tessuto della pianta, specie e cultivar</p> <p>Confronto con le concentrazioni critiche derivanti da curve di diluizione definite per singola specie (NNI)</p>
<p>Concentrazione di N nitrico</p>	<p>Correlata alla disponibilità di N minerale nel suolo per la pianta e pertanto più indicativa rispetto alla concentrazione di N totale nella stessa</p>	<p>Oltre ai fattori endogeni, forte influenza delle condizioni ambientali, in particolare del livello di umidità e dell'intensità della radiazione solare nei giorni precedenti il campionamento</p>	<p>Impiego di range di sufficienza e concentrazioni critiche definite per stadio fenologico, tessuto della pianta, specie e cultivar</p> <p>Interpretazione relativa basata sul confronto con valori derivanti da parcelle spia e calcolo di indici di sufficienza. La standardizzazione dei risultati dovrebbe consentire di ridurre l'influenza dei numerosi fattori di variazione.</p>
<p>Contenuto relativo in clorofilla totale a livello fogliare (near sensing)</p>	<p>Correlato alla concentrazione di N</p> <p>Rapido, non distruttivo</p>	<p>Forte influenza di fattori endogeni ed esogeni (specie, cv, posizione ed età della foglia e punto di lettura sulla foglia stessa; stress idrici, termici, caratteristiche pedologiche, ecc.)</p> <p>Capace di discriminare condizioni nutrizionali estreme ma meno efficace nel differenziare lo stato nutrizionale di colture diversamente concimate</p>	<p>Impiego di range di sufficienza definiti per singole specie e cultivar</p> <p>Interpretazione relativa basata sul confronto con valori derivanti da parcelle spia e calcolo di indici di sufficienza. La standardizzazione dei risultati dovrebbe consentire di ridurre l'influenza dei numerosi fattori di variazione.</p>
<p>Riflettanza della copertura vegetale (proximal e remote sensing)</p>	<p>Correlato a parametri strutturali della copertura vegetale (LAI, biomassa, ecc.)</p> <p>Rilevanza legata alla forte correlazione tra contenuto di N, clorofilla fogliare, LAI, biomassa</p> <p>Può consentire l'adozione di tecniche di gestione sito-specifica della concimazione azotata</p> <p>Rapido, non distruttivo</p>	<p>Calcolo di parametri strutturali della copertura vegetale (LAI, biomassa, ecc.)</p> <p>Rilevanza legata alla forte correlazione tra contenuto di N, clorofilla fogliare, LAI, biomassa</p> <p>Può consentire l'adozione di tecniche di gestione sito-specifica della concimazione azotata</p> <p>Rapido, non distruttivo</p>	<p>Calcolo di indici vegetazionali</p>

Tab. 6 *Potenzialità e limiti di alcuni indicatori diretti e indiretti dello stato nutrizionale azotato delle colture*

programmazione dell'intervento di concimazione sia in relazione all'adozione di strategie per ottimizzarne l'impiego e l'interpretazione dei risultati che in relazione alle potenzialità delle strumentazioni innovative a disposizione (tab. 6).

CONCENTRAZIONE DI AZOTO NITRICO NELLA LINFA O NEI TESSUTI DELLA PIANTA

L'esistenza di una stretta relazione tra disponibilità di N minerale nel suolo e concentrazione di N nitrico nei tessuti vegetali ha indotto numerosi studiosi a definire lo stato nutrizionale azotato di specie erbacee e arboree a partire dalla concentrazione di nitrati nella pianta (Lemaire et al., 2008; Olf et al., 2005).

Lo ione nitrico infatti rappresenta la principale forma di trasporto dell'N nelle specie che non riducono lo stesso negli apparati radicali; viene traslocato per via xilematica in tutti gli organi in accrescimento dove può essere accumulato all'interno dei vacuoli. La determinazione del contenuto di nitrati, sia in una parte della pianta (picciolo o stelo) che nel succo xilematico, fornisce una stima della riserva azotata della pianta stessa (Mambelli et al., 1997).

Diversi autori ritengono che l'analisi dei nitrati nella linfa dei piccioli possa fornire una migliore indicazione dello stato nutrizionale azotato perché più sensibile a evidenziare fluttuazioni nella disponibilità di N rispetto al contenuto totale; la concentrazione di nitrati, ossia delle forme non metaboliche dell'elemento, reagisce infatti più rapidamente rispetto alla concentrazione totale a variazioni nella disponibilità complessiva dell'elemento. Il contenuto di nitrati nella pianta è infatti il risultato dell'equilibrio dinamico tra acquisizione e assimilazione che dipende dalle caratteristiche del terreno e dalle condizioni climatiche durante la stagione di crescita (Mambelli et al., 1997). Per questo motivo, la valutazione dell'N nitrico nei tessuti viene spesso impiegata per prendere decisioni in relazione all'epoca di applicazione del fertilizzante e, se calibrata correttamente, anche per la definizione della quantità di N richiesto (Olf et al., 2005).

Generalmente la concentrazione dello ione nella pianta è massima nella fase iniziale del ciclo di sviluppo e in seguito decresce. Tuttavia la relazione non è sempre lineare e risulta pertanto difficile trasferire osservazioni sulla concentrazione di nitrati in espressioni quantitative di condizioni di carenze o eccessi nutrizionali (Schröder et al., 2000). Inoltre la concentrazione di N nitrico non riflette il solo stato nutrizionale: si riduce con l'accrescimento della coltura, è influenzata dal tipo di tessuto considerato, si riduce in presenza di concentrazioni elevate di fotosintetati e pertanto varia nell'arco del giorno, in

particolare nel corso della mattinata, e risulta meno variabile in condizioni di elevato soleggiamento. Infine varia in funzione della disponibilità nel suolo e degli interventi di concimazione.

La validità della stima basata su questo indicatore dipende inoltre dall'accuratezza della sua determinazione analitica. La determinazione quantitativa di laboratorio può avvenire per via spettrofotometrica, cromatografica o mediante impiego di elettrodi ione-selettivi. Numerosi test semplici, rapidi, semiquantitativi della concentrazione di nitrati nella linfa sono stati sviluppati per consentire agli agricoltori di determinare direttamente in campo sui tessuti vegetali e sul succo cellulare le concentrazioni di N nitrico e di prendere decisioni in tempi brevi sulla dose ed epoca di applicazione. Tali procedure semplificate sono basate su reazioni colorimetriche (Merckoquant test strips, Nitrate Schnelltest, colorimetro HACH) o sull'impiego di strumenti portatili come misuratori di ioni (Cardy – Horiba) e riflettometri (Nitrachek) (Olf et al., 2005). Non sempre le correlazioni ottenute tra determinazioni analitiche e procedure rapide risultano ottimali, anche se spesso con differenze tali da non influenzare l'interpretazione dei risultati rispetto allo stato nutrizionale della coltura (Mambelli et al., 1997).

A livello europeo, il test dell'N nitrico nei piccioli è una procedura ampiamente standardizzata e impiegata per la rapida determinazione dello stato nutrizionale N delle colture e l'ottenimento di indicazioni sulle dosi da somministrare a colture di patata (Zhang et al., 1996, e Phillips et al., 2004, in Olf et al., 2005) e frumento (Justes et al., 1994b; Justes et al., 1997, in Lemaire et al., 2008). Altri autori hanno mostrato la correlazione lineare esistente durante l'intera stagione di crescita tra risultati di determinazioni analitiche di laboratorio e misuratori portatili (Cardy Nitrate Meter e Nitrate Pocket Colorimeter II, Hach Company) e definito per la patata range di sufficienza per diversi stadi di crescita (iniziazione dei tuberi, riempimento dei tuberi e maturazione) (Errebhi et al., 1998). Tuttavia, altri studi hanno messo in evidenza come fattori endogeni (epoca di campionamento, posizione del picciolo sulla pianta, età della pianta, cultivar) ed esogeni (momento del giorno nel quale le piante vengono campionate e condizioni ambientali estreme prima del campionamento -siccità, forti piogge-) possano influenzare in modo significativo la concentrazione del nitrato nei piccioli. Anche se un'accurata selezione dei piccioli delle foglie più giovani completamente espanse e la circoscrizione del campionamento intorno a mezzogiorno può consentire di controllare parte della variabilità, i numerosi fattori influenzanti la concentrazione di nitrati nei piccioli spiegano perché in alcuni studi questo tipo di valutazione non sia stata ritenuta valida per la definizione dei fabbi-

sogni nutrizionali N sia per la patata che per altre specie (Olf et al., 2005).

In Italia, la sperimentazione ha evidenziato, soprattutto su colture cerealicole, la forte influenza del grado di umidità del terreno, ma anche delle condizioni di luminosità e temperatura, (Giordani, 2004) sull'attendibilità e ripetibilità dei risultati negli anni.

In particolare, ricerche condotte su frumento hanno mostrato un'elevata correlazione tra gli indici ottenuti con il test rapido Nitrat Schnelltest, di semplice esecuzione e basso costo, e l'effettivo contenuto di nitrati nella parte basale non clorofilliana della pianta (Giordani e Guermandi, 1995). Tuttavia gli stessi autori ritengono che tale criterio possa essere utile solo in fase di accestimento, ma non in fasi successive (spiga a 1 cm e II nodo), benché ritenute più idonee per effettuare la concimazione azotata, a causa della forte influenza sui risultati del contenuto di umidità del suolo (Giordani, 1998). In Francia, infatti, proprio una più uniforme distribuzione delle precipitazioni ha consentito di standardizzare la metodica. In ogni caso, in fase di accestimento, esso risulta più idoneo di altri indici, come quello termo pluviometrico (Giordani, 2008) per stabilire non solo l'epoca, che deve essere posticipata il più possibile, ma anche l'entità del primo apporto di N.

Su orzo, la buona correlazione osservata tra concentrazione dei nitrati nel colletto della pianta, determinata mediante Nitrat Schnelltest, e resa in granello, nelle fasi di accestimento e di raddrizzamento dei culmi, ha indicato la capacità del metodo di discriminare lo stato nutrizionale della coltura (Giordani, 2000). In fase di accestimento valori di 2,4-2,5 vengono riportati come indicativi di condizioni nutrizionali ottimali.

Sul sorgo la valutazione del contenuto di nitrati mediante Nitrat Schnelltest, con metodologia modificata rispetto a quella proposta per il frumento e con l'impiego di sezioni di culmo della zona non clorofilliana di lunghezza di circa 5 mm negli stadi di sviluppo di 4 e 5 foglie e di 5 e 6 foglie, ha mostrato che malgrado l'elevata correlazione osservata tra resa di granello e contenuto di nitrati nella porzione basale della pianta, superiore anche alla relazione osservata tra la stessa e il contenuto di N totale delle lamine fogliari, il test non sembra sempre essere in grado di discriminare sufficientemente lo stato nutrizionale della pianta nelle fasi di sviluppo considerate a causa, anche in questo caso, dello stato idrico del terreno (Giordani et al., 1998).

Per il mais, in fase precoce, la valutazione del contenuto di N minerale nel suolo (PSNT) appare il metodo più valido perché l'analisi dei nitrati nella pianta non è in grado di fornire indicazioni precise a causa dell'enorme variabilità dovuta all'umidità del terreno e alla luminosità nei giorni immediatamente precedenti il rilievo (Giordani, 1997; Giordani et al., 2002).

Da quanto rilevato emerge che l'analisi dei nitrati nel colletto della pianta perde validità quando i rilievi vengono eseguiti con terreno a un grado di umidità tale da non permettere un adeguato assorbimento da parte degli apparati radicali, tanto che è stato proposto di individuare il livello di umidità del terreno che possa essere ritenuto adeguato per rendere confrontabili i risultati negli anni (Giordani et al., 1998b).

Sulla bietola, l'attività di sperimentazione ha evidenziato, oltre alle elevate correlazioni tra nitrati nel colletto e resa in saccarosio, la elevata concordanza negli anni dei valori rilevati indipendentemente dal contenuto di umidità nel suolo a differenza di quanto osservato su colture cerealicole, confermando i risultati positivi ottenuti per questa coltura anche con la valutazione rapida del contenuto in clorofilla (Giordani, 1998). Elevate correlazioni sono state osservate in fase cotiledonare e sono state attribuite alle ridotte e piuttosto costanti modifiche della superficie fogliare che non hanno determinato una forte variazione nella diluizione dell'N, a differenza delle fasi più tardive di 2 e 4 foglie. Gli autori hanno individuato nel valore di 2,4 del Nitrat Schnelltest, eseguito sulla porzione di radice emergente dalla superficie del terreno (generalmente antocianica), il valore che esprime lo stato nutrizionale ottimale per la coltura. Gli indici ottenuti eseguendo il test sui piccioli necessitano invece di ulteriore validazione; determinazioni effettuate in epoche successive allo stadio cotiledonare non sembrano attendibili per poter guidare la concimazione azotata.

Sul pomodoro da industria, è stata evidenziata l'elevata correlazione tra il contenuto di $N-NO_3$ nella linfa dei piccioli e il contenuto di N totale nell'intera pianta e la capacità del test di discriminare lo stato nutrizionale azotato per circa 2/3 del ciclo colturale, periodo cruciale per la gestione della concimazione azotata (Farneselli et al., 2010). Pertanto, gli autori ritengono che, nonostante i numerosi fattori capaci di influenzare la concentrazione di nitrato nei piccioli, il test possa essere ritenuto attendibile per questa specie.

Al fine di standardizzare le condizioni che determinano la variabilità delle concentrazioni di nitrati nei culmi, sul frumento è stata verificata la possibilità di impiego di una valutazione dei risultati in termini relativi con uso di parcelle spia e calcolo di indici di sufficienza (Giordani, 2004).

CONTENUTO IN CLOROFILLA TOTALE FOGLIARE

La concentrazione di clorofilla totale fogliare riflette lo stato nutrizionale delle piante in relazione alla disponibilità di N, Mg e Fe. Numerose ricerche hanno

messo in evidenza la stretta correlazione esistente in molte specie tra il contenuto di clorofilla e la concentrazione di N totale sia per unità di massa che per unità di area fogliare (Olfs et al., 2005). Il contenuto di clorofilla è inoltre spesso ben correlato con l'attività della rubisco e la capacità fotosintetica e rappresenta anche un sensibile indicatore di condizioni di stress della pianta.

I metodi che consentono la determinazione del contenuto in clorofilla *in vitro* forniscono ottimi risultati, ma risultano laboriosi, costosi e distruttivi. La determinazione *in vivo* è invece resa possibile da tecniche spettrofotometriche non distruttive, che non necessitano della preparazione del campione e che si basano su misure di assorbimento differenziale della luce da parte dei tessuti vegetali, sia a livello di singola foglia che a livello di intera canopy, a diverse lunghezze d'onda (solitamente nel rosso e vicino infrarosso). A livello di singola foglia differenti sistemi portatili (SPAD, Minolta; Hydro N-Tester, Yara) consentono la stima del contenuto relativo in clorofilla delle foglie.

Il misuratore di clorofilla SPAD 502 (Minolta Corp., Japan) è uno strumento portatile che misura la trasmittanza della luce nel rosso (650 nm, range di assorbimento della clorofilla) e nel vicino infrarosso - NIR - (940 nm). La misura addizionale della luce assorbita nel NIR è necessaria al fine di correggere la lettura per lo spessore della foglia e il contenuto di acqua (Schröder et al., 1998; Samborski et al., 2009).

La forte correlazione tra concentrazione di clorofilla e letture di SPAD è stata verificata per un ampio spettro di colture. Per numerose specie sono stati definiti sia protocolli di campionamento che efficaci schemi di N-fertilizer recommendations basati sulle letture di SPAD. Al fine di consentire un più semplice impiego per usi applicativi aziendali, lo SPAD è stato successivamente modificato portando alla produzione dell'Hydro N-Tester (Yara International ASA, Norway), strumento particolarmente adatto a supportare le strategie aziendali di applicazione frazionata di fertilizzanti (Olfs et al., 2005).

Molti studi hanno cercato di predire la risposta produttiva delle colture con l'impiego di questi strumenti durante le fasi di crescita e sviluppo. Altri autori hanno cercato di utilizzare queste misure per stimare i fabbisogni azotati delle colture. Tuttavia molte di queste relazioni predittive sono risultate spesso piuttosto deboli perché le letture sono altamente influenzate dalla variabilità interannuale, dalla cultivar impiegata e da numerosi altri fattori.

Infatti, benché la concentrazione fogliare di N abbia l'effetto più marcato sulle letture, risultati sperimentali (Olfs et al., 2005; Schröder et al., 2000; Tremblay, 2004) hanno mostrato che: carenze di S mostrano chiara influenza sulla concentrazione di clorofilla; in condizioni di carenza idrica la concentrazione di clorofilla tende a incrementare senza che ciò sia indice di un migliore stato

nutrizionale; le varietà differiscono nel loro contenuto in clorofilla che è una caratteristica genetica; stato idrico e peso specifico fogliare inducono variazioni dei valori assoluti (Schlemmer et al., 2005). Anche lo stadio di accrescimento, l'età della foglia da misurare, nonché il punto di misura sulla foglia stessa condizionano la lettura. È stata evidenziata poca rappresentatività derivante dalla ristretta area di lettura non essendo la distribuzione dell'N uniforme nella foglia. Inoltre, l'N contenuto nelle molecole di clorofilla rappresenta solo il 2% dell'N totale della foglia che è dominato dall'N delle proteine fotosintetiche; pertanto la relazione sperimentale che può essere stabilita tra clorofilla e contenuto di N rimane altamente empirica (Houles et al., 2007; Lemaire et al., 2008).

Infine a livello di canopy, la stima della clorofilla non fornisce misure accurate del contenuto di N perché la sua distribuzione segue un gradiente verticale all'interno della copertura vegetale: il contenuto di N diminuisce negli strati più bassi e il decremento è linearmente correlato alla riduzione nella intensità luminosa (Grindlay, 1997); inoltre è anche limitato a misure puntuali e non può praticamente essere impiegato a livello spaziale su ampie superfici.

Tenendo conto di queste possibili fonti di variazione, l'uso della misurazione di clorofilla per la gestione della concimazione azotata necessita come ogni altro indicatore colturale di rigidi protocolli di campionamento (Schröder et al., 2000). Alcuni autori suggeriscono l'impiego di valori assoluti e di fattori di correzione in funzione della varietà (Olfs et al., 2005).

Tuttavia anche in questo caso non si riuscirebbe a controllare la variabilità interannuale. Pertanto, sempre più accreditato risulta l'uso di approcci relativi derivanti dal confronto tra i valori delle letture effettuate nell'appezzamento e quelli di parcelle di riferimento in condizioni nutrizionali non limitanti (aree adeguatamente concimate, *well fertilized reference plots*). L'interpretazione viene successivamente effettuata mediante calcolo di indici di sufficienza (*sufficiency index*, o indice di sufficienza azotata – ISA); quando il valore di questo indice risulta inferiore al 95% si rende necessario apportare N. Questo metodo dovrebbe consentire di standardizzare gli effetti di fattori genetici e ambientali.

In Germania numerosissime sperimentazioni di campo su cereali vernini sono state condotte con l'impiego dello Yara N-Tester al fine di programmare la concimazione in funzione di determinazioni eseguite allo shooting (GS 30–32) e ear emergence (GS 37–51) e in alcune regioni, tali N-fertilizer recommendations sono ritenute una strategia idonea a supportare la gestione agronomica per il rispetto dei vincoli imposti dalle normative ambientali (Olfs et al., 2005).

In Italia su mais e bietola sono state individuate buone correlazioni tra contenuto in N totale delle foglie e valori di SPAD (Giordani e Guermandi, 1994 e 1997) su diverse specie.

In particolare, per la bietola i risultati hanno evidenziato che nella fase cotiledonare e dopo lo sviluppo della 6° foglia lo SPAD è in grado di definire lo stato azotato della coltura, poiché i valori mostrano ripetibilità negli anni (Giordani e Bernati, 1998). Tuttavia, gli autori riportano che nello stadio cotiledonare il ridotto intervallo di variazione dei valori potrebbe risultare critico per consentire di discriminare efficacemente lo stato nutrizionale; allo stadio di 6 foglie, nonostante la maggiore attendibilità del dato rilevato, il verificarsi di piogge intense potrebbe rendere poco utilizzabile il test per problemi relativi all'assorbimento del nutriente indipendentemente dalla disponibilità nel suolo (Giordani e Bernati, 1998). Infine, allo stadio di due foglie l'indice non sembra poter fornire risultati ripetibili perché lo sviluppo delle stesse è particolarmente influenzato dalla temperatura.

Su orzo, le letture di SPAD effettuate in fase di accostamento hanno mostrato correlazioni significative con la resa in granella. I buoni risultati ottenuti nelle fasi fenologiche di 2° nodo e di ultima foglia assumono invece minore importanza perché in queste epoche la concimazione non rientra tra le pratiche agronomiche ordinariamente eseguite per la coltura (Giordani, 2000). Lo studio ha tuttavia anche messo in evidenza l'influenza della densità di semina sui valori dell'indice, con valori più elevati rilevati in condizioni di minore densità causata dal verificarsi di danni da freddo.

Sul sorgo, solo a partire dallo stadio di 8° foglia i valori manifestano ripetibilità negli anni e presentano una elevata correlazione con la resa di granella, comportamento attribuito al fatto che la pianta attraversa una fase, che si protrae probabilmente fino alla fecondazione, durante la quale le modifiche del contenuto di N nelle foglie avvengono quasi esclusivamente in dipendenza della disponibilità di N nel suolo (Giordani et al., 1998). Questo stadio fenologico, per il sorgo, a differenza di quanto avviene per la bietola e il mais, risulta idoneo all'esecuzione di interventi in copertura poiché coincide con l'epoca abituale per effettuare la sarchiatura.

Sul mais le analisi rapide del contenuto in clorofilla hanno fornito indicazioni migliori rispetto alla valutazione del contenuto di nitrati nella pianta anche se non sono state ottenute indicazioni precise nella fase V6. Studi condotti su diversi ibridi hanno mostrato come, mentre nello stadio di 4-5° foglia (epoca della sarchiatura) non sia possibile individuare valori precisi e ripetibili, nella fase di 8° foglia sia possibile individuare un unico valore specifico per ogni ibrido, in grado, con un sufficiente livello di precisione, di definire lo stato nutrizionale ottimale della coltura (Giordani, 2002).

Sia per il mais che per il frumento l'adozione di approcci relativi, basati sull'impiego di parcelle spia e di indici di sufficienza, ha fornito risultati at-

tendibili. In particolare, per il mais tale tipo di approccio consentirebbe non solo di evitare l'influenza varietale ma anche di non dover essere così precisi in relazione allo stadio di sviluppo della coltura, anticipando l'epoca di valutazione dello stato nutrizionale che risulta per questa coltura la maggiore limitazione legata all'impiego dello strumento. In ogni caso, anche questo indice sembra aver fornito risultati interessanti solo dopo l'emissione dell'8° foglia.

Per il frumento, l'indice di sufficienza azotata calcolato mediante l'impiego dell'N tester viene proposto come metodo da adottare durante la fase di levata per praticità e attendibilità (Giordani, 2008).

Per il pomodoro da industria, le letture di SPAD sono risultate meno sensibili e attendibili rispetto alle informazioni fornite da altri indicatori (concentrazione dei nitrati nei piccioli e dell'N totale nell'intera pianta) nel caratterizzare lo stato nutrizionale della coltura, avendo fatto rilevare differenze significative solo a 42 e 71 giorni dopo il trapianto (DAT) e solo tra tesi concimate e non concimate (Farneselli et al., 2010). La minore capacità di discriminare lo stato nutrizionale, confermata anche dalla bassa correlazione rilevata tra letture di SPAD e la concentrazione di N totale nell'intera pianta, è stata attribuita dagli autori alla ridotta variazione del peso specifico fogliare nello strato superiore della copertura vegetale e al fatto che l'N presente nella clorofilla rappresenti una bassa percentuale della concentrazione totale di N.

CONCENTRAZIONE TOTALE DI N

La determinazione quantitativa della concentrazione di N totale nell'intera pianta o in specifici tessuti è da annoverare tra i primi e più importanti indicatori diagnostici per la valutazione dello stato nutrizionale delle colture (Mills e Jones, 1996).

La sua validità si basa, come precedentemente indicato, sull'esistenza di una stretta relazione tra la concentrazione dell'elemento nell'organo considerato e l'adeguatezza di quell'elemento per la crescita della pianta.

La sua interpretazione immediata consiste nel confronto univariato dei risultati ottenuti con range di sufficienza o concentrazioni critiche (concentrazioni che consentono di ottenere una produzione compresa tra il 90 e il 95% della massima) definiti, per numerosissime specie e varietà, in funzione di precisi stadi fenologici e di specifici tessuti vegetali campionati, al fine di standardizzare le condizioni di esecuzione e minimizzare l'influenza di fattori endogeni sulle concentrazioni dell'elemento.

Tuttavia, la forte variabilità nell'accumulo di sostanza secca in funzione

anche di fattori esogeni e, in particolare, in funzione delle caratteristiche pedologiche (pH, contenuto in carbonati, conducibilità elettrica, contenuto in sostanza organica) e dell'andamento climatico (temperatura, luminosità, disponibilità idrica) con le sue oscillazioni interannuali, rende difficile l'impiego di standard di riferimento anche se appositamente definiti per precise varietà. Valori alti o bassi possono non sempre essere indicativi di condizioni di adeguatezza nutrizionale o carenza; inoltre la variazione nelle concentrazioni relative di altri elementi nutritivi può modificare lo stato di equilibrio nutrizionale del tessuto. La constatazione che i valori relativi delle concentrazioni di elementi nutritivi possano essere più rappresentativi di quelli assoluti per la caratterizzazione dello stato nutrizionale delle colture ha portato alla definizione di metodi interpretativi basati sulla valutazione bivariata (DRIS) o multivariata (CND) delle concentrazioni dei nutrienti nei tessuti vegetali. Questi metodi, benché abbiano il vantaggio di considerare simultaneamente più elementi nutritivi, necessitano di standard di riferimento definiti in condizioni pedo-climatiche e varietali simili a quelli che richiedono, per la loro costituzione, la disponibilità di un numero molto elevato di campioni.

Un ulteriore approccio per la interpretazione dello stato nutrizionale prende in considerazione le dinamiche di asportazione e rimobilitazione dei costituenti azotati nell'intera copertura vegetale, e prevede la valutazione contemporanea di informazioni relative al tasso di crescita della coltura e alla concentrazione di N. Questo approccio è reso possibile dalla teorizzazione della relazione tra concentrazione di N nei tessuti e accumulo di sostanza secca nella pianta, che si basa sul presupposto che in ogni momento del ciclo colturale esista una concentrazione minima e ben definita dell'elemento che consenta di ottenere il massimo tasso di crescita (concentrazione critica) e che tale concentrazione si riduca con il progredire dell'età della pianta.

La legge che lega questi parametri è nota come legge di diluizione perché il decremento della concentrazione di N è legato alla crescita delle piante come parte di un fenomeno di diluizione dell'elemento da parte degli assimilati di carbonio. I parametri caratterizzanti questa relazione risultano altamente conservativi non solo nell'ambito delle singole specie ma anche dei gruppi metabolici.

Da un punto di vista teorico questo processo deriva dall'assunzione che la pianta sia composta da due pool, uno metabolico (associato ai processi di fotosintesi e di crescita) e uno strutturale (Greenwood et al., 1991; Justes et al., 1994a). Questi pool mantengono la stessa composizione ma variano nella presenza relativa durante la crescita delle piante a causa di due processi: (i) il

declino nel *leaf-shoot ratio* man mano che la biomassa incrementa e (ii) l'allocatione preferenziale di N allo strato superiore di foglie ben illuminato man mano che la canopy si sviluppa.

Il concetto di diluizione, applicato alla concentrazione critica di N, porta alla definizione di curve di diluizione critica. Queste ultime consentono di caratterizzare lo stato nutrizionale delle piante attraverso il calcolo del Nitrogen Nutrition Index -NNI-, indice diagnostico che descrive il rapporto tra la concentrazione effettiva e la concentrazione critica per ogni specifico livello di sostanza secca. Valori di NNI maggiori di 1 indicano colture in buone condizioni nutrizionali mentre valori minori di 1 indicano carenza di N. Il NNI può essere calcolato in ogni momento durante la crescita della coltura e consente di diagnosticare l'esistenza di carenze di N e la loro intensità.

La validità della relazione fisiologica alla base della teoria della diluizione ne ha determinato il grande impiego anche nei modelli di simulazione per la definizione dello stato nutrizionale delle colture. Recentemente sono state tuttavia mosse critiche all'approccio, in particolare alla capacità di simulare la risposta delle piante in presenza di condizioni di stress legate a fattori diversi rispetto a quelli di tipo nutrizionale (Confalonieri et al., 2009).

Nonostante gli aspetti critici, il NNI rimane il più attendibile tra gli indicatori colturali. Considerata pertanto la validità scientifica e l'attendibilità di questo indice diagnostico, la determinazione del Nitrogen Nutrition Index a determinati intervalli durante la crescita vegetativa delle colture potrebbe essere di grande supporto nell'ottimizzare i tempi e il tasso di applicazione dei fertilizzanti azotati al fine di far corrispondere il più precisamente possibile gli apporti di N ai fabbisogni della coltura in funzione della produzione ipotizzata. Tuttavia, una misurazione così frequente, possibile nelle attività di sperimentazione, non è proponibile nelle aziende agricole. La determinazione del NNI implica infatti (i) la quantificazione della biomassa prodotta (actual crop mass, W_a) su aree di campionamento rappresentative e (ii) la determinazione della concentrazione effettiva di N mediante analisi di laboratorio (%N_a). Pertanto, il NNI può essere considerato un valido indicatore di base dello stato nutrizionale delle piante ma è necessario sviluppare metodi indiretti per stimare il suo valore o le sue componenti (W_a e %N_a).

Le ricerche condotte sinora hanno studiato le relazioni tra il NNI e altri indicatori dello stato nutrizionale, quali misure del contenuto di clorofilla, di N nitrico nei tessuti conduttivi, di N totale nelle foglie dello strato superiore della copertura vegetale.

La scelta di quest'ultimo indicatore è legata al fatto che, essendo il decre-

mento della concentrazione di N causato anche dall'allocazione preferenziale dell'elemento allo strato superiore di foglie ben illuminato man mano che la copertura vegetale si sviluppa, il contenuto di N per unità di area fogliare nello strato superiore dovrebbe rimanere più o meno costante in una condizione di approvvigionamento uniforme (Lemaire et al., 2008). La costanza della concentrazione di N dello strato superiore di foglie durante tutto il periodo di crescita e la buona correlazione con il NNI è stata verificata in ricerche condotte su specie foraggere (Gastal et al., 2001, Farrugia et al., 2004, e Gonzalez-Dugo et al., 2005, in Lemaire et al., 2008).

Justes et al. (1994b) hanno invece sviluppato uno strumento di diagnosi integrata basato sulla concentrazione di nitrati nella linfa per la gestione della concimazione azotata in frumento duro e mais, per definire le applicazioni di fertilizzanti. Tuttavia, la relazione tra concentrazione di nitrati nella linfa e NNI necessita opportuna calibrazione per usi applicativi, poiché è complessa e non sempre univoca considerato che la concentrazione di nitrati nel fusto dipende, come precedentemente descritto, da molti fattori tra i quali stadio fenologico, cultivar, temperatura e radiazione solare e non solo dallo stato nutrizionale N della coltura. Nonostante la debole correlazione tra concentrazione di nitrati nella linfa e NNI, gli autori hanno osservato la seguente relazione: quando il NNI era < 1 , la concentrazione non era mai maggiore di 1 g/l, mentre per $\text{NNI} > 1$ la concentrazione di nitrati nella linfa variava da 1 a 10 qualsiasi fosse il valore di NNI. Questo test non può pertanto essere adottato per la stima quantitativa dello stato N della coltura, mentre consentirebbe di distinguere situazioni con probabile deficit di N da situazioni con probabile stato soddisfacente e quindi di adattare di conseguenza la strategia di gestione della fertilizzazione.

Farneselli et al. (2010) hanno osservato, su pomodoro da industria, una elevata concordanza nella valutazione dello stato nutrizionale tra concentrazione di nitrati nei piccioli e NNI tranne che nella fase finale del ciclo colturale (84 DAT), epoca in cui comunque la gestione della concimazione azotata non assume più un ruolo cruciale. La minore correlazione rilevata nell'ultima fase è stata attribuita al fatto che la concentrazione nelle foglie dello strato superiore della copertura vegetale, dal quale i piccioli venivano raccolti, tende a rimanere costante (Farneselli et al., 2010).

In relazione all'impiego di misuratori portatili di clorofilla per la stima indiretta della concentrazione fogliare di N dello strato di foglie superiore, e pertanto del NNI, l'impiego in termini relativi sembra consentire di standardizzare gli effetti del genotipo e dell'ambiente sulla regressione tra SPAD e NNI (Debaeke et al., 2006).

STIMA DEL NNI MEDIANTE VALUTAZIONE
DELLE PROPRIETÀ OTTICHE DELLA COPERTURA VEGETALE

Considerata la difficoltà di individuare stime ripetibili del NNI a partire da misure puntuali di indicatori sia diretti che indiretti dello stato nutrizionale, diversi autori propongono di operare a livello di copertura vegetale. Tale approccio può essere adottato con l'impiego di tecniche di remote e proximal sensing, basate sulla valutazione delle proprietà ottiche dei tessuti vegetali e in particolare della riflettanza. Le tecniche di *remote sensing* possono fornire infatti una rapida stima dello stato nutrizionale con elevata risoluzione spaziale e sono riconosciute essere superiori all'analisi delle singole piante perché consentono di monitorare contemporaneamente un'intera comunità di piante per unità di superficie. Alcuni autori hanno inoltre suggerito di lavorare a scala integrata ossia non in termini di concentrazione (Cab) ma in termini di quantità di clorofilla (QCab) e N presenti nella copertura vegetale al fine di risolvere la difficoltà di convertire i contenuti da unità di superficie a unità di massa (Lemaire et al., 2008).

Al fine di verificare l'attendibilità di diverse strategie basate su misure puntuali o integrate per la valutazione dello stato nutrizionale azotato, Houlès et al. (2007) hanno messo a confronto tre metodi caratterizzati da diverso grado di complessità e prevedenti la determinazione del NNI sia in termini di rapporto tra le concentrazioni che in termini di rapporto tra le asportazioni di azoto.

In particolare, i tre metodi confrontati riguardano:

- i) la stima diretta del NNI tramite relazioni empiriche con la concentrazione di clorofilla derivante dalla riflettanza dell'intero manto vegetale;
- ii) la stima indiretta del NNI come rapporto tra concentrazione effettiva di N fogliare (derivante da relazioni empiriche con la concentrazione in clorofilla fogliare - Cab) e concentrazione critica (ottenuta a partire dalla actual biomass ($\%N_c = a_c W^{-b}$) calcolata a sua volta da relazioni empiriche con il LAI stimato mediante remote sensing);
- iii) la stima indiretta del NNI come rapporto tra asportazione complessiva di N (stimata da relazioni regressive con il contenuto totale di clorofilla per unità di superficie di suolo - QCab) e asportazione critica (*critical N uptake*) (calcolata a partire dalla actual biomass, W, ($N = a' W_1^{-b}$) ottenuta come descritto nel metodo precedente).

Gli autori al termine del confronto hanno indicato che le informazioni più attendibili possono essere ottenute i) operando sulle relazioni tra con-

tenuto di N e clorofilla, e in particolare misurando direttamente la concentrazione di clorofilla, senza ricorrere all'impiego di misuratori indiretti che introducono altre fonti di errore, e tenendo conto dello stadio di crescita; ii) lavorando a livello di copertura vegetale, ossia determinando le relazioni tra $QCab$ e asportazione effettiva (NUR) piuttosto che tra le loro concentrazioni, come proposto nel terzo metodo valutato. Ciò è di particolare interesse per l'impiego del remote sensing considerato che $QCab$ viene stimata meglio di Cab mediante inversione di misure di remote sensing.

Pertanto l'impiego di tecniche di remote sensing, sia attraverso misure satellitari che mediante misure di *proximal sensing*, sembra avere la potenzialità di fornire stime accurate dello stato nutrizionale azotato della coltura. Un tale tipo di stima presenterebbe inoltre il vantaggio di poter essere ripetuto nel tempo e nello spazio consentendo di ottenere informazioni molto precise sulle dinamiche spazio-temporali di accrescimento e di variazione dello stato nutrizionale della coltura, risultando pertanto estremamente utile sia per una valutazione dinamica dello stato nutrizionale medio di campo che per l'adozione di strategie di gestione sito-specifica della concimazione nell'ambito delle tecniche di agricoltura di precisione.

CONCLUSIONI

Considerato il ruolo cruciale rivestito dalla fertilizzazione nel determinare la sostenibilità ambientale ed economica dei processi produttivi nel settore agricolo, si rende necessario individuare strategie che consentano di gestirla razionalmente. Troppo spesso infatti gli agricoltori definiscono le quantità, le epoche e le modalità di distribuzione dei concimi in modo molto empirico. La ragione principale di un tale comportamento deriva in primo luogo dal fatto che non sempre è facile e manifesta la risposta delle colture sia in termini quantitativi e qualitativi alla somministrazione dei concimi, ma non di poco conto è anche l'oggettiva difficoltà a individuare metodi predittivi efficaci e affidabili, capaci di quantificare le effettive necessità colturali. Si impone pertanto non solo la diffusione di approcci razionali, ma anche l'individuazione di quelli che di volta in volta possano risultare più opportuni.

Al fine della ottimizzazione degli apporti, lo strumento cruciale è senz'altro rappresentato dal bilancio degli elementi nutritivi, che stima le possibili entrate e uscite di tali elementi nel sistema suolo-pianta. Questo strumento, che ha trovato a partire dagli anni 80/90 un'ampia applicazione nell'ambito

dei “Disciplinari di produzione integrata”, può prevedere approcci caratterizzati da diverso grado di semplificazione (bilancio medio, bilancio stagionale con indicatori sintetici e approccio statico, bilancio stagionale con impiego di indicatori colturali, pedologici e climatici e approccio dinamico), che possono risultare utili in condizioni diverse. Il bilancio medio, un’applicazione del quale è qui rappresentata attraverso il metodo del Limite Massimo, serve solo per esprimere valori di riferimento (baseline), ovvero limiti massimi da non superare per l’applicazione di regolamenti agro-ambientali o da considerare base per l’applicazione di più evoluti indicatori della fertilizzazione. All’opposto l’adozione di bilanci stagionali di tipo dinamico, ossia prevedenti il monitoraggio di parametri di natura pedologica, colturale e climatica, rappresenta uno degli approcci più razionali per la gestione della fertilizzazione. In particolare il bilancio stagionale prevedente l’impiego di indicatori colturali può consentire di tener conto e di gestire la variabilità spaziale e temporale nella crescita delle colture, modificando di conseguenza i fabbisogni fertilizzanti, e rappresenta il presupposto per l’applicazione di modalità di gestione sito specifica di questa pratica agronomica.

Tuttavia quando si adottano approcci razionali e complessi è necessario che essi vengano usati con consapevolezza affinché possano fornire i risultati più idonei. A tale proposito è importante innanzitutto fare chiarezza sull’equazione di bilancio alla quale si fa riferimento e sui termini considerati. Inoltre, molto importante è la rappresentatività delle informazioni che si impiegano. Sarebbe infatti importante riferirsi alle condizioni del territorio su cui si opera, ma molto spesso questo non è possibile perché non sono a disposizione informazioni complete o, pur esistendo, non sono organizzate in maniera sistematica. La definizione di un’equazione di bilancio adattata alle condizioni del territorio italiano, e delle diverse aree peculiari che lo caratterizzano, è infatti un obiettivo prioritario non solo della comunità scientifica, ma anche di funzionari pubblici esperti di concimazione e del mondo industriale.

Non è meno importante, infine, individuare il tipo più idoneo di approccio da impiegare in funzione delle condizioni in cui si opera. Infatti, benché il bilancio stagionale con approccio dinamico rappresenti il mezzo più razionale per gestire questa pratica agronomica, non sempre questo tipo di criterio può rappresentare la scelta ottimale. Caratteristiche aziendali, modalità di gestione, disponibilità di apparecchiature e di personale in grado di utilizzarle e interpretarne correttamente i risultati, possono di volta in volta rendere vantaggiose o inutili le strategie avanzate volte a razionalizzare la fertilizzazione.

Pertanto, anche se il futuro sarà sempre più orientato verso modalità di

gestione sito specifica delle risorse, l'aspetto più importante è conoscere limiti e potenzialità di metodi e strumenti a disposizione e applicare di volta in volta quelli più opportuni, adattandoli alle condizioni aziendali e alla realtà agricola in esame.

RIASSUNTO

Dopo aver discusso gli aspetti critici relativi alla gestione della tecnica agronomica della fertilizzazione, e aver fatto cenno all'evoluzione del consumo dei fertilizzanti in Italia, questa nota concentra la sua attenzione sulle strategie disponibili per ottimizzare la fertilizzazione dei seminativi, con particolare riguardo alla definizione dei fabbisogni fertilizzanti, discutendone pregi e difetti in una logica agronomica e ambientale e suggerendo quali approcci possono consentire di aumentarne l'efficienza. A tal fine, il bilancio colturale degli elementi nutritivi nel sistema suolo-pianta viene considerato il punto di partenza per la definizione e interpretazione delle strategie di fertilizzazione impiegabili. Si descrivono approcci caratterizzati da diverso grado di complessità, alcuni di tipo statico, quali il bilancio medio, altri dinamico, quali il bilancio stagionale semplificato e il bilancio stagionale prevedente l'impiego di indicatori colturali. Sono infine classificate e descritte le potenzialità di questi ultimi, poiché gli indicatori colturali, consentendo di tener conto e di gestire la variabilità spaziale e temporale nella crescita delle colture, possono permettere di modificare i fabbisogni fertilizzanti inizialmente stabiliti, e rappresentano il presupposto per l'applicazione di strategie di gestione sito specifica della fertilizzazione. Vengono riportati alcuni risultati di attività di ricerca e sperimentazione condotta sul territorio nazionale, con riferimento alla concimazione azotata, fornendo esempi basati su alcune colture guida: frumento tenero, grano duro, mais, pomodoro e barbabietola da zucchero.

ABSTRACT

The main focus of this paper is the analysis of possible strategies to apply efficiently fertilizers and rationally define the fertilizer needs of crops. Other issues considered include a discussion about the most critical aspects of fertilization management and a presentation of the evolution of fertilizers consumption in Italy. Fertilization must be oriented towards the agronomic objectives of productive crops and the environmental objectives of a sustainable environment to avoid losses and pollution. In order to fulfil these objectives a well adapted crop balance must define and include most important nutrients input and outputs in the soil-crop systems. Nutrient balances can be classified on the base of their different complexity. The average nutrient balance is a static approach and produce very simple information on fertilization baselines. The seasonal nutrient balance is dynamic and adapted to give information about space and time variability. A seasonal nutrient balance can be simplified when it takes into account only simple information about the crop in its very early growing stages, or it is more complex and informative when it uses advanced indicators normally based on the crop growth. We discuss which crop indicators are most necessary to fine tune fertilization on site specific characteristics. Some experimental results are reported in order to highlight the experiences obtained in Italy

using advanced method for nitrogen fertilization management with reference to some important crops: soft wheat, durum wheat, maize, tomato and sugar beet.

BIBLIOGRAFIA

- BASSO B., CAMMARANO D., GRACE P.R., CAFIERO G., SARTORI L., PISANTE M., LANDI G., DE FRANCHI S., BASSO F. (2009): *Criteria for selecting optimal nitrogen fertilizer rates for precision agriculture*, «Italian Journal of Agronomy», 4, pp. 159-170.
- CHIEN S.H., PROCHNOW L.I., CANTARELLA H. (2009): *Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts*, «Advances in Agronomy», 102, pp. 267-322.
- CONFALONIERI R. ET AL. (2009): *Il progetto Mazinga: oltre la teoria della diluizione*, «XXXVIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Agronomia», pp. 31-32.
- DEBAEKE P., ROUET P., JUSTES E. (2006): *Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat*, «Journal of Plant Nutrition», 29, pp. 75-92.
- DELOGU G., CATTIVELLI L., PECCHIONI N., DE FALCIS D., MAGGIORE T., STANCA A.M. (1998): *Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat*, «European Journal of Agronomy», 9, pp. 11-20.
- ERMES AGRICOLTURA (2010): <http://www.ermesagricoltura.it/Sportello-dell-agricoltore/Come-fare-per/Produrre-nel-rispetto-dell-ambiente/Fare-agricoltura-integrata-produzione-vegetali/Disciplinari-di-produzione-integrata/Norme-general-2010>
- ERREBHI M., ROSEN C.J., BIRONG D.E. (1998): *Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated 'Russet Burbank' potato*, «Soil Sci. Plant Anal.», 29, pp. 23-35.
- FARNESELLI M., BENINCASA P., TEI F. (2010): *Validation of N nutritional status tools for processing tomato*, «Acta Horticulturae», 852, pp. 227-232.
- FONTES P.C.R. E RONCHI C.P. (2002): *Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures*, «Pesq. Agropec. Bras.», 37 (10), pp. 1421-1429.
- GIORDANI G. (1998): *Analisi dei nitrati nella radice e nei piccioli delle foglie di bietola*, «L'Informatore Agrario», 16, pp. 43-46.
- GIORDANI G. (2002): *Misurare la clorofilla per definire la concimazione azotata delle colture di mais*, «L'Informatore Agrario», 12, pp. 39-43.
- GIORDANI G. (2004): *Nitrati nel frumento e indice di sufficienza azotata*, «L'Informatore Agrario», 12, pp. 57-58.
- GIORDANI G. (2008): *Individuare la richiesta di azoto per concimare meglio il frumento*, «L'Informatore Agrario», 2, pp. 53-57.
- GIORDANI G., BERNATI E. (1998 a): *Definizione degli stadi di sviluppo ottimali per l'impiego dello SPAD nella bietola*, «L'Informatore Agrario», 17, pp. 59-63.
- GIORDANI G., BERNATI E., BARTOLINI M. (1998 b): *Metodi diagnostici per stabilire lo stato nutrizionale del sorgo*, «L'Informatore Agrario», 21, pp. 41-44.
- GREENWOOD D.J. ET AL. (1991): *Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments*, «Annals of Botany», 67, pp. 181-190.
- GRIGNANI C., BASSANINO M., SACCO D., ZAVATTARO L. (2003): *Il bilancio degli elementi nutritivi per la redazione del piano di concimazione*, «Rivista di Agronomia», vol. 37, pp.

- 155-172, ISSN: 0035-6034.
- GRINDLAY D.J.C. (1997): *Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area*, «Journal of Agricultural Science», Cambridge, 128, pp. 377-396.
- HOULÈS V., GUÉRIF M., MARY B. (2007): *Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations*, «European Journal of Agronomy», 27, pp. 1-11.
- ISTAT (2010): <http://www.istat.it/agricoltura/datiagri/mezzipro/elecon.html>
- JANSSEN B.H. (1998): *Efficient use of nutrients: an art of balancing*, «Field Crops Research», 56, pp. 197-201.
- JUSTES ET AL. (1994a): *Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops*, «Annals of Botany», 74, pp. 397-407.
- JUSTES, E., MEYNARD, J.M., MARY, B., LAURENT, F., (1994b): *JUBIL: a new method of conducting the nitrogen fertilization in winter wheat crops*, «Proceedings 3rd ESA Congress», Padova, pp. 490-491.
- LACERTOSA G. E MONTEMURRO F. (2001): *Test rapidi per determinare il contenuto in azoto di alcune colture tipiche del Meridione*, «L'Informatore Agrario», 14, pp. 67-70.
- LADHA J.K., PATHAK H., KRUPNIK T.J., SIX J., VAN KESSEL C. (2005): *Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects*, «Advances in Agronomy», 87, pp. 85-156.
- LEMAIRE G., JEUFFROY M.H., GASTAL F. (2008): *Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management*, «European Journal of Agronomy», 28, pp. 614-624.
- MAMBELLI S., DAL RIO M.P., VENTURI G. (1997): *Razionalizzare la concimazione azotata: ruolo della diagnosi dello stato nutrizionale della pianta*, «Rivista di Agronomia», 31(3), pp. 554-564.
- MILLS H.A., JONES J.B. JR. (1996): *Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*, «MicroMacro Publishing», Inc., Athens, GA, pp. 422.
- MONTEMURRO F. (2003): *L'azoto nelle colture erbacee coltivate nell'Italia meridionale*, «L'Informatore Agrario», 44, pp. 45-47.
- NAUD C., MAKOWSKI D., JEUFFROY M.H. (2008): *Is it useful to combine measurements taken during growing season with a dynamic model to predict the nitrogen status of winter wheat*, «European Journal of Agronomy», 28 (3), pp. 291-300.
- OLFS H.W., BLANKENAU K., BRENTROP F., JASPER J., LINK A., LAMMEL J. (2005): *Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming*, «Journal of Plant Nutrition and Soil Science», 168, pp. 414-431.
- RADERSMA S., VAN EVERT F.K. (2005): *Crop related indicators: is the crop able to tell the farmers what to do?*, «Proceedings of the XIV N Workshop», pp. 247-249.
- RAHN C.R. (2010): *The future of research into the nutrient requirements of field vegetable crops*, «Acta Horticulturae», 852, pp. 335-345.
- RAUN W.R., JOHNSON G.V. (1999): *Improving nitrogen use efficiency for cereal production*, «Agronomy Journal», 91, pp. 357-363.
- ROSSI N. (1972): *La diagnostica fogliare*, «L'Informatore Agrario», 28, pp. 10913-10919.
- SAMBORSKI S.M., TREMBLAY N., FALLON E. (2009): *Strategies to make use of plant sensor-based diagnostic information for nitrogen recommendations*, «Agronomy Journal», 101, pp. 800-816.
- SCHLEMMER M.R., FRANCIS D.D., SHANAHAN J.F., SCHEPERS J.S. (2005): *Remotely meas-*

- uring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content*, «Agronomy Journal», 97, pp. 106-112.
- SCHRÖDER J.J., NEETESON J.J., OENEMA O., STRUIK P.C. (2000): *Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art*, «Field Crops Research», 66, pp. 151-164.
- SHANAHAN J.F., KITCHEN N.R., RAUN W.R., SCHEPERS J.S. (2008): *Responsive in-season nitrogen management for cereals*, «Computers and electronics in agriculture», 61, pp. 51-62.
- TEI F., BENINCASA P., GUIDUCCI M. (2002): *Critical nitrogen concentration in processing tomato*, «European Journal of Agronomy», 18, pp. 45-55.
- TREMBLAY N. (2004): *Determining nitrogen requirements from crops characteristics. Benefits and challenges*, «Recent Research Development in Agronomy & Horticulture», 1, pp. 157-182.
- VARANINI Z., CESCO S., MONTE R., TOMASI N., PINTON R. (2008): *La nutrizione delle piante tra limitazioni chimiche e costrizioni fisiologiche: è possibile un approccio sostenibile?*, «Italian Journal of Agronomy», 1 suppl., pp. 129-141.
- WEINBAUM S.A., SCOTT JOHNSON R., DEJONG T.M. (1992): *Causes and consequences of overfertilization in orchards*, «HortTechnology», 2 (1), pp. 112-120.

PIER PAOLO ROGGERO^{*,**}, SIMONETTA BAGELLA^{**,***},
PAOLA DELIGIOS^{*}, LUIGI LEDDA^{**,**}, MICHELE GUTIERREZ^{**,****}

Gestione dell'abbandono dei seminativi italiani in aree svantaggiate

I. INTRODUZIONE

L'agricoltura italiana sta attraversando una profonda transizione, con dinamiche sempre meno prevedibili a causa della complessità delle interazioni tra *driver* di cambiamento di diversa origine (tecnologie, dinamiche sociali, di mercato ecc.) e a diversa scala, da locale a globale, che si traducono in effetti diversificati nella varietà dei contesti locali.

In questo lavoro proponiamo una riflessione sulla natura delle questioni associate all'abbandono dei seminativi, che parte da una sintetica descrizione di alcune dinamiche emblematiche dei seminativi in aree “svantaggiate” o “marginali” e delle possibili implicazioni di carattere ambientale, per tentare di elaborare risposte efficaci e identificare questioni aperte per la ricerca scientifica.

Le questioni oggetto di riflessione rientrano nella sedicesima tra le 100 domande più importanti per il futuro dell'agricoltura globale, elaborate da Pretty et al. (2010): «come si dovrebbe scegliere tra le opzioni di aumento o diminuzione dell'intensità di utilizzazione agricola dei suoli, di restauro degli habitat o di mantenimento dello status quo e come possiamo al meglio combinare, al fine di operare le scelte, misure che possano portare benefici economici, ambientali e sociali?».

Il sistema di riferimento nel quale è stata inquadrata la riflessione è quello dell'agricoltura italiana delle cosiddette “zone svantaggiate”, nel contesto dell'agricoltura e delle politiche agrarie e ambientali europee.

* Dipartimento di Scienze Agronomiche e Genetica Vegetale Agraria, Università degli studi di Sassari

** Nucleo di Ricerca sulla Desertificazione, Università degli studi di Sassari

*** Dipartimento di Scienze Botaniche, Ecologiche e Geologiche, Università degli studi di Sassari

**** Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei, Università degli studi di Sassari

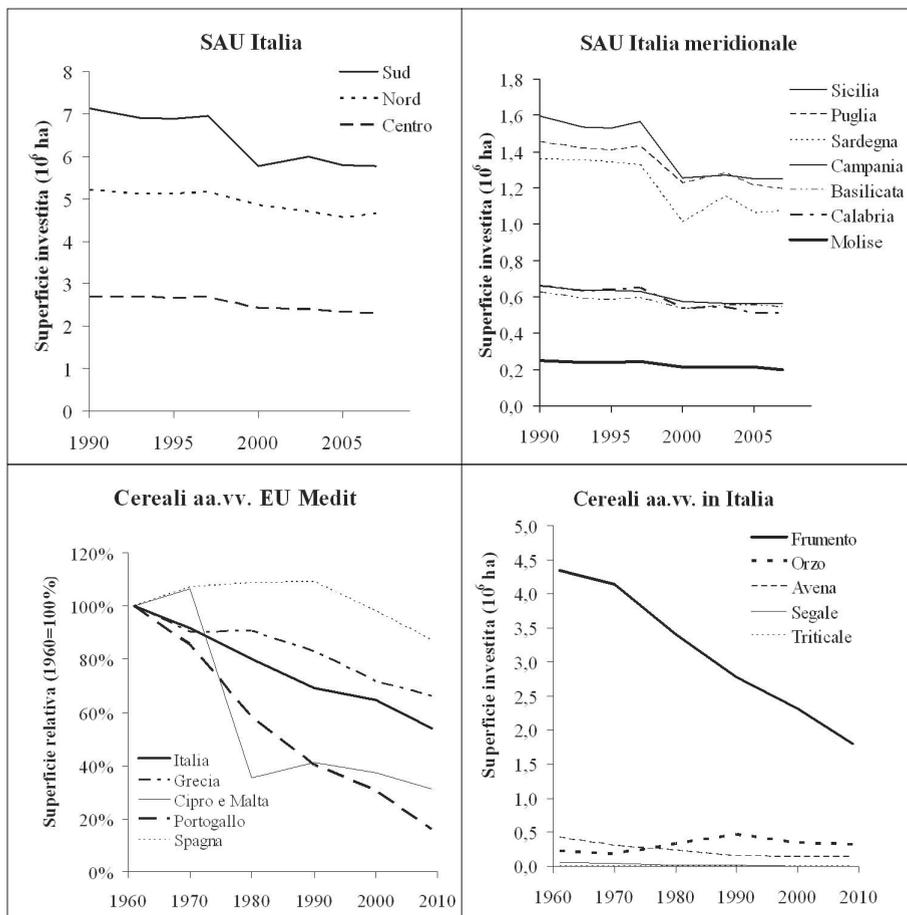


Fig. 1 Dinamiche della SAU complessiva e dei cereali nelle ultime decadi in Italia e nei paesi mediterranei dell'UE (Fonti: ISTAT e FAOSTAT)

Il lavoro è articolato in tre parti: nella prima parte si propone l'analisi di dati obiettivi che illustrano la transizione in atto e degli approcci che hanno guidato le politiche di sviluppo rurale delle aree svantaggiate. La seconda parte illustra alcune tra le implicazioni di carattere ambientale associate all'abbandono dei seminativi in aree svantaggiate, con particolare riferimento alla biodiversità e ai servizi ecosistemici. La terza parte propone un quadro interpretativo dei *driver* dell'abbandono dei seminativi e una riflessione conclusiva su politiche di sviluppo, sistemi di innovazione in agricoltura e implicazioni per la ricerca.

1.1 *La transizione in atto*

In molte aree rurali caratterizzate da sfavorevoli condizioni ambientali e socio-economiche, si è innescato un circolo vizioso di *feedback* negativi legati alla progressiva riduzione del reddito derivante da attività agricole, al quale si associano abbandono e spopolamento, che rendono sempre più difficili le condizioni di lavoro e il mantenimento di servizi sociali essenziali, che portano al progressivo ulteriore abbandono dell'attività agricola (Heilig, 2002). L'abbandono delle terre è infatti particolarmente evidente nelle aree dove la produttività agricola è limitata a causa dalla scarsa fertilità dei suoli (Baldock et al., 1996).

A livello europeo non sono disponibili specifici dati statistici sul fenomeno dell'abbandono ma, in linea generale, è possibile affermare che le aziende agricole estensive siano le più vulnerabili a questo fenomeno. Particolarmente preoccupante è la situazione nel centro e nell'est Europa, dove i recenti cambiamenti istituzionali e socio-economici hanno influenzato negativamente gran parte delle aziende agricole (EEA, 2004).

Negli ultimi venti anni sono stati osservati cambiamenti di eccezionale portata per l'agricoltura italiana. Il censimento dell'Agricoltura del 2000 ha rivelato una forte contrazione della superficie agricola utilizzata (SAU), in particolare in alcune regioni dell'Italia Meridionale (fig. 1).

La gran parte della riduzione della SAU è dovuta alla contrazione delle superfici destinate alla coltura del frumento. Il fenomeno, osservato fra gli anni '70 e il 2000, ha interessato oltre 2 milioni di ettari. Nell'ultimo trentennio questo andamento ha trovato riscontro anche in altri paesi mediterranei a vocazione cerealicola, con dinamiche diverse: ad esempio, in Spagna il calo delle superfici a frumento è stato parzialmente recuperato dall'aumento delle superfici coltivate a orzo, mentre il Portogallo ha mostrato un calo netto simile a quello osservato in Italia. La dinamica va interpretata anche in relazione alle mutate politiche di incentivazione UE, che fino al 2004 prevedevano per il frumento duro un aiuto "accoppiato" di circa 500 euro per ettaro, che è stato trasformato con la riforma Fischler in aiuto "disaccoppiato". Questa politica ha condizionato le scelte degli ordinamenti colturali soprattutto nell'area mediterranea, per le limitazioni di produttività associate alla naturale limitata disponibilità idrica. In Italia, le regioni che hanno maggiormente risentito di queste dinamiche sono le isole maggiori (tab. 1). Un esempio emblematico è quello della Sardegna, dove in soli cinque anni la superficie destinata a cereali (principalmente frumento duro) si è più che dimezzata, a vantaggio di usi del suolo ora classificati come pascolo, ma che di fatto sono in gran parte seminativi abbandonati.

REGIONE	CEREALI AA.VV.		PASCOLI	
	ha x 1000	%	ha x 1000	%
Italia	-155	-6	+160	+5%
Sardegna	-75	-57	+153	+16%
Sicilia	-63	-20	+14	+5%

Tab. 1 *Variazioni (2009-2006) delle superfici a pascolo e a cereali autunno vernini a livello nazionale e in alcune regioni dell'Italia meridionale e insulare. Fonte: Istat*

Nelle ultime decadi, la produzione nazionale di frumento duro ha subito un calo di entità percentuale inferiore rispetto al calo delle superfici coltivate, segno che l'abbandono della coltivazione ha riguardato le zone meno produttive e che quelle rimaste sono caratterizzate da un progressivo aumento delle rese unitarie.

Anche nei principali paesi produttori da cui l'Italia importa frumento si osservano dinamiche contrastanti. In USA e in Canada, negli ultimi 30 anni le superfici a frumento sono calate del 20 e 30% rispettivamente e le produzioni sono state caratterizzate da notevoli variazioni interannuali, ma con trend medi relativamente stabili. In Francia e Germania invece sono in costante aumento superfici e produzioni, con un aumento medio delle rese unitarie negli ultimi 50 anni di circa $+0,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, contro $+0,03$ e $+0,02 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ rispettivamente in Italia e America settentrionale (fig. 2).

Un ulteriore elemento utile a interpretare la transizione in atto è la dinamica delle importazioni di frumento, che sino alla fine degli anni '90 prevedevano una stretta associazione tra produzioni espresse in peso e in valore, mentre negli ultimi 10 anni hanno presentato un andamento totalmente indipendente, come conseguenza di un aumento della volatilità dei prezzi, che conferisce incertezza a tutto il comparto produttivo. A questo hanno in parte contribuito le sostanziali modifiche alle politiche europee di incentivazione a partire dalla fine degli anni '90, le ricorrenti anomalie climatiche e le conseguenti variazioni sempre più ampie di superfici coltivate e di rese nelle zone di produzione, incluse quelle da cui tradizionalmente l'Italia importa.

Infine, occorre ricordare che negli ultimi 50 anni le leguminose da granello sono passate da più di un milione di ha agli attuali 100.000 ha circa, segno di una progressiva scomparsa di queste colture dagli ordinamenti produttivi nazionali.

A completare il quadro, è utile ricordare che a partire dagli anni '60 si è osservata una forte contrazione della SAU nazionale, accompagnata da una significativa crescita delle superfici occupate dai boschi e dalle aree urbane,

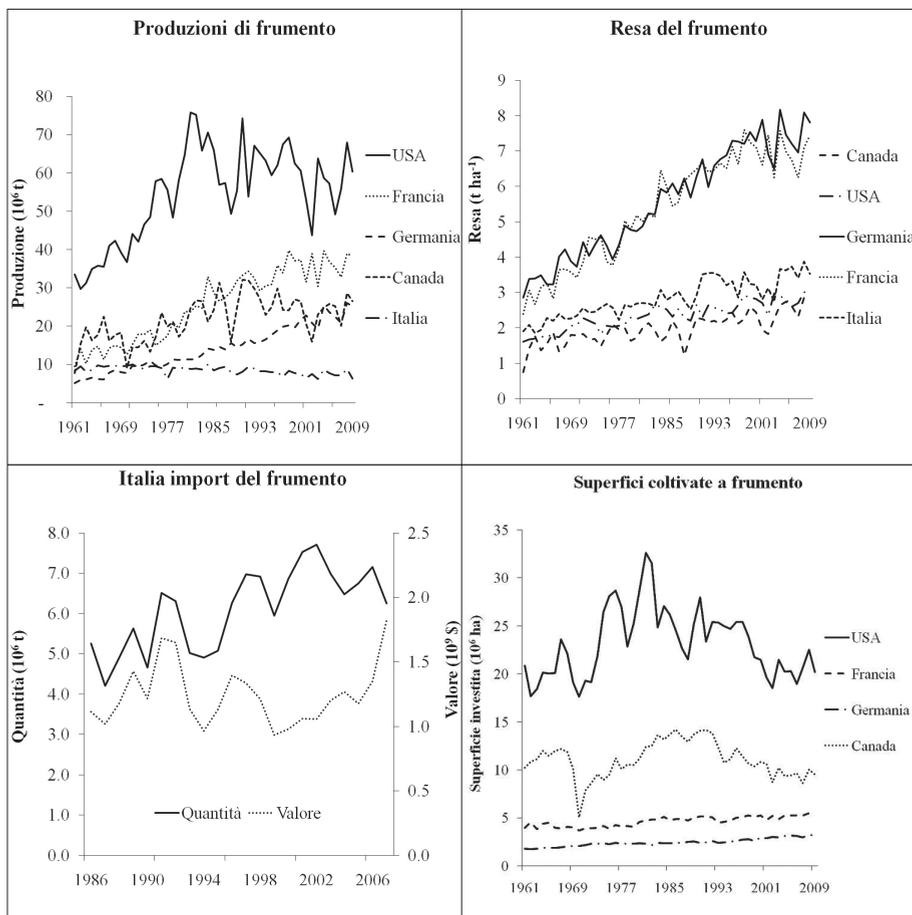


Fig. 2 *Dinamica di superfici, produzioni, rese unitarie di frumento dei principali paesi da cui l'Italia importa e dinamiche della quantità e del valore di prodotto importato. Fonte: FAOSTAT*

che hanno eroso rispettivamente le SAU di aree marginali e di pianura. In termini quantitativi, la diminuzione della superficie agricola va attribuita principalmente all'abbandono delle superfici non meccanizzabili della collina e della montagna. Fra il 1960 e il 1980 il fenomeno ha interessato oltre 2 milioni di ettari, considerati al censimento del 1975 come incolti-abbandonati e riclassificati nell'inventario del 1985 come forestali, evidenziando quindi una crescita delle formazioni boschive più o meno corrispondente all'area abbandonata. I dati sull'erosione di terreno coltivabile di pianura a vantaggio delle aree urbane sono a volte drammatici (Frondoni et al., 2011).

1.2 *Politica rurale e aree svantaggiate*

Perché definire e individuare delle aree montane o meno favorevoli, o comunque generalmente definibili come svantaggiate? I motivi possono essere, e sono stati, i più vari. Dalla necessità descrittiva di evidenziare zone più o meno evolute, tramite singoli o molteplici parametri, fino alla perimetrazione allo scopo di destinare agevolazioni contributive agli agricoltori. Fra questi due limiti sono numerose le definizioni e individuazioni delle aree svantaggiate (es. meno favorite, montane, con problemi di sviluppo, marginali ecc.) a dimostrazione di quanto sia ampio e diffuso il ricorso a questo concetto.

In termini generali, le definizioni e individuazioni di aree a cui si attribuisce una qualche condizione minoritaria ha come scopo il poter utilizzare un metro di confronto rispetto ad aree o zone che altro sono, oppure il dover intervenire a vario titolo e merito in quelle stesse aree.

Giudicare, definire e individuare le aree svantaggiate è utile anche perché attraverso i parametri considerati, sia teorici, sia applicati, della spiegazione di svantaggio, si potranno ottenere risposte e raggiungere obiettivi.

Nella sua accezione di significato generico, “*gestione*” dell’abbandono dei seminativi è intesa nel senso più ampio e comprensivo, distinguendosi da “*la gestione*”, che invece sottenderebbe una modalità determinata, ben individuata e precisa, anche manualistica, a cui poter far ricorso. Inoltre, ha ragione d’essere una gestione che comunque è capace di operare quale che sia la qualificazione dell’area svantaggiata, oppure, la gestione ha la necessità di essere aggiornata e verificata a seconda dei contenuti dello svantaggio?

I presupposti appena illustrati hanno il pregio di chiarire i termini del problema e, comunque, di raccogliere la sfida posta dalla molteplicità di definizioni delle aree svantaggiate. I percorsi d’analisi che dunque si propongono distinguono fra:

- “*gestione*” dell’abbandono dei seminativi, per aree comunque definibili come svantaggiate;
- “*la gestione*” dell’abbandono dei seminativi, per aree le cui specificità di svantaggio richiedono conseguenti e propri interventi di governo.

Nel primo tipo di valutazione, l’interesse è volto alla individuazione dei termini gestionali che derivano dall’esistenza di rapporti fra aree, svantaggiate e non; nel secondo tipo, la gestione è il risultato delle condizioni identificate di area svantaggiata, è interna e particolare all’area, perché locale.

Di seguito, saranno dedicate alcune considerazioni al primo tipo di valutazione, come alla seconda, con il fine di fornire elementi utili e di ampia

applicazione, capaci di avvicinare positivamente le aree svantaggiate alle altre aree e, nello specifico, di governare il processo di abbandono dei seminativi.

1.3 *La zonizzazione: strumento di attuazione della politica rurale*

Fra il 1992 e il 2009 il consumo di pane e cereali delle famiglie italiane è cresciuto del 18%, contemporaneamente le superfici totali destinate alla coltivazione di cereali si sono ridotte, fino alla recente variazione 2009/2008 del -20%. Nello stesso periodo, il valore a prezzi correnti dei cereali ha subito anch'esso una riduzione del -12% (INEA, 2010). Gli indicatori ora citati sono, in effetti, il risultato di processi complessi, maturati nel tempo, i quali concorrono, insieme con altri, a definire lo stato attuale e le prospettive del comparto dei seminativi in Italia: concentrazione in alcune aree del paese delle coltivazioni capaci di sostenere la competizione internazionale, abbandono di aree prima destinate ai seminativi, necessità di una loro riconversione.

Ma quale riconversione e come realizzarla? Già con la riforma MacSharry, più chiaramente con Agenda 2000 e, infine, pienamente acquisita con la riforma Fischler, si trova riconosciuta a pieno titolo la necessità di intervenire, piuttosto che sul singolo prodotto o settore produttivo, sui sistemi economici locali, ossia sulla organizzazione complessa che caratterizza i sistemi economici presenti nell'ambito di un determinato territorio.

La consapevolezza che la ricerca della competitività si sia mossa dal prodotto al sistema economico, nel quale quello stesso prodotto si trova inserito, ha avuto un pieno riconoscimento in molte delle misure contenute nella PAC, come ancor più nella politica di sviluppo rurale. Ne è derivata la necessità di precisare i sistemi economici, gli ambiti in cui si trovano inseriti, considerando il "rurale" un contenitore ampio, non certo ristretto al solo settore agricolo, ma che racchiude anche altri settori economici, lo stato e le prospettive del sociale, del culturale, della tradizione ecc., fino agli ambienti naturali.

I sistemi rurali, di cui i distretti rurali contengono alcune tracce, sono dunque l'oggetto primo delle esperienze di politica rurale, poiché, come già affermato, vi trovano il giusto quadro di riferimento, a iniziare dalle diverse forme di gestione delle produzioni, fino alla soluzione dei relativi problemi.

La zonizzazione è stata lo strumento cui più spesso si è fatto riferimento, come primo e necessario passo conoscitivo, in sedi internazionali, europee e nazionali. È zonizzazione, nel senso più ampio del termine, quella realizzata dalla Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). La politica rurale intesa dall'OECD tiene conto delle diverse tipologie or-

ganizzative, economiche e sociali che si incontrano nelle regioni rurali, così come della natura multidisciplinare dello sviluppo rurale. I risultati sono stati condensati, infine, nella proposta di un nuovo paradigma rurale, dotato delle relative politiche e governance che lo distinguono (OECD, 2006).

Il confronto fra i 30 paesi OECD è basato sul totale di 2.300 micro regioni, ciascuna suddivisa fra regioni prevalentemente urbane, regioni rurali intermedie, regioni prevalentemente rurali. E la rilevanza delle ultime due nell'Unione europea a 25 paesi risulta consistente. Il 92% del territorio ricade nella loro sfera d'influenza, sempre nelle precedenti due regioni vive il 56% della popolazione, la quale poi concorre a produrre il 45% del valore aggiunto totale e a occupare il 53% della forza lavoro.

Allo stesso tempo, tuttavia, il reddito procapite delle regioni rurali è inferiore di circa un terzo rispetto alle regioni prevalentemente urbane, il settore dei servizi è meno sviluppato e il livello di scolarizzazione è più basso. Luci e ombre, dunque, che consentono di inserire il settore agricolo e le sue produzioni in un rurale complesso, dotato di maggiori risorse e opportunità. Sebbene si basi su livelli di ripartizione provinciali, la classificazione OECD che riguarda l'Italia ha avuto il merito di proporre un confronto paritetico e istruttivo con regioni di altri paesi, anche nostri diretti concorrenti.

Si è calata invece nello specifico, a livello di osservazione comunale, la zonizzazione del rurale proposta dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. Questa zonizzazione può considerarsi il primo strumento sistematico di attuazione della politica rurale in Italia. La distinzione fra poli urbani, regioni rurali con agricoltura specializzata intensiva, regioni rurali intermedie e regioni rurali con problemi di sviluppo è una ripartizione poi impiegata dai Programmi di sviluppo rurale (PSR) 2007-2013.

L'individuazione delle regioni rurali è stata effettuata applicando la metodologia proposta dal Piano Strategico Nazionale (PSN), il quale apporta delle modifiche alla metodologia OCSE e introduce ulteriori specifiche. Avvalendosi d'indicatori aggiuntivi, il PSN classifica il territorio nazionale nelle quattro precedenti macro-categorie, così da identificare tipologie appropriate alle specificità regionali italiane.

Vi è una sostanziale differenza fra queste ultime classificazioni, che pongono le premesse per l'individuazione dei sistemi economici locali, e quelle ulteriori, anch'esse presenti negli stessi PSR 2007-2013, che, tuttavia, in più evidenziano territorialmente le seguenti condizioni specifiche: di area montana, area svantaggiata e area designata ai sensi delle Direttive Habitat e Uccelli (Rete Natura 2000).

La ripartizione, in questo caso, vuole porre le premesse per interventi mi-

rati ed espliciti. È concessa alle aziende agricole un'indennità quale compensazione «dello **svantaggio competitivo**, al fine di arginare il grave fenomeno dello spopolamento e per garantire il presidio del territorio rurale, la tutela della biodiversità legata alle **attività di coltivazione** e allevamento e la limitazione dei fenomeni di degrado del suolo e del paesaggio. Le aziende ubicate in questi territori svolgono l'attività agricola con notevoli difficoltà, dovute principalmente alle condizioni ambientali e orografiche, con conseguente riduzione dei redditi delle attività svolte e tendenza all'abbandono. Una simile prospettiva determina non solo l'abbandono del territorio e la conseguente riduzione della vitalità economica delle zone rurali, ma anche l'erosione dei suoli, derivante dalle ridotte attività di conservazione e tutela del paesaggio agrario e naturale assicurate dal proseguimento dell'attività agricola» (RAS, 2008).

2. LE IMPLICAZIONI DELL'ABBANDONO DEI SEMINATIVI SULLA BIODIVERSITÀ E I SERVIZI ECOSISTEMICI

Le implicazioni che le attività agricole hanno sulla conservazione della natura e sui servizi ecosistemici sono controverse (Rey Benajas et al., 2007). La conversione di vaste superfici di vegetazione naturale a favore delle attività agricole è stata attuata sin dall'antichità e oggi le colture e i pascoli occupano circa il 40% della superficie terrestre (Asner et al., 2004; Foley et al., 2005). D'altra parte però alcuni sistemi agricoli che hanno modellato i paesaggi culturali sono stati indicati come importanti per la conservazione di biodiversità, habitat e valori estetici (Bignal e McCracken, 1996; Kleijn et al., 2006) e per l'erogazione di diversi servizi ecosistemici (Moonen e Barberi, 2008).

La biodiversità costituisce una fonte essenziale di beni e servizi ecosistemici e contribuisce direttamente all'economia nazionale attraverso l'agricoltura, la selvicoltura, la pesca, il turismo, le attività ricreative e la caccia (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Il rapido declino della biodiversità, dovuto alla perdita di specie e di habitat, che si è verificato negli ultimi decenni (European Commission, 2006) è stato determinato da diversi fattori, tra cui, il cambiamento di uso del territorio è indicato come uno dei più rilevanti (Haines-Young, 2009; Young et al., 2005). Il trend verso l'abbandono interessa soprattutto le aree agricole svantaggiate (LFA) che in Italia rappresentano complessivamente circa il 50% della SAU (Council of the European Union, 2005).

Nelle aziende miste con terreni arabili e pascoli delle aree più aride del Mediterraneo i cambiamenti sono orientati alla specializzazione verso le mo-

nocolture, al set-aside, alla riforestazione artificiale o all'abbandono (Mac Donald et al., 2000).

Le attività agricole praticate nelle LFA, quasi sempre a basso impatto ambientale, sono rappresentate principalmente da allevamenti e da coltivazioni estensive che hanno spesso dato origine a habitat seminaturali con livelli di biodiversità più elevati rispetto a quelli che si avrebbero in presenza della vegetazione naturale potenziale (Caballero et al., 2009). La compatibilità tra conservazione della biodiversità e attività produttive trova conferma anche nel fatto che circa la metà dei siti della rete Natura 2000, individuata in applicazione alla Direttiva Habitat e alla Direttiva Uccelli, includono vaste aree coltivate (Bennet, 1997) e per circa il 18% la conservazione dipende dall'utilizzo di pratiche agricole estensive (EEA, 2005).

In molti casi è difficile prevedere la natura, la direzione e la scala dei cambiamenti che si possono verificare in seguito all'abbandono (es. Bengtsson et al., 2005). L'abbandono delle attività agricole nelle aree svantaggiate è spesso associato a effetti negativi sull'ambiente, quali la perdita di alcuni tipi di paesaggio, l'incremento degli incendi e di altri disastri ambientali, quali erosione e frane e, spesso, il declino della biodiversità (Gonzales Bernaldez, 1991; Pinto-Correia, 1993; Mac Donald et al., 2000; Moreira et al., 2001).

Le pratiche agricole hanno talvolta generato una grande diversificazione a livello di paesaggio, producendo mosaici di *patch* caratterizzati da differenti stadi successionali, dai campi coltivati, ai boschi. I primi rappresentano spazi aperti sui quali, se abbandonati, si innesca la successione secondaria. Quando ampie superfici vengono abbandonate simultaneamente la vegetazione tende a uniformarsi (Lasanta-Martinez et al., 2005) e l'eterogeneità spaziale a diminuire (Höchtel et al., 2005) con conseguente aumento del disturbo e maggiore frequenza e intensità degli incendi (Rey Benayas et al., 2007).

L'effetto negativo dell'abbandono sul suolo è particolarmente evidente nelle aree semi-aride dove i processi di recupero della vegetazione spontanea sono limitati dalla carenza di acqua e dalla scarsa dispersione dei semi. In queste situazioni la presenza di ampie zone scoperte da vegetazione in combinazione con il ruscellamento favorisce la formazione di crosta che riduce la capacità di infiltrazione, favorendo l'erosione (Pugnaire et al., 2006). Sauer e Ries (2008) hanno dimostrato che in Spagna l'abbandono dei seminativi asciutti e il recupero della vegetazione spontanea può avere effetti di mitigazione sull'erosione solo se il grado di copertura della vegetazione spontanea supera il 60%. La mancata manutenzione delle sistemazioni idrauliche in collina associato all'abbandono dei seminativi può avere conseguenze negative sull'assetto idrogeologico di vaste aree del paese (Roggero e Toderi, 2002). In

altri contesti invece la successione secondaria determina un aumento della copertura vegetale con miglioramento delle proprietà del suolo e diminuzione dell'erosione (Lesschen et al., 2008). L'abbandono dei seminativi può avere effetti importanti anche sul sequestro di C nel suolo, in relazione al mutato turnover della sostanza organica. Le dinamiche sono legate alle condizioni ecologiche (fertilità del suolo, umidità e temperatura) e ai sistemi colturali, non è quindi possibile generalizzare. Dal punto di vista agronomico, massimizzare il sequestro di carbonio nel suolo implica la massimizzazione del potenziale produttivo, che in ambiente mediterraneo non irriguo è definito dai limiti idrici (Passioura e Angus, 2010). Ciò implica la massimizzazione dell'efficienza d'uso dei nutrienti attraverso una oculata gestione della concimazione e la gestione conservativa del suolo e dei residui colturali (Farina et al., 2011; Roggero, 2011). Quindi in zone aride e su terreni oligotrofici, l'intensificazione agronomica può favorire il sequestro netto di C organico nel suolo rispetto a una situazione di abbandono. Tuttavia, l'abbandono di colture cerealicole in zone montane della Sierra Nevada in Spagna avrebbe determinato in circa un secolo un raddoppio del sequestro potenziale del carbonio complessivo (considerando suolo e soprassuolo), a seguito del rimboschimento con pinete o del ripristino naturale della lecceta. La capacità di sequestro annuale di C stimata per queste tipologie di bosco è circa $2,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, ma potrebbe essere vanificata per circa due terzi in caso di deforestazione o incendio (Padilla et al., 2010).

Per quanto riguarda la biodiversità si possono avere effetti diversi dell'abbandono in relazione alle diverse specie, gruppi tassonomici e tipi di ecosistemi. La formulazione di modelli previsionali è spesso problematica, perché i processi che seguono l'abbandono non sono ancora ben noti (Mac Donald et al., 2000). Da uno studio realizzato su 24 aree montane europee, di cui 18 incluse nella rete Natura 2000, è scaturito che l'impatto dell'abbandono sulla biodiversità è nella maggior parte dei casi negativo, ma può essere anche positivo o non rilevante (Mac Donald et al., 2000).

L'aumento della copertura arborea o arbustiva ad esempio, può favorire un incremento delle specie di uccelli arboricoli e una perdita di quelli tipici di habitat aperti (Preiss et al., 1997; Suarez-Seoane et al., 2002; Sirami et al., 2007). Tuttavia in alcuni casi gli effetti dell'abbandono sono positivi, in quanto determinano un aumento dell'eterogeneità del paesaggio e quindi del numero di habitat disponibili. Se l'abbandono determina una perdita di specie animali che hanno necessità di spazi aperti, favorisce la diversità di specie caratteristiche di habitat arborei o arbustivi (Laiolo et al., 2004; Otto et al., 2006) e la fauna del suolo (Kardol et al., 2005). Un'analisi degli habitat prefe-

riti dai vertebrati nell'Europa mediterranea ha evidenziato che gli spazi aperti e le aree agricole sono quelli che presentano una maggior ricchezza di specie di uccelli, rettili e anfibi (Moreira e Russo, 2007).

Tra i sistemi cerealicoli europei di maggior interesse ambientale e in declino, specialmente nell'Europa occidentale, quelli inclusi tra i sistemi silvo-arabili rappresentano un caso emblematico. Questi sistemi, che rappresentano importanti elementi del paesaggio europeo e potrebbero contribuire in maniera rilevante allo sviluppo rurale in Europa, hanno subito negli ultimi decenni un rapido declino per motivi operativi, quali la difficoltà di utilizzo di mezzi meccanici ed economici, in quanto i sussidi europei sono stati destinati prevalentemente alle monoculture (Eichhorn et al., 2006).

Un altro caso emblematico, sebbene interessi aree di dimensioni molto più ridotte, è quello relativo all'abbandono dei terreni arabili in aree terrazzate, con conseguente perdita di biodiversità e di paesaggi culturali (Kizos et al., 2009). I terrazzamenti rappresentano un particolare elemento del paesaggio presente in varie parti del mondo (Grove e Rackam, 2002). Sono delle superfici artificiali realizzate su terreni scoscesi generalmente sostenute da muretti a secco (Petanidou et al., 2008) e utilizzate per diversi tipi di colture tra cui i seminativi. Questi ultimi sono stati progressivamente abbandonati in favore dei terreni pianeggianti, più facilmente coltivabili (Grenon e Batisse, 1989).

3. L'INTERPRETAZIONE E IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Allo scopo di interpretare le dinamiche illustrate nei due capitoli precedenti si propongono due argomenti: uno centrato sui fattori trainanti, i *driver*, del cambiamento che ha portato all'abbandono dei seminativi in zone svantaggiate, il secondo centrato sulle questioni relative alla asimmetria tra obiettivi, metodi ed efficacia delle politiche di sviluppo rurale e sulle implicazioni associate alla progettazione di sistemi di innovazione in agricoltura alternativi a quelli sinora proposti.

3.1 *I driver del cambiamento*

La transizione dei sistemi agrari europei è strettamente legata alla struttura fondiaria e alla politica agricola. L'abbandono è più frequente in regioni caratterizzate da struttura fondiaria frammentata e polverizzata, ma è frenato dal part-time, che garantisce redditi extra-aziendali, dai sus-

sidi della PAC e dall'aumento dei prezzi dei prodotti agricoli (Breustedt e Glaben, 2007).

Le colture cerealicole costituiscono un elemento portante della competitività dei seminativi. Nel corso della seconda metà del XX secolo, le rese unitarie dei cereali in Europa hanno fatto registrare un trend di crescita costante grazie ai progressi della genetica e all'impiego dei mezzi tecnici per ridurre le limitazioni ambientali. Gli effetti del clima sono difficilmente quantificabili e comunque sembrano rientrare nell'intervallo di variabilità della tendenza. Il ripetersi di eventi siccitosi in Australia e le sempre più estese superfici destinate alle colture bioenergetiche (Spiertz e Ewert, 2009) hanno contribuito alla volatilità dei prezzi degli ultimi cinque anni.

Negli ultimi due decenni si è inoltre osservato un progressivo declino del trend di crescita delle rese unitarie dei cereali, fino al raggiungimento della attuale stagnazione (Brisson et al., 2010). Questo fenomeno interessa in modo particolare le nazioni che maggiormente contribuiscono alla creazione delle scorte e cioè quelle con elevate rese (Francia, Germania, Inghilterra) e i grandi paesi esportatori (Stati Uniti d'America, Australia, Argentina, Canada), caratterizzati da estese superfici coltivate.

Alla stagnazione dei trend di produzione possono contribuire fattori genetici, agronomici, climatici e di contesto politico-economico (es. la riunificazione della Germania, la PAC), che hanno dirette implicazioni sui cambiamenti delle pratiche nei sistemi colturali, incluse le scelte sulle specie da impiegare in avvicendamento.

Il miglioramento genetico del frumento è avvenuto prevalentemente in due direzioni: aumento dell'*harvest index* e resistenza alle malattie fungine (Brisson et al., 2010). L'aumento della resa potenziale in assenza di fattori limitanti osservato nelle ultime decadi, nell'ordine di $0,104 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ in UE, è stato in gran parte associato all'aumento dell'*harvest index*. Questo dato è paragonabile a quello stimato in Messico (circa $+0,103 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e spiega la maggior parte degli aumenti di resa osservati a scala nazionale in Francia ($+0,123 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). Il maggiore incremento della resa del frumento non conciato dimostra che si è verificato un contemporaneo incremento della resistenza alle malattie fungine, rendendo le nuove varietà più adatte alle pratiche colturali estensive o alla coltivazione a basso input.

A partire dal 1999, è stata osservata una tendenza alla riduzione delle dosi di fertilizzante azotato e dell'impiego di leguminose in precessione al frumento. La riduzione delle dosi dei concimi azotati di circa 20 kg N ha^{-1} è stata accompagnata da un aumento dell'efficienza della concimazione per il ricorso a un maggiore frazionamento delle dosi.

I dati disponibili non consentono di considerare il degrado del suolo, inteso come declino della fertilità a livello nazionale, come una delle possibili cause che hanno portato alla stagnazione degli incrementi di resa. Altre componenti della fertilità del suolo, come per esempio il degrado fisico, potrebbero essere considerate, ma non sono disponibili dati su scala nazionale. La tendenza alla semplificazione delle lavorazioni dovrebbe contribuire a migliorare la struttura fisica del suolo. La spiegazione tecnica più plausibile della stagnazione delle produzioni sembrerebbe quindi riconducibile soprattutto alla semplificazione degli avvicendamenti colturali, con la riduzione dell'impiego delle leguminose. Brisson et al. (2010) hanno stimato pari a $-0,05 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ il contributo della semplificazione della tecnica agronomica, causata anche dall'esigenza di abbattere i costi di produzione, e degli avvicendamenti colturali. L'impatto negativo del cambiamento climatico è stato riconosciuto per le aree più produttive in coltura asciutta, dove un aumento delle temperature durante la fase di riempimento delle cariossidi e la siccità in levata porterebbero a significative riduzioni di resa ($-0,021$ o $-0,046 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ rispettivamente secondo il modello STICS o Panoramix).

Stoate et al. (2009) individuano, a partire dal 2001, i seguenti *driver* di politica e mercato che hanno determinato cambiamenti nel mondo agricolo: (i) l'apertura dei mercati e la liberalizzazione degli scambi; (ii) il disaccoppiamento dei sussidi dalla produzione; (iii) l'apertura del mercato ai paesi ex socialisti; (iv) i cambiamenti climatici; (v) la domanda dai mercati internazionali per prodotti tipici del Mediterraneo (principalmente olio d'oliva) e per colture specializzate ad alto valore aggiunto; (v) la richiesta di una quota maggiore di energia rinnovabile.

Questi *driver* hanno contribuito alla riduzione dell'intensità d'uso del suolo nelle aree meno fertili, fino a determinarne il totale abbandono, e alla intensificazione e specializzazione delle produzioni nelle aree più fertili. In questo contesto, la PAC può contribuire a contrastare la tendenza all'uniformità del paesaggio, ma difficilmente una politica settoriale potrà invertire un processo che dipende da fattori non controllabili dal settore agricolo. In Germania, Reger et al. (2009) hanno dimostrato che solo i trasferimenti accoppiati potrebbero frenare la tendenza all'impoverimento degli habitat e la riduzione della diversità del paesaggio, ma nessuno dei tre possibili scenari della PAC post 2013 (aiuti accoppiati, disaccoppiati o loro cancellazione) implicherebbe la ripresa dei seminativi abbandonati in zone svantaggiate e che gli aiuti rimangono comunque uno strumento indispensabile per prevenire il completo abbandono dell'agricoltura o la forestazione, con conseguente appiattimento di tutti i parametri di qualità degli habitat.

L'analisi proposta da Van Doorn et al. (2007) si caratterizza per aver messo in relazione le dinamiche dei seminativi a scala territoriale con *driver* di cambiamento di tipo biofisico (tipo di suolo, pendenza, aspetto) e socio-economico (tipologia del proprietario dell'azienda: pensionato, diversificato attivo in agricoltura e assenteista). Il completo abbandono dei seminativi è stato associato a limiti biofisici e a tutte le tipologie di proprietari. La trasformazione dei seminativi in boschi coltivati è stata associata a specifiche misure incentivanti di politica agraria (reg. CEE 2080/92) che hanno interessato un'ampia gamma di tipologie di proprietari delle aziende. La trasformazione in Montado (pascoli arborati) è stata associata principalmente a proprietari con interessi diversificati indipendentemente da fattori biofisici, mentre il mantenimento dei seminativi è stato garantito dagli agricoltori più giovani e ancora attivi, che però sono in costante diminuzione.

Pertanto, il cambiamento d'uso del suolo in aree marginali non deriva tanto da una decisione presa liberamente dai proprietari terrieri, quanto dalle eventuali forti limitazioni bio-fisiche. Se un proprietario è 'in pensione', la probabilità che il seminativo possa essere abbandonato o trasformato in bosco sarà più alta, anche perché, nel caso del bosco, avendo cessato l'attività agricola, questa tipologia di proprietari mantiene ancora aspettative economiche dalla proprietà fondiaria e desidera investire a vantaggio delle future generazioni. I proprietari terrieri di tipo 'diversificato' invece, favoriranno la ricostituzione del bosco in relazione alla gestione multifunzionale delle loro proprietà fondiarie. Infatti, fra le attività in previsione, oltre all'agricoltura, annoverano anche caccia e silvicoltura e, in questo modo, favoriscono la rigenerazione naturale del sistema Montado. I proprietari del tipo attivo tendono invece a praticare un'agricoltura il più possibile stabile, mantenendo in produzione le terre arabili, senza prevedere sostanziali modifiche nell'uso del suolo. Secondo le interviste con i proprietari terrieri del tipo 'attivo', in questa area di studio vi sono stati notevoli cambiamenti nella gestione, determinati dai necessari compromessi tra redditività, disponibilità di sovvenzioni e domanda di lavoro.

3.2 Le politiche di sviluppo e i sistemi di innovazione in agricoltura

In astratto, la situazione desiderabile sotto molti punti di vista sarebbe quella che prevede nelle zone svantaggiate un mosaico di seminativi, prati e pascoli, terreni incolti e boschi, al fine di garantire la diversificazione degli habitat. Ma questa ipotesi contrasta con l'esigenza di mantenere elevata la competi-

vità sul mercato globale delle *commodity*, che fa riferimento a situazioni ambientali e di struttura fondiaria e di mercato probabilmente non desiderabili, in un paese come l'Italia. I tentativi di avere un riscontro nei prezzi dei prodotti alimentari in relazione alla qualità del paesaggio delle aree di produzione (Chessa et al., 2009), sono più frequenti nelle aree più fertili e produttive del paese che nelle zone svantaggiate. Dei primi dieci prodotti Dop e Igp italiani che complessivamente rappresentano un valore di oltre 4 miliardi di euro (83% del valore complessivo dei 171 prodotti certificati), solo tre (mela della Val di Non, bresaola della Valtellina e pecorino romano), corrispondenti al solo 11% in valore, si possono ricondurre a sistemi produttivi tipici di zone caratterizzate da limiti ecologici caratteristici delle aree collinari e montane (Finizia, 2008). Peraltro, per esempio, il disciplinare della Bresaola della Valtellina ammette la lavorazione di carni di provenienza estera e la mela della Val di Non interessa una piccola porzione di territorio nel quale la coltura promiscua con i seminativi è stata sostituita da frutteti altamente specializzati. Il pecorino romano è probabilmente, tra questi, uno dei pochi prodotti tipici italiani con una base territoriale ampia, anche se si tratta di un prodotto da esportazione, con qualità nutrizionali non eccellenti e che sta attraversando una gravissima crisi di mercato.

Il ricorrente riferimento della politica nazionale alla promozione dei prodotti tipici per valorizzare i territori, si contrappone quindi alla sostanziale difficoltà a far decollare le relative filiere di nicchia in modo armonico con lo sviluppo rurale territoriale e con le logiche del mercato della Grande Distribuzione Organizzata. Questo trova riscontro anche in altre nazioni europee, nelle quali le politiche incentivanti i sistemi intensivi, le dinamiche di mercato e dei costi della manodopera sono stati riconosciuti come una delle principali cause dell'abbandono dell'agricoltura in aree marginali e i sussidi governativi come indispensabili per contrastare la scomparsa dei sistemi culturali tradizionali (Strijker, 2005).

La PAC 2020 punta su tre tipi di crescita: (i) intelligente (conoscenza e innovazione), (ii) sostenibile (efficienza, verde e competitività) e (iii) inclusiva (occupazione, coesione sociale e territoriale) e ha come obiettivo l'abbattimento delle emissioni di gas serra di origine agricola del 20%, contro l'8% degli altri settori, e con riferimento a una varietà di modelli di sviluppo sito-specifici (Commissione Europea, 2010). Le parole chiave della futura politica agricola sono competitività, qualità, cambiamenti climatici, gestione sostenibile delle risorse naturali, diversificazione e vitalità aree rurali, inclusione sociale, *governance*, reti e innovazione, concentrazione territoriale, metodi di valutazione dedicati a situazioni specifiche, formazione e consapevolezza.

I documenti, ancora in fase di elaborazione, rivelano tuttavia incertezze nei metodi per individuare misure efficaci e per definire le priorità per l'allocazione dei budget, tra scelte di gradualità e altre più radicali.

I continui cambiamenti del contesto internazionale, non solo dell'economia, rendono difficile la progettazione di medio termine ed esigono continui aggiustamenti per i quali gli approcci convenzionalmente impiegati nella PAC si rivelano non adeguati alla gestione delle fasi di transizione come quella attuale. A questo riguardo proponiamo una breve riflessione su come affrontare il dilemma della progettazione delle politiche di contrasto dell'abbandono in zone svantaggiate in una fase di continuo cambiamento e su quale possa essere il ruolo della ricerca scientifica.

Su questi punti proponiamo la riflessione sul concetto di adattamento inteso come co-evoluzione (Collins e Ison, 2009), che fa riferimento alle teorie sulla dinamica dell'accoppiamento strutturale tra un sistema e il suo ambiente (Maturana, 2007). Il concetto di adattamento viene spesso interpretato come l'incastro delle tessere di un puzzle, come se si trattasse di adattare qualcosa di pre-determinato a una situazione prevedibile o nota in anticipo alla quale adattarsi. Questo concetto è dominante in diversi documenti che supportano le politiche di adattamento al cambiamento climatico (es. IPCC, 2007; CEC, 2009). Una metafora alternativa per interpretare l'adattamento è quella di un paio di scarpe, la cui comodità dipende continuamente dalle interazioni tra piede e scarpa. Infatti se una scarpa giudicata comoda viene indossata dopo essere stata riposta per molto tempo, non risulterà altrettanto comoda, perché nel frattempo la scarpa si sarà irrigidita e il piede si sarà adattato a un'altra scarpa. La comodità emerge infatti dalla continua interazione tra scarpa e piede, che co-evolvono continuamente, come avviene nei sistemi sociali in cui vi è spazio per apprendimento e sviluppo (Ison et al., 2007).

Le implicazioni per questi due diversi modi di concepire l'adattamento sono dirimenti: nel primo caso, la ricerca e le politiche sono focalizzate a individuare soluzioni (inefficaci) per risolvere problemi complessi e continuamente dinamici, nel secondo caso invece si sposta l'attenzione all'interazione "tra piede e scarpa", cioè alla qualità dei processi di apprendimento a diversi livelli, orientati alla condivisione della natura delle questioni e all'azione concertata. Lo sviluppo in questo secondo caso assume caratteristiche differenti nei diversi contesti e l'apprendimento sociale alimenta continuamente tra gli stakeholder nuove capacità di adattamento e gestione, da cui emerge l'individuazione di opzioni sostenibili.

In una prospettiva di ricerca scientifica integrata sui sistemi colturali (Roggero e Silvestri, 2001) questo nuovo atteggiamento implica una diversa con-

restualizzazione delle azioni, che tenga conto non solo dell'analisi dei processi biofisici, che essendo limitata e dipendente dalle scelte del ricercatore non potrà che riflettere alcune prospettive di analisi, ma anche delle percezioni, idee, aspirazioni, interessi, politiche e istituzioni e soprattutto degli spazi di apprendimento sociale degli attori delle questioni oggetto di studio (Roggero et al., 2006; Steyaert & Jiggins, 2007). Questa prospettiva di analisi e azione offre la possibilità di prevenire i disastri "giocando d'anticipo", come indicato da IPCC (2001), e può essere integrata nella progettazione di sistemi per l'innovazione in agricoltura, orientati allo sviluppo, basati su nuovi paradigmi (tab. 2).

Questo modo di concepire i sistemi di innovazione per l'adattamento ai cambiamenti ambientali in agricoltura permette di ripensare le modalità di impiego degli strumenti della ricerca scientifica e della politica investendo su processi sociali che facilitino la de-costruzione e ricostruzione delle percezioni di cosa e come ottenere gli obiettivi concertati, con investimenti non solo sui "fornitori di conoscenza scientifica" ma anche sulle interazioni tra gli attori coinvolti nell'innovazione (Hall et al., 2009). Il concetto si estende quindi oltre la creazione di conoscenza scientifica per rispondere alla domanda di innovazione (World Bank, 2006).

In questa prospettiva, i principali ostacoli all'innovazione sono rappresentati da prassi e atteggiamenti resi immutabili dall'assenza di spazi interattivi per l'apprendimento e di incentivi al cambiamento. Le scarse interazioni limitano l'accesso a nuove conoscenze, riducono la capacità di sviluppare la domanda di ricerca e formazione e ostacolano l'apprendimento attraverso tecnologie e metodologie innovative.

L'applicazione di questi concetti al tema centrale di questo lavoro ha implicazioni dirette sulle modalità attraverso le quali si progettano le politiche di sviluppo rurale nelle aree svantaggiate, dove l'abbandono dei seminativi riflette in effetti incapacità di adattamento e innovazione. La deriva dell'abbandono associata alla transizione in atto, riflette una possente azione di *driver* esterni ai sistemi locali che, senza interventi pubblici, sono destinati al collasso.

La progettazione e il coordinamento di sistemi per l'innovazione, focalizzata sui processi interattivi con gli *stakeholder*, è centrale per lo sviluppo rurale in zone svantaggiate e implica innanzi tutto la creazione di contesti favorevoli all'apprendimento. Non serve prima conseguire i risultati delle ricerche e solo successivamente occuparsi dello sviluppo: occorre sviluppare relazioni tra ricercatori e stakeholder sin dall'inizio di un processo di innovazione (World Bank, 2006).

Proponiamo quindi di concludere la riflessione sull'abbandono dei seminativi nelle zone svantaggiate prendendo nuovamente spunto da un'al-

VARIABILE	ANNI '80: SISTEMA DI RICERCA AGRICOLA NAZIONALE	ANNI '90: SISTEMA DELLA CONOSCENZA E DELL'INFORMAZIONE IN AGRICOLTURA	ANNI 2000: SISTEMI DI INNOVAZIONE IN AGRICOLTURA
Orientamento	Scientifico-tecnologico	Più attenzione a relazioni tra ricerca, informazione e assistenza e alla domanda degli agricoltori	Azioni concertate orientate allo sviluppo delle filiere
Relazioni Partner	Strette e gerarchiche Ricercatori di Enti pubblici, assistenza tecnica, agricoltori	Più ampie Ricercatori di Enti pubblici, assistenza tecnica, agricoltori, ONG e imprenditori delle aree rurali	Varie, consultative Potenzialmente tutti gli attori pubblici e privati coinvolti nella creazione, diffusione, adattamento e uso di conoscenza rilevante per il settore agricolo
Ruolo dei partner	Prefissato da ruoli istituzionali nell'ambito del sistema di ricerca	→	Flessibile, determinato dal tipo di obiettivo, competenze e contesto
Priorità di ricerca	Prefissato dai ricercatori	Basato sulla domanda di nuove tecnologie da parte degli agricoltori	Consensuale con gli <i>stakeholder</i>
Ruolo della politica	Fissare le priorità e l'allocazione delle risorse	Creare un quadro di riferimento favorevole	Diventa parte integrante del sistema di innovazione
Meccanismi di innovazione	Trasferimento tecnologico	Apprendimento interattivo	Apprendimento interattivo, progettazione flessibile e iterativa
Responsabilità dei risultati	Affidati ad altri soggetti (assistenza tecnica)	→	Affidata alla rete di ricercatori e partner
Natura degli interventi	Infrastrutture e sviluppo risorse umane	Rafforzamento della comunicazione tra stakeholder nelle aree rurali	Rafforzamento delle interazioni tra attori; sviluppo istituzionale; apprendimento sociale; creazione di contesti favorevoli

Tab. 2 *Evoluzione del paradigma associato all'innovazione in agricoltura nell'ultimo trentennio (World Bank, 2006; rielaborato da Colvin et al., 2010)*

tra delle 100 domande più importanti per il futuro dell'agricoltura globale (Pretty et al., 2010), la 63.ma: «Quali sono i modelli basati sull'apprendimento sociale e il coinvolgimento per far convergere ricercatori, consulenti, imprese commerciali, decisori politici e altri attori chiave al fine di sviluppare tecnologie e istituzioni per un'agricoltura più equa, sostenibile e innovativa?».

Su questi temi crediamo si debba focalizzare la ricerca scientifica sistemica se si intende affrontare efficacemente questioni così complesse come quelle dell'abbandono dei seminativi in zone svantaggiate.

RINGRAZIAMENTI

I contenuti di questo lavoro scaturiscono anche dalle esperienze maturate da alcuni degli autori nell'ambito del progetto di ricerca "Agrosenari" (www.agrosenari.it) finanziato dal Ministero delle politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

RIASSUNTO

In questo lavoro proponiamo una riflessione sulla natura delle questioni associate all'abbandono dei seminativi, partendo da una sintetica descrizione di alcune dinamiche di transizione in atto nelle zone svantaggiate. Il lavoro fa riferimento all'Italia nel contesto delle dinamiche e delle politiche europee di sviluppo rurale ed è articolato in tre parti: nella prima parte si propone l'analisi di dati obiettivi che illustrano la transizione in atto e degli approcci che hanno guidato le politiche di sviluppo rurale delle aree svantaggiate. La seconda parte illustra alcune tra le implicazioni di carattere ambientale associate all'abbandono dei seminativi in aree svantaggiate, con particolare riferimento alla biodiversità e ai servizi ecosistemici. La terza parte propone un quadro interpretativo dei *driver* dell'abbandono dei seminativi e una riflessione conclusiva su politiche di sviluppo, sistemi di innovazione in agricoltura e implicazioni per la ricerca. Il *core message* del lavoro è centrato sull'importanza di inquadrare l'abbandono dei seminativi come una proprietà emergente dalla lacuna o totale assenza di contesti favorevoli per l'apprendimento sociale nelle zone svantaggiate. Ne consegue l'esigenza di investire sulla qualità dei processi di interazione tra portatori di interesse (es. agricoltori, decisori politici e ricercatori) al fine di integrare conoscenze tecnico-scientifiche con quelle locali dei potenziali utilizzatori e di conseguire un miglioramento delle capacità di adattamento ai continui cambiamenti di contesto.

ABSTRACT

In this paper we address a reflection on the nature of the issues of abandonment of field crops in the Less Favoured Areas (LFA). Starting from the description of some emblematic dynamics of field crops in LFA and the related environmental implications, we propose new responsive models and show the open issues for scientific research. The paper refers to Italy in the context of EU agricultural dynamics and rural development policies and is organised in three sections: in the first section we propose the analysis of the transition on the basis of statistical data and a description of the approaches that supported the current rural development policies in LFA. The second section briefly discuss the environmental implications of abandonment of field crops, particularly on biodiversity and ecosystem services. The third section proposes a framework for interpreting the drivers of abandonment and a final reflection on development policies, agricultural innovation systems and implications for research in LFA. The core message of the paper is centred on the need of framing the abandonment of field crops as an emergent property of the

lack of favourable environment and social learning spaces in LFA. There is a clear need of focusing intervention policies on the quality of interaction processes among stakeholders (e.g. farmers, policy makers and researchers) so that new scientific and technologic knowledge can be integrated with lay knowledge of potential users, in order to foster the local adaptation capacities to environmental change.

BIBLIOGRAFIA

- ASNER G.P., ELMORE A.J., OLANDER L.P., MARTIN R.E., AND HARRIS A.T. (2004): *Grazing systems, ecosystem responses, and global change*, «Annual Review of Environment and Resources», 29, pp. 261-299.
- BALDOCK D., BEAUFOY G., BROUWER F., AND GODESCHALK F. (1996): *Farming at the Margins: Abandonment or Redeployment of Agricultural Land in Europe*, a cura di Institute for European Environmental Policy Agricultural Economics Research Institute, London/The Hague.
- BENGTSSON J., AHNSTROM J., WEIBULL A.C. (2005): *The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis*, «Journal of Applied Ecology», 42, pp. 261-269.
- BENNETT G.E. (1997): *Agriculture and Nature 2000*, Nature Conservation and Fisheries, a cura di Dutch Ministry of Agriculture, The Hague, The Netherlands.
- BIGNAL E.M., MCCracken D.I. (1996): *Low-intensity farming systems in the conservation of the countryside*, «Journal of Applied Ecology», 33, pp. 413-424.
- BREUSTEDT G., GLAUBEN T. (2007): *Driving forces behind exiting from farming in Western Europe*, «Journal of Agricultural Economics», 58, 1, pp. 115-127
- BRISSON N., GATE P., GOUACHE D., CHARMET G., OURY F.X., HUARD F. (2010): *Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France*, «Field Crops Research», 119, pp. 201-212.
- CHESSA I., SAMBO P., ROMANO D. (2009): *I prodotti alimentari e floricoli tipici tra conservazione e innovazione*, «Italian Journal of Agronomy/Rivista di Agronomia», 3 suppl., pp. 87-92.
- CABALLERO R., FERNÁNDEZ-GONZÁLES F., PÉREZ BADIA R., MOLLE G., ROGGERO P.P., BAGELLA S., D'OTTAVIO P., PAPANASTASIS V.P., FOTIADIS G., SIDIROPOULOU A, IPIKOURDIS I. (2009): *Grazing systems and biodiversity in Mediterranean areas: Spain, Italy and Greece*, «Revista Pastos», 39, 1, pp. 3-154.
- COLLINS K., ISON R.L. (2009): *Editorial: Living with environmental change. Adaptation as social learning*, «Environmental Policy and Governance», 19, pp. 351-357.
- COLVIN J., SEDDAIU G., ROGGERO P.P. (2010): *New integrative modalities for connecting policy makers, farmers and scientists for adaptive farming management in a climate changing world*, in *Atti del XXXIX Convegno nazionale della Società Italiana di Agronomia* (M. Mastroianni Ed.), Roma, 20-22 settembre 2010, pp. 59-60. <http://www.siaagr.org/download.asp?opzione=2> [1/4/2011].
- COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) (2009): *Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action*, White Paper, Com (2009) 147. CEC: Brussels. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:DOC> [23/9/2009].
- COMMISSIONE EUROPEA (2010): *Europa 2020. Una strategia per una crescita intelligen-*

- te, sostenibile e inclusiva*. Comunicazione della Commissione del 3/3/2010. <http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20IT%20BARROSO%20-%20Europe%202020%20-%20IT%20version.pdf> [1/12/2010].
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2005): *Proposal for a Council Regulation on support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) – redefinition of intermediate less favoured areas*, Working Party on Agricultural Structures and Rural Development, working document (7971/05), 15 April, Brussels.
- EEA (2005): *Agriculture and Environment in EU-15 – the IRENA Indicator Report*, European Environment Agency, Copenhagen.
- EICHHORN M.P., PARIS P., HERZOG F., INCOLL L.D., LIAGRE F., MANTZANAS K., MAYUS M., MORENO G., PAPANASTASIS V.P., PILBEAM D.J., PISANELLI A., AND DUPRAZ C. (2006): *Silvoarable systems in Europe - past, present and future prospects*, «Agroforestry Systems», 67, pp. 29-50.
- EUROPEAN COMMISSION (2006): *Halting the loss of biodiversity by 2010- and beyond: sustaining ecosystem services for human well-being*, in COM(2006) 216 final. http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/bap_2006.htm [1/12/2010]
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2004): *High Nature Value farmland. Characteristics, trends and policy challenges*, in EEA Report no. 1/2004, EEA/UNEP, Luxemburg.
- FARINA R., SEDDAIU G., ORSINI R., ROGGERO P.P., FRANCAVIGLIA R. (2011): *Soil carbon dynamics and crop productivity as influenced by climate change in a rainfed cereal system under contrasting tillage using EPIC*, «Soil & Tillage Research», 112, pp. 36-46.
- FINIZIA A. (2008): *Tendenze recenti del mercato delle DOP e IGP*, in Atti del SANA 2008, DOP e IGP, i numeri della qualità, Bologna, 12 settembre 2008. <http://www.istat.it/istat/eventi/2008/ferabologna/SANA/finizia.pdf> [1/12/2010]
- FOLEY J.A., DEFRIES R., ASNER G.P., BARFORD C., BONAN G., CARPENTER S.R., DEFRIES R., CHAPIN F.S., COE M.T., DAILY G.C., GIBBS H.K., HELKOWSKI J.H., HOLLOWAY T., HOWARD E.A., KUCHARIK C.J., MONFREDA C., PATZ J.A., PRENTICE I.C., RAMANKUTTY N., SNYDER P.K. (2005): *Global consequences of land use*, «Science», 309, pp. 570-574.
- FRONDONI R., MOLLO B., CAPOTORTI G. (2011): *A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001*, «Landscape and Urban Planning», 100 (1-2), pp. 117-128.
- GONZALEZ BERNANDEZ F. (1991): *Ecological consequences of the abandonment of traditional land use systems in Central Spain*, in *Land Abandonment and its Role in Conservation*, Options Méditerranéennes, Seminar Series A, No. 15 CIHEAM Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes.
- GRENON M., BATISSE M. (1989): *Futures for the Mediterranean basin: The blue plan*, Paris, UNEP.
- GROVE A.T., RACKHAM O. (2002): *The nature of Mediterranean Europe: An ecological history*, New Haven, Yale University Press.
- HAINES-YOUNG R.H. (2009): *Land use and biodiversity relationships*, «Land Use Policy», 265, pp. 5178-5186.
- HALL A., DIJKMAN D., SULAIMAN R.V. (2009): *Rethinking investments in agricultural innovation*, «Learning Innovation Knowledge (LINK)», United Nations University UNU-MERIT News Bulletin September 2009. <http://www.innovationstudies.org/images/stories/linkseptember2009bulletin.pdf>
- HEILIG K.H. (2002b): *Demography of Europe — the extinction of the countryside?*, in Ho-

- ogeveen Y.R., Ribeiro T. and Henrichs T. (2002), *Land use and agriculture in Europe*, Proceedings of an Expert Meeting, 20 June 2002, EEA, Copenhagen.
- HÖCHTL F., LEHRINGER S., KONOLD W. (2005): 'Wilderness': *what it means when it becomes a reality – a case study from the southwestern Alps*, «Landscape and Urban Planning», 70, pp. 85-95.
- INEA (2010): *Rapporto sullo stato dell'agricoltura*, a cura del Ministero delle Politiche agricole, alimentari e forestali.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2001): *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Summary for Policy Makers, Cambridge University Press, Cambridge.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): *Climate Change 2007, Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva.
- ISON R.L.I., ROLING N., WATSON D. (2007): *Challenges to science and society in the sustainable management and use of water: investigating the role of social learning*, «Environmental Science and Policy», 10, pp. 499-511.
- KARDOL P., BEZEMER T.M., VAN DER WAL A., VAN DER PUTTEN W.H. (2005): *Successional trajectories of soil nematode and plant communities in a chronosequence of ex-arable lands*, «Biological Conservation», 126, pp. 317-327.
- KIZOS T., DALAKA A., PETANIDOU T. (2010): *Farmers' practices and landscape change: evidence from the abandonment of terraced cultivations on Lesvos*, «Greece Agriculture and Human Values», 27, pp. 199-212.
- KLEIJN D., BAQUERO R.A., CLOUGH Y., DIAZ M., DE ESTEBAN J., FERNÁNDEZ F. (2006): *Mixed biodiversity benefits of agrienvironment schemes in five European countries*, «Ecology», 9, pp. 243-254.
- LAIOLO P., DONDERO F., CILIENTO E., ROLANDO A. (2004): *Consequences of pastoral abandonment for the structure and diversity of the alpine avifauna*, «Journal of Applied Ecology», 41, pp. 294-304.
- LASANTA-MARTINEZ T., VICENTE-SERRANO S.M., CUADRAT-PRATS J.M. (2005): *Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees*, «Applied Geography», 25, pp. 47-65.
- LESSCHEN J.P., CAMMERAAT L.H., NIEMAN T. (2008): *Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment*, «Earth Surf. Process. Landforms», 33, pp. 1574-1584.
- MACDONALD D., CRABTREE J.R., WIESINGER G., DAX T., STAMOU N., FLEURY P., GUTIERREZ LAZPITA J., AND GIBON A. (2000): *Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response*, «Journal of Environmental Management», 59, pp. 47-69.
- MATURANA H. (2007): *Systemic versus genetic determination*, «Constructivist Foundations», 3, pp. 21-26.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005): *Ecosystems and human well-being: Current State and Trends*, Island Press, Washington DC.
- MOONEN A.C., BARBERI P. (2008): *Functional biodiversity: an agro-ecosystem approach*, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 127, pp. 7-21.
- MOREIRA F., RUSSO D. (2007): *Modelling the impact of agricultural abandonment and wildfires on vertebrate diversity in Mediterranean Europe*, «Landscape Ecology», 22, pp. 1461-1476.
- MOREIRA F., REGO F.C., FERREIRA P.G. (2001): *Temporal (1958–1995) pattern of change*

- in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence*, «Landscape Ecol.», 16, pp. 557-567.
- OECD, RURAL POLICY REVIEW (2006): *The New Rural Paradigm: Policies and Governance*, OECD.
- OTTO R., KRÜSI B.O., BURGA C.A., FERNÁNDEZ-PALACIOS J.M. (2006): *Old field succession along a precipitation gradient in the semi-arid coastal region of Tenerife*, «Journal of Arid Environments», 65, pp. 156-178.
- PADILLA F.M., VIDAL B., SÁNCHEZ J., PUGNAIRE F.I. (2010): *Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: Implications for land management*, «Journal of Environmental Management», 91, pp. 2688-2695.
- PASSIOURA J.B., ANGUS J.F. (2010): *Improving Productivity of Crops in Water-Limited Environments*, «Advances in Agronomy», 106, pp 37-75.
- PETANIDOU T., KIZOS T., SOULAKELLIS N. (2008): *Socioeconomic dimensions of changes in the agricultural landscape of the Mediterranean Basin: a case study of the abandonment of cultivation terraces on Nisyros Island, Greece*, «Environmental Management», 41, pp. 250-266.
- PINTO CORREIA, T. (1993): *Threatened landscape in Alentejo, Portugal: The 'montado' and other 'agro-silvo-pastoral' systems*, «Landscape and Urban Planning», 24, pp. 43-48.
- PREISS E., MARTIN J.L., DEBUSSCHE M. (1997): *Rural depopulation and recent landscape changes in a Mediterranean region: consequences to the breeding avifauna*, «Landscape Ecology», 12, pp. 51-61.
- PRETTY, J. ET AL. (2010): *The top 100 questions of importance to the future of global agriculture*, «International Journal of Agricultural Sustainability», 8, pp. 219-236.
- PUGNAIRE F.I., LUQUE M.T., ARMAS C., GUTIERREZ L. (2006): *Colonization processes in semi-arid Mediterranean old-fields*, «Journal of Arid Environments», 65, pp. 591-603.
- RAS, Regione Autonoma della Sardegna (2008): *Programma di sviluppo rurale 2007-2013*, Reg. (CE) n. 1698/2005, REV.2, pp. 382.
- REGER B., SHERIDAN P., SIMMERING D., OTTE A., WALDHARDT R. (2009): *Potential Effects of Direct Transfer Payments on Farmland Habitat Diversity in a Marginal European Landscape*, «Environmental Management», 43, pp. 1026-1038.
- REY BENAYAS J.M., MARTINS A., NICOLAU J.M., AND SCHULZ J.J. (2007): *Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences*, «Perspect. Agr. Vet. Sci. Nutr. Nat. Res.», 2, No 057.
- ROGGERO P.P. (2011): *Role of agriculture in causing land degradation of drylands*, in *Patterns of land degradation in drylands: Understanding self-organized ecogeomorphic systems*, E.N. Mueller, A.J. Parsons, J. Wainwright (eds), Springer, in corso di stampa.
- ROGGERO P.P., TODERI M., SEDDAIU G. (2006): *Stakeholder analysis for sharing agro-environment issues towards concerted action: a case study on diffuse nitrate pollution*, «Italian Journal of Agronomy», 4, pp. 727-740.
- ROGGERO P.P., SILVESTRI N. (2001): *Elementi per un'analisi integrata dei sistemi culturali*, in *Verso un approccio integrato allo studio dei sistemi culturali*, a cura di Bonari E. e Ceccon P., Franco Angeli, Milano, pp. 121-144.
- ROGGERO P.P., TODERI M. (2002): *Impact of cropping systems on soil erosion in the clay hills of central Italy*, in *Sustainable land management – environmental protection. A soil physical approach*, Pagliai M. and Jones R. (eds.), «Advances in Geocology», 35, Reiskirchen: Catena Verlag, pp. 471-480.
- SAUER T., RIES J.B. (2008): *Vegetation cover and geomorphodynamics on abandoned fields in the Central Ebro Basin (NE Spain)*, «Catena», 73, pp. 225-238.

- SIRAMI C., BROTONS L., MARTIN J.L. (2007): *Vegetation and songbird response to land abandonment: from landscape to census plot*, «Diversity-and-Distributions», 13, pp. 42-52.
- SPIERTZ J.H.J., EWERT F. (2009): *Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints*, «Journal of Life Sciences», 56, pp. 281-300.
- STEYAERT P., JIGGINS J. (2007): *Governance of complex environmental situations through social learning: a synthesis of SLIM's lessons for research, policy and practice*, «Environmental Science and Policy», 10, pp. 575-586.
- STOATE C., BÁLDI A., BEJA P., BOATMAN N.D., HERZON L., VAN DOORN A., DE SNOO G.R., RAKOSY L., RAMWELL C. (2009): *Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review*, «Journal of Environmental Management», 91, pp. 22-46.
- STRIJKER D. (2005): *Marginal lands in Europe – causes of decline*. «Basic and Applied Ecology», 6, pp. 99-106.
- SUAREZ-SEOANE S., OSBORNE P.E., BAUDRY J. (2002): *Responses of birds of different biogeographic origins and habitat requirements to agricultural land abandonment in northern Spain*, «Biological Conservation», 105, pp. 333-344.
- VAN DOORN A.M., BAKKER M.M. (2007): *The destination of arable land in a marginal agricultural landscape in South Portugal: an exploration of land use change determinants*, «Landscape Ecology», 22, pp. 1073-1087.
- WORLD BANK (2006): *Enhancing Agricultural Innovation: How to Go Beyond the Strengthening of Research Systems*. World Bank, Washington, D.C. http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/Enhancing_Ag_Innovation.pdf [1/12/2010]
- WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO). (2009): *Climate Change and Health. Report by the Secretariat to the 62nd World Health Assembly (18–27 May 2009)*, WHO. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/A62/A62_11-en.pdf [3 September 2009].
- YOUNG J., WATT A., NOWICKI P., ALARD D., CLITHEROW J., HENLE K., JOHNSON R., LACZKO E., MCCracken D., MATOUCH S., NIEMELA J., RICHARDS C. (2005): *Towards sustainable land use: identifying and managing the conflicts between human activities and biodiversity conservation in Europe*, «Biodiversity Conservation», 14, pp. 1641-1661.

STEFANO BENEDETTELLI*, GIOVANNI DINELLI**

Miglioramento degli standard qualitativi delle produzioni dei seminativi

INTRODUZIONE

In termini generali, la qualità delle produzioni agricole rappresenta oggi-giorno uno dei requisiti maggiormente richiesti da un mercato maturo ed evoluto, quale è quello italiano. Da sempre poi, il settore produttivo ha dovuto confrontarsi con le specifiche richieste di qualità dell'industria di trasformazione e commercializzazione dei prodotti agricoli. Merita comunque sottolineare che non è disponibile, sia nella letteratura scientifica che nei prontuari di produzione, una definizione univoca e omnicomprensiva del termine qualità.

Nell'ambito delle produzioni agricole diversi aspetti possono essere considerati per definire il concetto di qualità. La qualità può quindi riferirsi ad aspetti sanitari, tecnologici e funzionali. Per le diverse colture industriali diversi sono i concetti considerati per definire e garantire la qualità dei prodotti ottenuti dalle attività agricole. Molti di questi sono stati valutati anche dall'attività del miglioramento genetico per garantire la riduzione di alcune caratteristiche negative e aumentare quelle positive. Molte sono quindi le considerazioni da fare nella trattazione di questo capitolo che verrà sviluppato secondo interventi relativi ad alcune caratteristiche comuni per diverse colture vegetali.

* *Dipartimento di Scienze delle Produzione vegetali del Suolo e dell'Ambiente agroforestale (DiPSA), Università degli Studi di Firenze*

** *Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali (DiSTA), Università di Bologna*

QUALITÀ TECNOLOGICHE

Molti studi sono stati condotti per definire come gli interventi agricoli e di miglioramento genetico possono influire sulle qualità tecnologiche dei cereali. Nel frumento è di particolare importanza la quantità e la qualità delle proteine di riserva, responsabili delle qualità reologiche delle farine. Due sono le specie di frumento più coltivate e precisamente il frumento tenero (*Triticum aestivum* L.) e il frumento duro (*T. turgidum* L. var *durum*). Le due specie differiscono per la struttura genomica (esaploide la prima e tetraploide la seconda), per le proprietà della granella e infine per le caratteristiche e l'uso dei prodotti derivati. Il frumento tenero è utilizzato prevalentemente per la produzione di pane e biscotti, mentre il frumento duro è destinato prevalentemente alla produzione di pasta. Questa differenziazione non è sempre valida, si può infatti ottenere dell'ottimo pane anche da alcune varietà di frumento duro e della pasta dal frumento tenero con l'aggiunta di uova come legante.

Diversi sono i tipi i classificazione del frumento: in base alla durezza della cariosside (soffice, semidura e dura), in base al colore della cariosside (bianca, ambra e rossa), in base all'habitus (primaverile e invernale).

Qualità della cariosside

La durezza della cariosside è conseguenza del modo in cui le diverse componenti della cariosside risultano impacchettate all'interno delle cellule della cariosside. È spesso riportata come la forza necessaria a rompere la cariosside e ridurla in fini particelle (farina e semola). La durezza della cariosside sembra essere influenzata dalla presenza di alcune proteine, le friabiline (Oda e Schofield, 1997). Quando queste proteine si trovano associate ai granuli di amido, come nel frumento tenero, si ha una riduzione della durezza della cariosside; mentre se non sono associate, come nel frumento duro, si ha una cariosside dura. Le sequenze aminoacidiche N-terminali hanno evidenziato che le friabiline sono composte da due proteine denominate puroindoline (PinA e PinB) (Greenwell, 1992; Jolly et al., 1993; Gautier et al., 1994; Morris et al., 1994; Oda e Schofield, 1997; Morris, 2002). I geni *pinA* e *pinB* sono localizzati sul braccio corto del cromosoma 5D (5DS) e la presenza di friabiline associata con la caratteristica della durezza della cariosside sono linked (Sourdille et al., 1996; Giroux e Morris, 1997).

L'amido è il composto più abbondante, costituisce infatti il 70-75% del peso secco della cariosside. L'amido, nelle sue due componenti amilosio e

amilopectina, influenza la capacità della farina di assorbire acqua durante l'impasto, il tempo di lievitazione dell'impasto, la conservabilità (tempo di raffermaimento), la tessitura e l'uniformità della mollica. Tutte queste qualità sono proprio associate alla percentuale di granuli di amido danneggiati durante le fasi di molitura, maggiore è il danneggiamento dei granuli di amido e maggiore sarà la quantità di acqua assorbita. La presenza di una certa percentuale di granuli danneggiati nella farina è considerata una caratteristica positiva per ottenere un pane di qualità, mentre è considerata negativa nella produzione di biscotti. Le caratteristiche dell'amido dipendono anche dai rapporti tra amilosio e amilopectina, le due componenti dell'amido. Generalmente l'amilosio (catena lineare di glucosio legame 1-4) costituisce il 20-25% dell'amido, mentre il complemento a cento è costituito dall'amilopectina (polimero di glucosio con legame 1-4 e ramificazioni 1-6). Il rapporto amilosio amilopectina è controllato geneticamente da una serie di geni *waxy* che codificano per alcune proteine definite Granular Bound Starch Synthase (GBSS), che sono predisposte per la sintesi dell'amilosio. I geni *waxy* si trovano sui cromosomi 7A, 4A e 7D.

Le proteine dell'endosperma costituiscono il 7-18% del peso secco della cariosside e sono formate per il 10-15% da albumine e globuline e per il resto da proteine di riserva: gliadine e glutenine. Le gliadine sono proteine monometriche mentre le glutenine sono polimeriche e formano legami disolfuro tra le diverse sub unità. Entrambe queste proteine costituiscono il glutine, quindi sono molto importanti nel determinare le qualità tecnologiche delle farine. Le glutenine, attraverso la formazione di polimeri proteici, determinano l'elasticità dell'impasto, mentre le gliadine, con la loro struttura globulare, conferiscono la viscosità al glutine (Shewry e Tatham, 1997). Per avere un buon impasto, sia per la produzione di pane che di pasta, sono importanti la quantità di proteine e la loro qualità. Il contenuto di proteine è determinato da fattori genetici multi fattoriali che sono fortemente influenzati dall'ambiente, dall'andamento climatico e dalla conduzione agronomica. La qualità delle proteine è invece un carattere a controllo genetico semplice con loci con allelismo multiplo. L'interazione tra i diversi alleli dei loci predisposti alla sintesi delle gliadine e delle glutenine e la quantità proteica determinano tutta la serie delle diverse qualità del glutine responsabili delle proprietà delle farine e delle semole. I geni che controllano la sintesi delle proteine di riserva sono localizzati sui cromosomi 1 e 6 di tutti i genomi presenti nel frumento (A e B nel frumento duro e A, B e D nel frumento tenero). Le glutenine si suddividono in due frazioni: quelle ad alto peso molecolare (HMW) e quelle a basso peso molecolare (LMW); i geni predisposti per la loro sintesi sono: *Glu-A1*,

PROTEINE	CROMOSOMA			LOCUS		
GLIADINE						
γ e ω	1AS	1BS	1DS	<i>Gli-A1</i>	<i>Gli-B1</i>	<i>Gli-D1</i>
α e β	6AS	6BS	6DS	<i>Gli-A2</i>	<i>Gli-B2</i>	<i>Gli-D2</i>
GLUTENINE						
LMW	1AS	1BS	1DS	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
HMW	1AL	1BL	1DL	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>

Tab. 1 *Controllo genetico delle proteine del glutine*

CONTENUTO DEL PIGMENTO	BUONA QUALITÀ	MEDIA QUALITÀ
Estrazione di β -carotene (ppm/s.s.)	> 5	3-5
Indice di giallo metodo colorimetrico	> 23,5	19,0-23,0

Tab. 2 *Valutazione dell'indice di giallo*

Glu-B1 e *Glu-D1* per le HMW e *Glu-A3*, *Glu-B3* e *Glu-D3* per le LMW (tab. 1). La frazione delle glutenine ad alto peso molecolare HMW è stata associata alla forza dell'impasto e quindi alle qualità panificatorie delle farine (Payn, 1987), mentre la frazione a basso peso molecolare LMW determina le qualità visco-elastiche dell'impasto. L'influenza delle gliadine sulla qualità del glutine, non è stata ancora del tutto chiarita. Le gliadine, in base alla loro mobilità elettroforetica, sono state suddivise in α , β , γ e ω gliadine (tab 1). Le frazioni γ e ω sono codificate da geni *Gli-A1* e *Gli-B1* e *Gli-D1* localizzati sui bracci corti dei cromosomi 1 dei genomi A, B e D (A1S, B1S e D1S); mentre le frazioni α e β sono codificate da geni *Gli-A2*, *Gli-B2* e *Gli-D2* localizzati sui bracci corti dei cromosomi 6 di tutti e tre i genomi del frumento tenero e dei due genomi nel frumento duro (tab 1). Nel frumento duro è stata trovata un'associazione tra due alleli della frazione γ e precisamente la componente γ -45 associata positivamente con la buona qualità del glutine e la γ -42 associata con le qualità negative del glutine. Questa associazione comunque non dipende direttamente dalle componenti gliadiniche ma dal fatto che queste due varianti sono codificate da geni *Gli-B1* associati geneticamente con il locus *Glu-B3* che presenta alleli delle LMW direttamente responsabili della qualità del glutine (Payn et al., 1984).

Un altro carattere che negli ultimi anni è sempre più considerato indice di buona qualità del frumento duro è il colore della semola (indice di giallo), dovuto alla presenza nell'endosperma di pigmenti gialli come la xantofilla e la luteina. L'indice di giallo è valutato in base all'estrazione di beta carotene e alla sua valutazione con spettrofotometro (Ugarcic-Hardi et al., 1999) o

con metodo colorimetrico. Nella tabella 2 sono riportati i valori in base alla valutazione della semola.

Attività enzimatica

L'attività α -amilasica è associata alla qualità dell'impasto per la produzione del pane, idrolizza l'amido e questo determina una diminuzione delle qualità dell'impasto che va incontro a perdita di integrità. Questa capacità viene misurata mediante il tempo di caduta (*falling number*). Maggiore è il tempo in cui l'impasto rimane integro e migliore sarà la proprietà panificatoria, dato che le α -amilasi hanno una minore attività. L'attività delle α -amilasi è associata alle precipitazioni che si verificano nei giorni antecedenti la raccolta, queste infatti possono stimolare la germinazione della cariosside con conseguente attivazione degli enzimi predisposti allo sviluppo dell'embrione.

Altri enzimi importanti sono quelli responsabili dell'imbrunimento dell'impasto, soprattutto per la produzione di pasta fresca, legati all'attività delle polifenolo ossidasi (PPO) localizzate negli strati esterni della crusca, che trasformano i fenoli in polifenoli determinando così la colorazione scura della pasta fresca di tipo integrale. Un altro enzima è la lipossigenasi (LOX) che determina, attraverso l'ossidazione della luteina, la diminuzione della colorazione gialla durante la preparazione della pasta.

Resa in semola

Dalla molitura delle cariossidi si ottengono farina e semola rispettivamente dal frumento tenero e duro. La durezza della cariosside influenza molto la resa in semola e anche i maggiori o minori danni ai granuli di amido. Nel caso del frumento duro i granuli di amido vengono maggiormente danneggiati durante le fasi di molitura rispetto al frumento tenero. La produzione di semola è circa il 60-65%. La resa in semola è funzione del contenuto di ceneri, il peso specifico delle cariossidi e il contenuto proteico. Altra caratteristica da considerare nella qualità del frumento è la volpatura, determinata da particelle scure dovute alla presenza sulla cariosside di alcuni patogeni come *Bipolaris* spp. e *Alternaria* spp., che disperdono puntini neri nella semola. La presenza di cariossidi bianconate o parzialmente bianconate determina la diminuzione della resa in semola, in quanto la frattura della cariosside risulta farinosa e non vitrea determinando così la produzione di farina e non di semola.

TIPO O SUB-SPECIE	CARATTERISTICHE	UTILIZZO
Mais everta	Semi piccoli con endosperma vitreo e ricco di proteine.	Pop-corn.
Mais indurata	Cariossidi grandi rotondeggianti, vitree nella parte esterna dell'endosperma e farinose internamente.	Alimentazione umana.
Mais indentata	Cariossidi leggermente schiacciate con una depressione sul dorso. Molto produttivo.	Alimentazione animale.
Mais saccharata	Cariosside ricca di zuccheri solubili con poco amido. A maturità la cariosside diventa grinzosa.	Raccolto alla maturazione latteosa, è utilizzato come ortaggio nell'alimentazione umana. Viene anche inscatolato per conservarlo fresco.
Mais amilacea	Amido composto prevalentemente da amilosio.	Estrazione di amido
Mais ceratina	Mais ceroso, l'amido è composto prevalentemente da amilopectina.	Estrazione di amido

Tab. 3 *Tipi di mais*

Produzione di farina

Dalla molitura del frumento tenero si ottiene la farina per la produzione di pane e biscotti. Cariossidi dure o semi dure sono preferite per la produzione di pane. Infatti la durezza della cariosside determina durante la molitura una parziale rottura dei granuli di amido, quindi si ha un maggiore assorbimento dell'acqua durante l'impasto. La quantità di acqua assorbita influenza la struttura della mollica, il rapporto crosta mollica e il tempo di raffermamento del pane.

Cariosside di mais

Nel caso del mais la qualità della granella è legata ai tipi di mais commerciabili (tab. 3) e ad alcune prove che sono state eseguite per incrementare il contenuto dell'aminoacido lisina presente nella cariosside. Sono stati ottenuti dei mutanti ad alto contenuto di lisina denominati *Opaque*, questi comunque, anche se hanno un maggiore contenuto di lisina, presentano caratteristiche produttive e qualitative della cariosside molto scarse, quindi non sono stati molto utilizzati nella coltivazione.

La qualità delle cariossidi di mais è principalmente determinata dal contenuto proteico e dalla composizione aminoacidica, è inoltre fortemente legata al tipo di coltivazione, di raccolta e di conservazione delle cariossidi stesse. I

problemi maggiori possono derivare dalla presenza di alcuni funghi patogeni in grado di rilasciare micotossine nella cariosside. La presenza di micotossine e di altre sostanze tossiche sarà trattata in un capitolo specifico.

I diversi fattori produttivi determinano non solo l'incremento della quantità di seme, ma anche l'aumento della concentrazione dell'amido e una riduzione della concentrazione di proteine nelle cariossidi. Questa relazione inversa tra produzione e concentrazione delle proteine (M^CDermit e Loomis, 1981) è stata osservata anche in altri cereali, come il frumento, l'orzo e l'avena. La relazione inversa tra produzione e percentuale proteica è stata osservata anche nel selezionare genotipi altamente produttivi e genotipi con alto contenuto proteico.

Anche analizzando le relazioni tra la concimazione azotata, la produzione e la percentuale di proteine della cariosside, si osserva, a livelli alti di azoto, che la produzione di granella e di proteine generalmente aumenta, mentre la concentrazione delle proteine diminuisce (Anderson et al., 1984; Oikeh et al., 1998). L'incremento del contenuto di proteine nel mais è dovuto principalmente all'accumulo nella cariosside di zeine (Tsai et al., 1993).

Caratteristiche sanitarie delle farine

È essenziale, al fine di tutelare la salute pubblica, mantenere i contaminanti a livelli accettabili sul piano tossicologico (Regolamento CE N. 1881/2006). I tricoteci e le aflatossine sono le micotossine più conosciute, in grado di provocare malattie e di portare alla morte sia nell'uomo che negli animali.

Molti sono gli aspetti da considerare per poter ottenere e definire un prodotto sano e non contaminato da sostanze pericolose. In questa trattazione non verranno comunque considerate quelle sostanze derivate dall'attività di coltivazione come la presenza di fitofarmaci, di diserbanti e disseccanti, ecc. che possono essere presenti nei prodotti agricoli.

SICUREZZA ALIMENTARE

La sicurezza è prioritaria in ogni fase della catena alimentare. Il comitato "Joint FAO/WHO Expert" sugli additivi alimentari (JECFA), fornisce consulenze scientifiche sulle valutazioni tossicologiche ed epidemiologiche all'esposizione a diversi alimenti, raccomandazioni sui contaminanti specifici (Milićević et al., 2010). In Europa, l'autorità europea per la sicurezza alimen-

tare (European Food Safety Authority - EFSA) è stata fondata nel 2002. Essa collabora con organizzazioni internazionali dal momento che l'approvvigionamento alimentare in Europa è diventato sempre più globalizzato. EFSA agisce come una fonte indipendente di consulenza scientifica per la valutazione dei rischi associati alla catena alimentare in molti settori, tra cui i contaminanti alimentari. La valutazione del rischio riguarda principalmente le sostanze che sono genotossiche (influenzano il DNA cellulare) o cancerogene. Le informazioni ottenute dall'EFSA invia le informazioni alle Commissioni della Comunità Europea, le quali formulano i Regolamenti delle Commissioni (CR) dove vengono fissati i livelli massimi di contaminanti nei prodotti alimentari. Nessun limite viene fornito circa la presenza di alcune sostanze come gli inibitori delle amilasi, l'acido fitico e la lectina, tutte considerate come tossine alimentare naturali (Regolamento CE N. 1881/2006; Dolan et al., 2010). Tra i diversi contaminanti, quelli considerati più pericolosi dalla UE includono le micotossine fungine, i metalli pesanti, i nitrati, le diossine, i bifenili policlorurati e gli idrocarburi policiclici aromatici (Regolamento CE N. 1881/2006). L'acrilamide, è anche classificata come una tossina (CIAA, 2009; Dolan et al., 2010).

I principali contaminanti della catena alimentare presenti prevalentemente nei vegetali sono: le micotossine (aflatossine, tricoteceni, fumonisine, ecc.), l'acrilamide e alcuni metalli pesanti. Il miglioramento della sicurezza degli standard qualitativi delle colture vegetali deve pertanto prendere in considerazione queste sostanze contaminanti. Il livello di contaminazione è influenzato dal genotipo, dall'ambiente e dalla gestione colturale. A seguito di una descrizione di ciascuna classe di contaminanti, sarà fornita una breve panoramica delle misure da adottare per ridurre la contaminazione nelle colture prima del raccolto. La descrizione sarà incentrata sulle pratiche agricole attuali e sulle tecnologie future, che sono attualmente in fase di sviluppo dalla ricerca. Queste tecnologie includono: 1) strategie di miglioramento genetico che si avvale di germoplasma resistente; 2) l'ingegneria genetica; 3) il controllo biologico.

Aflatossine

Le aflatossine sono prodotte da tutti i ceppi di *Aspergillus parasiticus* e da alcuni ceppi di *A. flavus* che infettano le colture sia prima che dopo il raccolto, contaminando sia gli alimenti che i mangimi. Tra i cereali e le colture oleaginose colonizzate da *Aspergillus*, il mais, l'arachide e il cotone sono quelli

che hanno il più alto rischio di contaminazione da aflatoxine (Klich, 2007). Le quattro principali classi di aflatoxine (derivati difuranocumarinici) includono B1, B2, G1 e G2. Altre due forme indicate come M1 e M2 si rilevano nel latte, e quindi nei prodotti lattiero-caseari in genere, di bovini alimentati con farine di granturco e di semi di cotone, contaminati rispettivamente da B1 e B2 (Bennett e Klich, 2003). L'aflatossina B1 è la forma predominante ed è stata classificata come una sostanza cancerogena genotossica per l'uomo soprattutto per il fegato (Bennett e Klich, 2003). Conseguentemente è stato fissato, per la B1 e per le aflatoxine totali, un limite massimo rispettivamente di 2,0 e 4,0 µg/kg (ppb) nei prodotti alimentari (Regolamento CE N. 1881/2006).

Il controllo delle malattie per il mais, l'arachide e il cotone, viene effettuato principalmente, attraverso le pratiche agricole anche se queste, non sempre sono possibili e/o sufficienti a impedire la contaminazione da aflatoxine. La strategia generale adottata è quella di modificare le condizioni in cui la coltura si sviluppa per ridurre l'incidenza dell'infezione (Munkvold, 2003; Klich, 2007). La contaminazione delle colture può essere suddivisa in due fasi distinte (Cotty e Jaime-Garcia, 2007). La prima fase si verifica sulle colture in via di sviluppo, dove la colonizzazione avviene principalmente come conseguenza di ferite provocate da insetti, stress termici e stress idrici. La seconda fase si verifica tra la maturazione e il consumo, in presenza di umidità sia in campo che durante la conservazione. Nel mais, la combinazione di pratiche agricole pre-raccolta, comprendenti la semina precoce, il ridotto numero di piante, l'irrigazione e le lavorazioni, hanno mostrato di essere efficaci nel ridurre la contaminazione (Munkvold, 2003; Cotty e Jaime-Garcia, 2007). L'utilizzo di cultivar adattate, il diserbo delle infestanti, il controllo degli insetti e la raccolta tempestiva non appena il seme è maturo, sono ulteriori strategie da adottare per ridurre la suscettibilità della coltura alle infezioni di *Aspergillus* e, conseguentemente limitare la produzione di aflatoxine (Klich, 2007). In alcune parti del mondo (es. USA) sono disponibili modelli con dati meteo regionali e informazioni sulla dinamica delle popolazioni di insetti in grado di aiutare gli agricoltori a prendere decisioni appropriate nella gestione delle colture (Munkvold, 2003),

Il miglioramento genetico nel mais è stato finalizzato soprattutto a migliorare la resistenza alle aflatoxine e molte linee inbred sono state individuate. Il database "Resistance Associated Sequence Database (CFRAS)" (<http://agbase.msstate.edu/>) è stato creato per integrare, in un'unica fonte, tutti i dati esistenti relativi alla genomica e alla proteomica. Esso fornisce informazioni e assistenza al miglioramento genetico, al fine di identificare genotipi di mais

resistenti alle aflatossine prodotte dai funghi *Aspergillus* (Kelley et al., 2010). L'obiettivo è quello di aiutare i ricercatori a valutare il ruolo dei geni così da identificare i geni candidati importanti e responsabili della resistenza all'aflatossina (Kelley et al., 2010). Nell'arachide, sono stati fatti fino a oggi, pochi progressi per il miglioramento della resistenza alle aflatossine, ciò a causa del basso livello di resistenza esistente nel germoplasma (infezione del seme e produzione di aflatossine), l'elevata interazione tra genotipo e ambiente, la mancanza di affidabili protocolli di screening e una scarsa conoscenza del controllo genetico della resistenza (Nigam et al., 2009). Sebbene, siano stati segnalati genotipi resistenti, la comprensione dei meccanismi che inducono la resistenza, sono ancora in fase di studio (Nigam et al., 2009).

Poiché, non ci sono né varietà e né genotipi di cotone resistenti, prerequisito importante per capire i meccanismi e ottenere, attraverso la selezione, individui resistenti, il miglioramento genetico è principalmente incentrato sulle tecniche molecolari di trasformazione utilizzando geni antifungini (Rajasekaran et al., 2006). Tecniche molecolari sono anche utilizzate nell'arachide e nel mais per trasferire geni antifungini e geni inibitori della biosintesi delle aflatossine. Alcune ricerche, attualmente in corso, hanno come obiettivo quello di analizzare l'effetto dei metaboliti secondari, che bloccano o eliminano gli effetti mutagenici dell'aflatossina (Madrigal-Santillán et al., 2010). Una strategia di resistenza alternativa è quella del controllo biologico. Alla base di questo approccio c'è la capacità di alcuni ceppi fungini, non produttori di tossine, di entrare in competizione, una volta irrorati nel campo, con i ceppi tossicogenici e quindi di ridurre la presenza (Cotty e Mellon, 2006). L'esclusione competitiva dai ceppi non-aflatossigenici è disponibile in commercio, negli Stati Uniti, per la coltivazione del cotone (ceppo AF36) e dell'arachide (Alfa-Guard) (Klich, 2007).

Tricoteceni

I tricoteceni (TCT) hanno attività genotossica e sono prodotti da specie di *Fusarium*, in particolare *F. graminearum* e *F. culmorum*. Il genere *Fusarium* comprende funghi che infettano prevalentemente i cereali nelle regioni temperate dell'America, dell'Europa e dell'Asia (EU Commission, 1999), soprattutto negli ultimi anni a causa di estati relativamente calde e umide. La fusariosi della spiga (*Fusarium Head Blight* FHB) provoca una drastica riduzione delle rese e della qualità della granella. L'accumulo di TCT nel grano costituisce un problema di sicurezza da non sottovalutare (Snijders, 2004; Foroud e

Eudes, 2009). Il frumento e l'orzo sono i cereali più suscettibili alle infezioni di *Fusarium* (Edwards, 2004).

Le due classi principali di TCT sono il tipo A e il tipo B. Il tipo A è più tossico e comprende la tossina T-2, tossina HT-2 e 4,15-diacetossiscirpenolo (4,15-DAS). Il tipo B include il deossivalenolo (DON) e le forme acetilate (3 - e 15-ADON). DON è più diffuso in Europa. Le micotossine TCT sono stabili al calore e non vengono eliminate dagli alimenti durante i processi di trasformazione e cottura; agiscono inibendo la sintesi sia del DNA e dell'RNA che delle proteine a livello dei ribosomale (EU Commission, 1999). Il livello massimo di DON è 1750 µg/kg nel frumento e nel mais non trasformati e 1250 µg/kg negli altri cereali sempre non trasformati. Negli alimenti trasformati il limite è di 500 µg/kg per il pane e i prodotti da forno, 750 µg/kg per la pasta e 200 µg/kg per i prodotti destinati all'infanzia (Regolamento CE N. 1881/2006).

Tra i fattori di rischio che favoriscono le infezioni di *Fusarium* e l'accumulo di DON abbiamo: il mais quando è usato come precessione della coltura di frumento (gli stocchi di mais sono un'importante fonte di inoculo), aratura superficiale, l'utilizzo di varietà di grano mediamente o altamente sensibili, un andamento climatico caldo umido durante la fioritura. Le misure preventive dovrebbero idealmente escludere l'impiego del mais come precessione e ricorrere all'aratura per la preparazione del terreno. Tuttavia, visti i vantaggi economici derivanti dalla coltivazione del mais e dall'utilizzo delle pratiche di *minimum tillage*, è improbabile che in futuro si riduca l'incidenza di *Fusarium* (Yuen e Schoneweis, 2007). Inoltre, il crescente interesse verso le colture non-food, fa sì che molte colture alimentari siano sostituite dal mais per la produzione di biocarburanti, con un conseguente aumento del carico di inoculo nel suolo. Ciò comporterà enormi problemi per le colture cerealicole, tra le quali orzo e frumento, che seguiranno il mais nella rotazione, (Foroud e Eudes, 2009).

Molte attività di ricerca sono state condotte per comprendere i meccanismi di resistenza, al fine di selezionare varietà resistenti all'FHB (Snijders, 2004; Boutigny et al., 2008; Foroud e Eudes, 2009). Diversi meccanismi di resistenza sono stati individuati e descritti dettagliatamente nel lavoro di *review* di Foroud e Eudes (2009). Le differenze fisiologiche a livello della biologia florale tra il mais e gli altri cereali, fanno sì che la resistenza al marciume rosso (*Fusarium graminearum*) nel mais è distinta in una resistenza alla penetrazione a livello delle setole stimma-stilo e in un'altra resistenza alla diffusione della malattia del seme. Queste forme di difesa sono analoghe ai meccanismi di resistenza all'FHB di Tipo I e di Tipo II osservati in altri cereali. I

meccanismi di resistenza riportati nei cereali sono stati classificati in cinque diverse tipologie: Tipo I resistenza alle infezioni iniziali; Tipo II resistenza alle diffusione della malattia; Tipo III resistenza alle infezioni della cariosside; Tipo IV tolleranza sia all’FHB che al TCT; Tipo V resistenza all’accumulo di TCT. Il Tipo V si suddivide a sua volta in due sottoclassi: Tipo V-1 (classe 1) dove le piante sono capaci di modificare chimicamente i TCT, determinandone una degradazione delle tossine (detossificazione); Tipo V-2 (classe 2) si riferisce alla capacità dei genotipi di inibire la biosintesi dei TCT dei funghi che li hanno infettati (Boutigny et al., 2008).

Tutti i meccanismi di resistenza sono caratteri multifattoriali, inoltre non sono state identificate associazioni tra questi caratteri e quelli agronomici. Per facilitare la selezione di individui resistenti, per i caratteri di resistenza Tipo 1 e Tipo 2, sono stati usati marcatori molecolari (Quantitative Trait Loci – QTL). Come riportato da Boutigny et al. (2008) e da Foroud e Eudes (2009), sarebbe importante sviluppare tecniche QTL per la resistenza di Tipo V.

Recenti ricerche, ancora in corso (Yu et al., 2010), riportano marcatori QTL per la resistenza all’FHB (Tipo II), associati a livelli ridotti di DON (Tipo V), identificati nel germoplasma americano di orzo. I QTL identificati descrivono circa il 14% della varianza del grado di tolleranza alla FHB, osservata in sei ambienti (compresi gli USA, Canada e Cina) dove la FHB è una grave malattia per l’orzo (Yu et al., 2010).

L’ingegneria genetica è vista come una tecnica vantaggiosa per trasferire la resistenza alla Fusariosi. L’ingegneria genetica può essere un metodo valido solo se si considerano i meccanismi di resistenza del Tipo V, che coinvolgono l’espressione dei geni con azione detossificante (Tipo V-1) o inibente (Tipo V-2) del DON, selezionando *in vitro* geni candidati (Boutigny et al., 2008).

Lo sviluppo di strategie per il controllo biologico del DON non è così avanzato come quello delle aflatossine e nessun agente biologico è stato registrato. L’uso di antagonisti microbici (ceppi di batteri e lieviti) vengono segnalati nel ridurre l’incidenza di *F. graminearum* e l’accumulo di DON nella cariosside, le ricerche sono ancora in corso (Yuen e Schoneweis, 2007).

Fumonisine

Le fumonisine (FUM) sono prodotte da *Fusarium verticillioides* (*moniliforme*) e *Fusarium proliferatum* e colpiscono soprattutto il mais e i cereali in genere, provocando un indebolimento delle piantine, e il marciume dello stocco e il marciume rosa della spiga nel mais prodotto in Europa e negli Stati Uniti.

Esistono tre classi di FUM, vale a dire, B1, B2 e B3. B1 è la classe dominante e la forma più tossica (Bennett e Klich, 2003). Le fumonisine sono cancerogene e il potenziale cancerogeno viene ipotizzato essere mediato attraverso la trasduzione del segnale intracellulare. Le fumonisine sono simili strutturalmente agli sfingolipidi, importanti nella trasmissione di segnale all'interno delle cellule, determinando l'alterazione delle funzioni cellulari (Milićević et al., 2010). Una forte associazione è stata trovata con il cancro dell'esofago nell'uomo (Bennett e Klich, 2003). Livelli massimi sono fissati a 2,0 µg/kg per il mais non trasformato (Regolamento CE N. 1881/2006).

Tra le pratiche agricole che hanno dimostrato di ridurre il rischio di FUM nel mais abbiamo: controllo degli insetti, utilizzo di varietà resistenti agli insetti, rimozione dei residui precessione della coltura precedente e stoccaggio del seme a condizioni di umidità adeguate (Munkvold, 2003; Edwards, 2004; Ariño et al., 2009). Un'elevata fertilizzazione azotata porta a un aumento dei livelli di fumonisine nel mais, mentre il sistema di coltivazione, il tipo di irrigazione e l'epoca di raccolta non hanno avuto alcun effetto significativo (Ariño et al., 2009). L'impiego di varietà di mais adattate può ridurre l'infezione da fumonisine (Munkvold, 2003).

Analogamente a quanto visto per la resistenza al DON, la selezione assistita con marcatori potrebbe rivelarsi molto utile quando il breeding per la resistenza al *Fusarium* responsabile del marciume della pannocchia o della contaminazione da fumonisine, perché difficili da identificare nel fenotipo e fortemente influenzata dall'ambiente (Ding et al., 2008). È stata rilevata la presenza di una variazione genetica quantitativa per la resistenza a *Fusarium* che è responsabile del marciume della spiga e della contaminazione da fumonisine tra linee inbred e ibridi di mais (Clements and White, 2004). Negli ultimi anni sono stati selezionati QTLs e si prevede possano avere un'applicazione diretta come marcatori nei programmi di miglioramento genetico del mais indirizzati al miglioramento della resistenza al marciume della pannocchia (Ding et al., 2008, Vanopdorp e Koehler, 2010). Una ricerca è in corso per comprendere le interazioni molecolari tra il funghi e pianta, non ancora ben conosciute, utilizzando linee di mais resistenti e sensibili alle fumonisine (Lanubile et al., 2010).

La contaminazione da *F. verticillioides* è stato dimostrato essere strettamente correlata con la gravità delle lesioni degli insetti e conseguentemente, mais Bt transgenico, presenta un minor rischio di contaminazione da fumonisine (Munkvold, 2003). Isolati di *F. verticillioides* che non producono fumonisine possono essere utilizzati come agenti di controllo biologico competitivo per escludere i ceppi tossici, (Cotty e Mellon, 2006).

Acrilamide

L'acrilamide, sostanza cancerogena e genotossica negli animali, si forma in molti prodotti alimentari preparati ad alte temperature ($> 120\text{ }^{\circ}\text{C}$). I cereali e i prodotti derivati (pane, biscotti e cereali da colazione ottenuti da grano e segale), il caffè, e in particolare la patata (patatine, patata fritta) offrono la più alta esposizione all'acrilamide (Seal et al., 2008). La sua formazione è ottenuta dalla reazione di Maillard, coinvolgendo gli zuccheri riducenti (glucosio e fruttosio) e l'aminoacido asparagina (Asn). Nella patata l'Asn è relativamente abbondante, mentre gli zuccheri limitano la formazione dell'acrilamide, diventando così le sostanze determinanti per la formazione dell'acrilamide nei prodotti trasformati. Al contrario, gli zuccheri riduttori risultano abbondanti nei cereali mentre l'Asn è il fattore che incide sulla formazione di acrilamide nei prodotti da forno (Mattucumaru et al., 2008). Nel caffè, l'acrilamide non è correlata con gli zuccheri ed è solo debolmente associata con l'Asn (Seal et al., 2008).

La Confederazione delle Industrie Alimentari e delle Bevande (CIAA) dell'Unione Europea, in stretta collaborazione con le autorità nazionali e la Commissione Europea, ha sviluppato un "toolbox" per evidenziare i mezzi, agronomici e tecnologici, utili per abbassare i livelli di acrilamide nei prodotti alimentari. Molti sono gli sforzi che attualmente si stanno facendo per ridurre i livelli di acrilamide nei prodotti alimentari, e pertanto non è stato ancora possibile definire sia i livelli di esposizione all'acrilamide che impostare i limiti per i diversi prodotti alimentari (CR EC N. 2010/307/EU).

Tra i principali fattori che in fase di pre-raccolta (pre-harvest) contribuiscono all'aumento degli zuccheri abbiamo: la raccolta dei tuberi immaturi, l'esposizione ad alte temperature e/o una carenza di acqua nel suolo durante la crescita, un aumentato della fertilizzazione in termini N e S (Kumar et al., 2004). Nell'"*Acrylamide Toolbox*" più recente (CIAA, 2009), tra le misure agronomiche di pre-raccolta da adottare e indicate dall'industria abbiamo: la raccolta dei tuberi maturi e la scelta della varietà più precoci. Anche il potassio (K) è considerato un elemento minerale che ha un effetto positivo nel ridurre gli zuccheri riducenti (Kumar et al., 2004; Seal et al., 2008; Whittaker et al., 2010), ma nonostante ciò le ricerche riguardanti il controllo della nutrizione minerale sull'espressione degli zuccheri nel tubero manifestano ancora delle incertezze (CIAA, 2009) e necessitano pertanto di essere ulteriormente approfondite.

Nei cereali, la composizione in zuccheri non è un fattore determinante la produzione di acrilamide, pertanto l'attività di ricerca in questo campo è

indirizzata soprattutto alla riduzione dell'Asn (CIAA, 2009). Un incremento di N porta a un aumento del contenuto sia delle proteine che dell'Asn (Mattucumaru et al., 2008). Viene inoltre sottolineata l'importanza nel mantenere buoni livelli di zolfo (S) nella coltivazione di cereali (CIAA, 2009), dato che a un basso livello dell'elemento è associato un livello alto di Asn e di conseguenza un rischio elevato di formazione dell'acrilamide. Altra misura importante da adottare per ridurre il rischio di acrilamide è quella di evitare il manifestarsi di carenze in K e P (Mattucumaru et al., 2008; Curtis, 2009). L'esistenza di una forte interazione tra genotipo, ambiente e pratiche colturali fa sì che un maggiore lavoro dovrebbe essere fatto a priori dalle ditte di consulenza per dare informazioni agli agricoltori e ai *breeders* sulle migliori pratiche colturali da adottare nella coltivazione della patata e del grano (Mattucumaru et al., 2008; Curtis et al., 2009, Whittaker et al., 2010).

Il caffè, essendo una pianta perenne con una produttività per più di 20 anni è di più difficile gestione a differenza della patata e dei cereali, dove gli interventi per ridurre il rischio di acrilamide possono essere effettuati annualmente. Non sono al momento disponibili, per questa coltura, dati sull'impatto che le pratiche colturali hanno sui precursori dell'acrilamide. Inoltre data la coltivazione specifica e le condizioni climatiche necessarie, eventuali interventi che potenzialmente potrebbero essere effettuati sulla coltura di caffè, sarebbero di lungo effetto (Seal et al., 2008).

Al miglioramento genetico in patata è stato richiesto di sviluppare varietà nuove con basso contenuto in zuccheri riduttori e/o effetto più resistenti all'effetto di addolcimento dovuto al freddo (CIAA, 2009). Particolare attenzione è stata messa nello screening di differenti cultivar di patata aventi grandi differenze nel potenziale di accumulo dell'acrilamide basato sulla riduzione del contenuto in zucchero. La valutazione della qualità delle patatine fritte (chip) richiede tuttavia diversi anni di test, numeri sufficienti di tuberi e deve essere eseguita in una fase avanzata di sviluppo della varietà (Li et al., 2005). Marcatori diagnostici, ottenuti da QTLs, sono stati sviluppati e sono considerati un'alternativa rapida per fini di screening. La variazione della qualità delle patatine fritte (chip) espressa come potenziale di acrilamide e del contenuto di amido è associata con la variazione del DNA più loci candidati (Li et al., 2008). Gli effetti pleiotropici di più singoli alleli, coinvolti nel metabolismo dei carboidrati, hanno dimostrato di essere sia positivi (più amido, migliore qualità delle chip, meno zuccheri riducenti) che negativi (meno di amido, peggiore qualità delle chip, più zuccheri riducenti) (Li et al., 2008). Curtis e collaboratori (2009) hanno evidenziato nel frumento la presenza di un controllo genetico nella concentrazione di asparagina libera e degli al-

tri aminoacidi liberi, il sistema di allevamento potrebbe quindi svolgere un ruolo importante nel ridurre il rischio di acrilamide nel frumento. Dovrebbe pertanto essere possibile identificare QTL in frumento per la bassa concentrazione di asparagina.

Geni bersaglio nel metabolismo dei carboidrati e degli aminoacidi per ridurre i precursori dell'acrilamide sono stati identificati in laboratorio (Rommens et al., 2006), utilizzando tecniche di inibizione dell'RNA per ridurre il geni di espressione che codificano per due enzimi coinvolti nella degradazione dell'amido in patata durante la fase di immagazzinamento in cella fredda. Sia i livelli di glucosio che la formazione di acrilamide sono risultati significativamente più bassi nelle linee di patata transgeniche rispetto ai controlli (Rommens et al., 2006). Nella patata il silenziamento dei due geni dell'asparagina sintetasi ha dato luogo a una interessante riduzione sia dell'asparagina che della formazione di acrilamide nei prodotti fritti (Rommens et al., 2008). Sia nella patata che nel frumento, i geni che codificano per questi enzimi sono tutti potenzialmente candidati sia alla manipolazione genetica che allo sviluppo di marcatori genetici per programmi di miglioramento genetico. È stato suggerito che, con potrebbe essere interessante, per il consumatore, dichiarare i livelli molto bassi di acrilamide, fornendo così il mercato di una nuova possibilità di scelta (Rommens et al., 2008).

Metalli pesanti

L'inquinamento da metalli pesanti incide su vaste aree dell'Europa e in tutto il mondo. La contaminazione delle piante commestibili avviene prevalentemente attraverso i suoli inquinati come una conseguenza dell'attività industriale, del traffico e della produzione di energia (Pushenreiter et al., 2005). Cadmio (Cd), piombo (Pb) e mercurio (Hg) sono di particolare interesse nell'Unione Europea. Nei prodotti alimentari sono stati fissati (Regolamento CE N. 1881/2006) per questi elementi dei limiti di seguito riportati: per il Pb i limiti fissati sono di 200 µg/kg per i cereali e i prodotti di leguminose, 300 µg/kg per le verdure della famiglia delle Brassicaceae e 100 µg/kg per le altre verdure; per il Cd 100 µg/kg per i cereali lavorati e 200 µg/kg per i cereali integrali, 50,0 µg/kg per gli ortaggi in generale esclusi i vegetali da foglia il cui limite è 200 µg/kg, 100 µg/kg è il limite indicato per le carote, le patate, il sedano ecc.; infine per il Hg i limiti non sono applicabili per i cereali e gli ortaggi.

Le misure agricole che possono essere utilizzate per ridurre l'assorbimento dei metalli pesanti sono diverse come quella di evitare la coltivazione di pian-

te con elevata capacità di assorbimento di metalli pesanti come le carote, gli spinaci e la lattuga in aree inquinate (aree situate vicino ai siti industriali, nei pressi di grandi città e/o vicino alla industria mineraria). La scelta di piante con una minore capacità di assorbimento, come i legumi e i cereali, può ridurre significativamente la contaminazione delle parti commestibili. L'applicazione di entrambi gli ammendanti organici e inorganici del suolo è indicato per ridurre significativamente l'accumulo dei metalli pesanti. Ulteriori metodi efficaci per ridurre il trasferimento del metallo nella catena alimentare includono la rotazione delle colture industriali e delle colture da bioenergia (Pushenreiter et al., 2005).

Phytoremediation è l'utilizzo di specie vegetali per rimuovere i metalli pesanti dai suoli contaminati. Offre un approccio di controllo biologico che è sicuro, economico e sostenibile. Un elenco delle specie di piante che può essere utilizzato per il *phytoremediation* di Cd e Hg, nonché gli altri elementi vengono descritti nel *review* di Mudgal et al. (2010). Le piante adatte per il *phytoremediation* devono possedere le seguenti caratteristiche: capace di tollerare i metalli pesanti, avere di una rapida crescita, avere un accumulo metallico alto ed essere facile da raccogliere. La maggior parte delle piante che dimostra la capacità di accumulare alti livelli dei metalli pesanti (chiamate *hyperaccumulators*) ha, purtroppo, una lenta crescita con una bassa biomassa. Quindi studi di ingegneria genetica, attualmente in corso, offrono la possibilità di migliorare la *phytoremediation*. L'idea è quella di utilizzare le piante che producono abbondante biomassa, inserendo a queste geni che codificano per le proteine coinvolte: nella trasformazione del metallo; nel trasporto del metallo; nella chelazione del metallo (Zhang et al., 2006; Mudgal et al., 2010).

Nitrato

Il nitrato si accumula nella frutta e nella verdura. Le verdure a foglia, come la lattuga e gli spinaci sono particolarmente a rischio. I nitrati e nitriti non sono come tali cancerogeni, ma il nitrito potrebbe reagire con le ammine dietetiche per formare, in ambiente acido le nitrosamine che sono cancerogene. Tali effetti sono stati riportati in esperimenti sugli animali (Katan, 2009). La methaemoglobinemia, determinata da eccesso di nitrati (l'eccessiva conversione dell'emoglobina in metaemoglobina, rendendola incapace di trasportare l'ossigeno) si verifica nei bambini, dopo il consumo di acqua contaminata. I livelli massimi riportati nella gamma di ortaggi a foglia varia-

no da 2500 a 4000 µg/kg, a seconda della stagione di raccolta (Regolamento CE N. 1881/2006).

Le strategie di gestione di azoto per ridurre il nitrato prevedono: l'adozione di opportune rotazioni delle colture, minimo aratura, scelta delle modalità e tempi per l'applicazione del N, e dose appropriata di concime (Dinnes et al., 2002).

LA QUALITÀ FUNZIONALE O SALUTISTICA

Concetti introduttivi

Nel concetto di qualità vengono comunemente inclusi diversi aspetti che comprendono sia caratteristiche intrinseche (definiti anche attributi primari di qualità) ed estrinseche (definiti anche attributi secondari di qualità) al prodotto. Fra le caratteristiche intrinseche di un prodotto alimentare, la sua qualità funzionale, sta assumendo sempre più importanza, sia in virtù della sempre maggiore richiesta da parte dei consumatori sia per l'attenzione che il mondo della ricerca riserva a questo settore di studio. Tuttavia, il concetto di alimento funzionale non può essere considerato del tutto una novità degli ultimi decenni della storia alimentare dell'uomo: in particolare l'idea di veicolare proprietà salutistiche con il cibo può essere a tutti gli effetti considerata ancestrale. La relazione tra alimentazione e salute è stata ricercata anche nell'antichità. Sir William Osler affermava: «il desiderio di assumere sostanza benefiche è una caratteristica che distingue l'uomo da tutte le altre creature» (Bean, 1968). Esistono prove che già gli uomini di Neanderthal, circa 60.000 anni fa, utilizzassero alcune piante come la malvarosa (*Alcea rosea* L.) come fonte di sostanze medicinali: ancora oggi a livello mondiale questa specie è utilizzata in diverse etno-farmacopee. Erbe medicinali sono state rinvenute nell'intestino della mummia di Similaun, l'uomo ghiacciato rinvenuto recentemente nella zona alpina tra Italia e Austria e vissuto circa 5300 anni fa (Cappaso, 1998). Ippocrate, unanimemente considerato il padre della medicina, ha scritto e discusso in maniera estensiva del ruolo preventivo e benefico degli alimenti. Fondamentalmente l'approccio terapeutico di Ippocrate era basato sul ripristino dell'equilibrio delle funzioni vitali dell'uomo tramite l'utilizzo della cosiddetta *vis medicatrix naturae*, ovvero del potere curativo degli alimenti: tale approccio viene sintetizzato nel famoso aforisma «fa che il cibo sia la tua medicina, e che la tua medicina sia il cibo» (Fielding, 1996). Tuttavia, solo a partire dal XIX secolo con l'affermarsi della moderna chimica analiti-

ca, nonché delle scienze farmaceutiche e mediche, lo studio degli alimenti ha potuto essere incentrato su di un approccio scientifico ovvero basato su relazioni sperimentali di causa ed effetto. In particolare, solo nei primi anni del XX secolo è stato possibile scoprire che gli alimenti potevano contenere, oltre ai canonici quattro costituenti fino ad allora noti, ovvero lipidi, carboidrati, proteine e minerali, una quinta classe di composti, a cui vennero da subito riconosciuti effetti benefici per la salute dell'uomo. Tale quinta classe di composti alimentari fu inizialmente definita, dal biochimico polacco Casimir Funk, «ammine vitali», dalla cui contrazione deriva l'attuale definizione di vitamine (Seibel, 1999). Il ruolo delle vitamine nel prevenire specifiche patologie fu poi confermato da successive osservazioni, come nel caso della vitamina C (acido ascorbico) per lo scorbuto, la vitamina B1 (tiamina) per il beriberi, la vitamina B3 (niacina) per la pellagra. Merita sottolineare che la scoperta delle proprietà salutistiche delle vitamine ha permesso di affermare, nel moderno settore medico, il concetto di prevenzione delle patologie. Infatti, le vitamine non trovano solo un'applicazione pratica nella cura di specifiche patologie nella loro forma acuta, ma il loro consumo consente la prevenzione delle medesima patologie.

Conseguentemente, non è sorprendente che nei primi anni del 1900 si sia affermato commercialmente il primo "alimento funzionale", ovvero il sale da cucina addizionato con iodio per la prevenzione dei disturbi della tiroide (varie forme di ipotiroidismo quali il gozzo). Tuttavia, il XX secolo vede anche il trionfo della chimica di sintesi nel nascente settore della industria farmaceutica, che tenderà progressivamente a rimpiazzare i rimedi basati su estratti naturali con molecole sintetiche. La storia moderna dell'industria farmaceutica ha inizio nel 1897, quando Friederich Bayer e i suoi collaboratori introdussero nel mercato mondiale l'acido acetil salicilico (aspirina) ottenuto tramite sintesi chimica (Raskin et al., 2002). L'aspirina, altro non è che un analogo sintetico dell'acido salicilico, presente in diverse specie vegetali, noto all'uomo da tempo immemore quale specifico rimedio per gli stati febbrili. A partire dall'immissione sul mercato mondiale dell'aspirina, l'industria farmaceutica ha avuto uno sviluppo di incredibile portata, con un impatto estremamente rilevante nella prevenzione e trattamento di sempre più numerose patologie, contribuendo decisamente al progressivo aumento della vita media, osservato in tutte quelle Nazioni che hanno potuto accogliere "l'innovazione farmaceutica". Tuttavia, l'approccio, comunemente definito della "opzione pillola", ha avuto come ripercussione un progressivo ridimensionamento dello storico legame tra alimenti e prevenzione delle patologie (Raskin et al., 2002). Sostanzialmente, per i primi 70-80 anni del XX secolo, il concetto di Ippocrate

del cibo come medicamento è caduto in disuso con l'avvento della moderna terapia farmacologica. Inoltre, nei primi 50 anni del XX secolo l'obiettivo della ricerca scientifica è risultato prevalentemente focalizzato sulla prevenzione della carenze nutrizionali. L'enfasi posta per contrastare la sotto-nutrizione ha dovuto essere profondamente rivista, in particolare nei Paesi occidentali, quando a partire dagli anni 70 del passato secolo, le patologie legate all'eccessiva nutrizione (obesità, diabete, disturbi cardio-vascolari, cancro) sono diventate un vero e proprio problema sociale. Proprio a partire dagli anni 70 del passato secolo, diverse ricerche hanno permesso di identificare composti fisiologicamente attivi negli alimenti di origine vegetale e animale (rispettivamente definiti composti fitochimici e zoonutrienti), con elevate potenzialità nel ridurre i rischi di molte patologie associate alla sovra-nutrizione. Se a questo si aggiunge il progressivo invecchiamento della popolazione nei Paesi occidentali, la maggiore consapevolezza dei consumatori nell'ottimizzare il proprio stato di salute, nonché i numerosissimi progressi delle tecnologie alimentari, risulta facilmente spiegabile la grande espansione del mercato globale degli alimenti funzionali, osservata a partire dagli anni 90 del passato secolo. Il concetto di alimento funzionale è stato per la prima volta sviluppato in Giappone tra il 1984 e il 1986 nell'ambito di un programma sviluppato dal Ministero dell'Educazione, della Scienza e della Cultura, in cui furono identificate tre principali funzioni degli alimenti (Kwak e Jukes, 2001). La prima funzione attiene al suo ruolo nutrizionale, la seconda funzione riguarda la sua componente sensoriale (aroma, sapore) in grado di determinare il livello di accettazione da parte del consumatore, mentre la terza funzione riguarda la capacità di alcuni alimenti, nel contesto complessivo della dieta, di prevenire l'insorgenza di precise patologie (Arai, 1996). A partire dal 1988 il Ministero della Salute giapponese, nel tentativo di ridurre i costi della sanità pubblica principalmente dovuti al progressivo invecchiamento della popolazione, cominciò a delineare nuovi sistemi di regolazione per la registrazione di alimenti, certificati per definite e scientificamente provate azioni benefiche (Arai, 1996). Da allora, il concetto di alimento funzionale è andato diffondendosi anche nei Paesi occidentali. È bene sottolineare che non esiste un'unica ed esaustiva definizione di alimento funzionale. Una tra le più comunemente adottate è quella della American Diet Association (ADA): «Gli alimenti funzionali sono alimenti in grado di apportare benefici effetti per la salute indipendentemente dal loro valore nutrizionale» (ADA, 2007). Viceversa per l'International Food Information Council (IFIC) il termine "*alimento funzionale*" include «qualsiasi alimento o qualsiasi componente alimentare in grado di fornire un beneficio alla salute indipendentemente dal suo valore nutrizio-

INTEGRATORE ALIMENTALE	ALIMENTO FUNZIONALE
<p>Può anche essere classificato come alimento, dal momento che è edibile e solitamente non è classificato come medicinale, ma si presenta in forme maggiormente simili a un medicinale (pillola, tavoletta, capsula, ampolla) che non a un alimento</p> <p>Può apportare benefici per la salute dell'uomo, ma non sempre può essere considerato sicuro e privo di effetti collaterali (ad esempio integratori a base di erbe officinali)</p> <p>Non è utilizzato come un alimento convenzionale e non può sostituire gli altri alimenti della dieta</p>	<p>Si presenta esattamente nella stessa forma di un qualsiasi altro alimento e può essere consumato giornalmente nella dieta</p> <p>Può apportare benefici per la salute dell'uomo al di là del suo valore nutrizionale e può essere considerato sicuro e privo di effetti collaterali</p> <p>Può anche svolgere un ruolo principale, in termini di apporto calorico bilanciato, all'interno della dieta</p>

Tab. 4 *Le tre principali caratteristiche che permettono di distinguere un integratore alimentare da un alimento funzionale*

nale» (IFIC, 2007). Tra queste due differenti definizioni è possibile riscontrare una prima discrepanza che di fatto ancora divide il mondo della ricerca in relazione al tema degli alimenti funzionali. Il dibattito riguarda se classificare gli integratori alimentari alla stessa stregua di un alimento funzionale ovvero considerarli semplicemente una diversa forma per veicolare componenti bioattivi (Clydesdale, 2004). Tuttavia, dal momento che a livello mondiale gli integratori alimentari sono nella maggioranza dei casi definiti legalmente in maniera distinta rispetto agli alimenti, appare illogico includere in una stessa definizione sia gli alimenti funzionali che gli integratori. Sostanzialmente è poi possibile identificare almeno tre caratteristiche fondamentali che permettono di distinguere gli alimenti funzionali dagli integratori alimentari (tab. 4).

Infine un altro argomento di dibattito riguarda la definizione di quale tipo di alimento dovrebbe essere incluso nell'ampia categoria degli alimenti funzionali. Alcuni autori preferiscono includere esclusivamente prodotti alimentari che in qualche modo siano stati manipolati e/o fortificati, escludendo di fatto quegli alimenti definiti "alimenti funzionali naturali" (Kotilainen et al., 2006). Tuttavia nell'ultimo decennio un'abbondante letteratura ha evidenziato effetti benefici e salutistici di alimenti non sottoposti a particolari processi di trasformazione. Oggi è chiaro che un'ampia gamma di alimenti non trasformati possono essere a tutti gli effetti considerati come alimenti funzionali (ad esempio gli ortaggi e la frutta) (Kwak e Jukes, 2001). Pertanto restringere il termine "alimento funzionale" esclusivamente ad alimenti trasformati appare come una discriminazione nei confronti di tanti alimenti non trasformati, dotati di evidenti proprietà benefiche. Appare quindi sensato identificare due sotto-categorie della vasta classe degli alimenti funzionali: alimenti non trasformati (o ordinari) e alimenti trasformati (o fortificati/arricchiti) (tab. 5).

CATEGORIA	TIPO	ESEMPIO	BENEFICIO SALUTISTICO
Non trasformato	Alimento contenente naturalmente una quantità sufficiente di uno o più composti benefici (non necessariamente un macro- o un micro-nutriente) in grado di indurre effetti fisiologici misurabili.	Beta-glucani nell'orzo, isoflavoni nella soia	Protezione delle funzioni cardio-vascolari
	Alimento in cui uno o più composti benefici sono stati aumentati tramite modifiche delle condizioni di allevamento, manipolazione genetica o altro	Uova a elevato contenuto in omega-3 tramite l'uso di mangimi speciali, irradiazione con UV di germogli di soia per incrementarne il contenuto in isoflavoni	Protezione delle funzioni cardio-vascolari
Trasformato	Alimento in cui il contenuto di uno o più composti benefici, normalmente presenti in tale alimento, sia stato incrementato tramite fortificazione	Pane arricchito con crusca	Riduzione dell'incidenza del tumore al colon
	Alimento in cui il contenuto di uno o più composti benefici, normalmente non presenti in tale alimento, sia stato incrementato tramite fortificazione e modifica delle procedure di preparazione alimentare	Margarina formulate con fitosteroli	Riduzione del livello ematico di colesterolo
	Alimento in cui la natura, la biodisponibilità di un componente funzionale sia stata modificata tramite specifiche tecniche di processo	Fermentazioni con specifici batteri per la produzione di peptidi bioattivi	Riduzione del livello ematico di colesterolo
	Alimento in cui una componente potenzialmente dannosa per la salute dell'uomo sia stata rimossa, ridotta nel suo contenuto o sostituita con composti benefici	Gomme da masticare allo xilitolo (in sostituzione di altri zuccheri)	Prevenzione delle carie dentali

Tab. 5 *Le principali categorie e tipologie di alimenti funzionali (modificata da Roberfroid, 2002; Kotilainen et al., 2006)*

Metabolismo delle piante e ruolo ecologico dei metaboliti secondari

I metaboliti secondari (definiti anche fitochimici) hanno riscontrato un notevole interesse da parte della comunità scientifica in quanto risultano essere i “principi

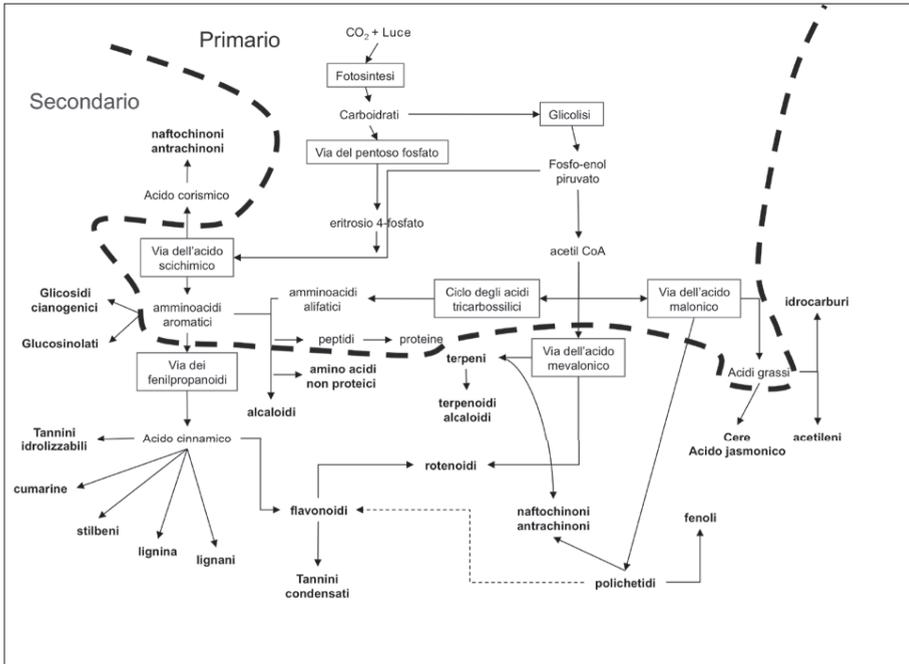


Fig. 1 *Metabolismo primario e secondario negli organismi vegetali*

attivi” responsabili dell’azione farmacologica esercitata sull’uomo della maggior parte degli alimenti funzionali. Infatti, i composti fitochimici secondari sono in grado di legarsi con specifici bersagli terapeutici, inducendo benefici effetti fisiologici per il mantenimento dello stato di salute dell’uomo, la prevenzione delle malattie o per il miglioramento terapeutico di patologie in corso.

Le sostanze coinvolte nel biochimismo delle piante possono essere sommariamente distinte in due gruppi principali:

- metaboliti primari (carboidrati, proteine, lipidi, acidi nucleici) indispensabili per i processi di accrescimento e riproduzione;
- metaboliti secondari, derivati dai metaboliti intermedi tramite l’attivazione di specifiche vie enzimatiche.

Il metabolismo primario è abbastanza simile in tutte le forme viventi, dai batteri alle piante all’uomo e le sostanze che si formano (metaboliti primari) assolvono le funzioni essenziali alla crescita e alla vita dell’organismo quali la nutrizione e i processi metabolici.

I vegetali utilizzano anche altre vie metaboliche, attraverso le quali producono una grande varietà di composti che in genere non sono di apparente utilità, ovvero i cosiddetti metaboliti secondari (fig. 1). Essi hanno una di-

stribuzione più limitata in natura, si trovano soltanto in specifici organismi o gruppi di organismi e sono espressione dell'individualità della specie.

I prodotti secondari sono raggruppati in varie classi suddivise in genere in base alla loro struttura chimico-organica e all'origine biosintetica. Complessivamente vengono identificate le seguenti tre classi principali:

Alcaloidi. Sono sostanze organiche che, tranne poche eccezioni, hanno carattere basico, conferito da uno o più atomi di azoto di tipo amminico normalmente facente parte di un sistema eterociclico. Spesso mostrano una pronunciata attività farmacologica o tossicologica, anche a piccole dosi, sia nell'uomo che nell'animale: svolgono principalmente funzioni a carico del SNC (depressivi, eccitanti), del sistema circolatorio, gastrointestinale, sulla muscolatura liscia come spasmolitici e possono avere funzione antifungina, antitumorale e antibiotica. Basta ricordare al riguardo esempi come la morfina e gli alcaloidi dell'oppio, la stricnina e gli alcaloidi indolici, la tubocurarina e gli alcaloidi curarizzanti. Molti di questi costituenti sono usati clinicamente come tali o per l'emisintesi di specialità medicinali.

Terpeni e terpenoidi. Costituiscono una classe di composti fitochimici molto vasta. Hanno comune origine biosintetica dovuta all'unione di elementi a 5 atomi di carbonio (C5) denominati unità isopreniche. La biosintesi dei terpeni parte dall'acetil CoA e prosegue attraverso la via dell'acido mevalonico sino alla sintesi di monoterpeni (2C5), sesquiterpeni (3C5), diterpeni (4C5), triterpeni (6C5), tetraterpeni (8C5) e politerpeni [(C5)*n*]. Spesso queste sostanze vengono chiamate anche isoprenoidi e comprendono alcuni ormoni (gibberelline e acido abscissico) con funzione regolatrice, sostanze che agiscono in fenomeni allelochimici, pigmenti utilizzati per l'assorbimento della luce come i carotenoidi, una porzione della molecola della clorofilla, ma anche sostanze delle quali non è ancora nota la funzione, come la trementina e le gomme.

Composti fenolici. Comprendono un ampio spettro di sostanze molto eterogenee ma tutte caratterizzate dalla presenza di un anello aromatico con uno o più sostituenti ossidrilici. La grande varietà di strutture fenoliche riflette una altrettanto grande diversificazione delle loro funzioni: possono fungere da pigmenti florali a basso peso molecolare (antocianine), da supporto meccanico (lignine), da antibiotici, da schermo nei confronti delle radiazioni UV, da repellenti per insetti e da segnali nelle interazioni pianta-microrganismi. Tra i composti fenolici più conosciuti vi sono i flavonoidi, composti fitochimici con spiccate proprietà antiossidanti e anti-tumorali.

Nonostante che i tre gruppi di fitocostituenti sopra considerati (terpeni, alcaloidi e fenoli) siano estremamente vasti, le piante producono molti altri

ALLELOCHIMICI	CARATTERISTICHE FUNZIONALI/ECOLOGICHE	CLASSI CHIMICHE RAPPRESENTATIVE
Allomoni	Difesa dalla predazione operata da organismi fitofagi (vertebrati, insetti) Difesa da organismi patogeni (virus, batteri, funghi) Meccanismi di competizione con altri organismi vegetali (allelopatia) Protezioni da fattori abiotici di stress (carenza idrica e nutrizionale, salinità, eccesso di radiazioni UV, squilibri termici da basse e alte temperature)	Flavonoidi, alcaloidi, glucosinolati, glucosidi ciano-genetici
Sinomoni	Meccanismi di attrazione di organismi animali (insetti, vertebrati) per l'impollinazione e/o la dispersione di semi e frutti	Antocianidine, calconi, auron, flavoni, flavonoli
Cairomoni	Meccanismi di segnalazione per l'identificazione della pianta ospite da parte di microrganismi (batteri rizosferici, batteri simbiotici) e/o organismi animali (insetti e vertebrati nemici naturali di organismi fitofagi)	Isoflavoni, terpenoidi

Tab. 6 *Classificazione eco-fisiologica dei composti allelochimici di origine vegetale*

composti secondari quali ad esempio i glucosidi cianogenetici, i glucosinolati, le betalaine.

Per molti anni i metaboliti secondari sono stati considerati poco più che semplici prodotti di scarto senza una apparente funzione. In seguito Czapek (1921) li definì «*enprodukt*» in quanto sosteneva che derivassero dal metabolismo dell'azoto, grazie a “modificazioni secondarie” quali, ad esempio, le deaminazioni (Maffei, 1999). La loro definizione concettuale di “prodotti di escrezione” o “prodotti finali del metabolismo” partiva dal presupposto che l'irregolarità della loro presenza nelle piante stava a indicare la loro non indispensabilità. Si ritenevano pertanto primari quei composti coinvolti nei processi metabolici essenziali e ubiquitari mentre secondari furono indicati tutti gli altri componenti (Maffei, 1999).

Oggi sappiamo che molti dei metaboliti secondari svolgono la funzione di mediatori di segnali chimici e che sono indispensabili per la sopravvivenza delle specie vegetali. Negli organismi vegetali ad esempio molti di questi svolgono un'importante funzione adattativa nella protezione contro gli erbivori e gli agenti fitopatogeni, agiscono nei meccanismi di attrazione degli impollinatori e per la dispersione dei propaguli mediata da insetti. Altri metaboliti secondari svolgono invece un ruolo fondamentale come agenti chimici allelopatici nei fenomeni di competizione tra le piante stesse. Gli organismi vegetali, non presentando una specializzazione dei loro tessuti paragonabile a quella del mondo animale, e data la loro sostanziale immobilità attuano la loro lotta

per la sopravvivenza nell'ambiente mediante una miriade di metaboliti secondari, che indipendentemente dalla loro origine biosintetica, vengono definiti allelochimici: con tale definizione vengono pertanto inclusi tutti i composti del biochimismo vegetale per cui sia stato possibile identificare precise funzioni ecologiche.

Concettualmente è possibile distinguere gli allelochimici in tre differenti categorie: allomoni, sinomoni e cairomoni (tab. 6). È interessante sottolineare come nella categoria degli allomoni, ovvero composti coinvolti nei meccanismi di difesa in risposta a stress biotici (ad es. predazione, patogeni) e abiotici (ad esempio carenza idrica, carenze nutrizionali, eccessi termici, eccessi di radiazione), possano essere ascritti la maggior parte dei prodotti del metabolismo secondario.

EFFETTI AMBIENTALI E GENETICI SULLA QUALITÀ FUNZIONALE DI SPECIE DI INTERESSE AGRARIO

Nel corso degli ultimi millenni la tecnica agronomica è stata sviluppata e progressivamente affinata allo scopo di assicurare per le specie di interesse agrario la massima produttività. Tale obiettivo è perseguito assicurando alle piante in allevamento le condizioni ottimali per poter esprimere, in interazione con i fattori ambientali ed edafici, le proprie potenzialità produttive. In altri termini l'approccio consiste nell'ottimizzare le risorse a disposizione delle piante in allevamento e al contempo di gestire l'insieme dei fattori biotici e abiotici, che inducendo condizioni di stress possono limitare la resa areica. Per ogni singola specie di interesse agrario la relativa tecnica di coltivazione si è progressivamente evoluta in accordo a tale principio: la scelta dell'epoca di semina, la modalità di impianto, le lavorazioni del terreno, l'irrigazione, la concimazione, le tecniche di difesa dai patogeni e dalle specie infestanti, le procedure di raccolta risultano mirate a ridurre al minimo gli stress biotici (agenti patogeni, predazione, competizione intraspecifica, competizione con le infestanti ecc.) e abiotici (carenze nutrizionali, carenza idrica, danni da alte o basse temperature, eccesso di radiazione solare etc.) che inibendo il metabolismo primario (metabolismo delle proteine, zuccheri, lipidi, acidi nucleici) limitano direttamente anche la resa quantitativa. In linea di massima, tale generalizzazione risulta applicabile per tutte quelle specie di interesse agrario, il cui prodotto raccolto sia dato da composti del metabolismo primario (proteine, zuccheri, lipidi), indipendentemente dalla loro localizzazione (semi, frutti, parti verdi della piante, intera biomassa vegetativa, apparato

METABOLITI SECONDARI	SPECIE	STRESS INDOTTO	EFFETTO	RIFERIMENTO
Acidi clorogenici	<i>Helianthus annuus</i>	Idrico	Alto incremento (fino a 10 volte)	Del Moral, 1972
Flavonoidi totali	<i>Pisum sativum</i>	Idrico	Forte incremento (45%)	Nogues et al., 1998
Antocianine	<i>Pisum sativum</i>	Idrico	Forte incremento (oltre 80%)	Nogues et al., 1998
Trigonellina	<i>Glycine max</i>	Idrico	Incremento significativo	Cho et al., 2003
Glucosinolati	<i>Brassica napus</i>	Idrico	Alto incremento (fino a 5 volte)	Jensen et al., 1996
Glucosinolati	<i>Brassica napus</i>	Idrico	Incremento significativo	Bouchereau et al., 1996
Flavonoidi totali	<i>Horodeum vulgare</i>	Salino	Incremento significativo	Ali e Abbas, 2003
Trigonellina	<i>Glycine max</i>	Salino	Forte incremento (oltre 50%)	Cho et al., 1999
Glicinebetaine	<i>Trifolium repens</i>	Salino	Alto incremento (fino a 5 volte)	Varshney et al., 1988
Di- e poliammine	<i>Oryza sativa</i>	Salino	Alto incremento (fino a 2 volte)	Krishnamurthy et al., 1989
Glicinebetaine	<i>Triticum aestivum</i>	Salino	Alto incremento (fino a 5 volte)	Krishnamurthy et al., 1990

Tab. 7 Effetto di stress indotti nell'incrementare il contenuto di vari metaboliti secondari in specie di interesse agrario (modificata da Selmar, 2008)

radicale). All'opposto, la maggior parte dei principi attivi, che conferiscono qualità funzionali, appartengono al metabolismo secondario, che manifesta un biochimismo regolato da meccanismi antitetici rispetto al metabolismo primario. I prodotti del metabolismo secondario sono in linea di massima sostanze multi-funzionali (ovvero in grado di assolvere molteplici azione fisiologiche ed ecologiche) coinvolte nei processi di ripristino dell'omeostasi cellulare in seguito a eventi, quali gli stress biotici e abiotici, che ne abbiano compromesso l'equilibrio. È pertanto evidente come l'elicitazione, indotta da fattori di stress biotici e abiotici, si possa ripercuotere positivamente sulla resa in principi attivi. La cosiddetta "manipolazione colturale", definita anche "elicitazione deliberata", viene sempre più riconosciuta come una strategia efficace per implementare l'accumulo di metaboliti secondari in specie di interesse agrario, come testimoniato da diversi lavori sperimentali e di revisione, disponibili in letteratura (tab. 7) (Lila 2006; Selmar, 2008; Bagnaresi et al., 2008). Sostanzialmente l'approccio consiste nell'imporre, durante il ciclo colturale, trattamenti stressanti (ad esempio stress termico, nutrizionale, idrico, salino) o nel simulare stress di natura biotica (quali la lacerazione meccani-

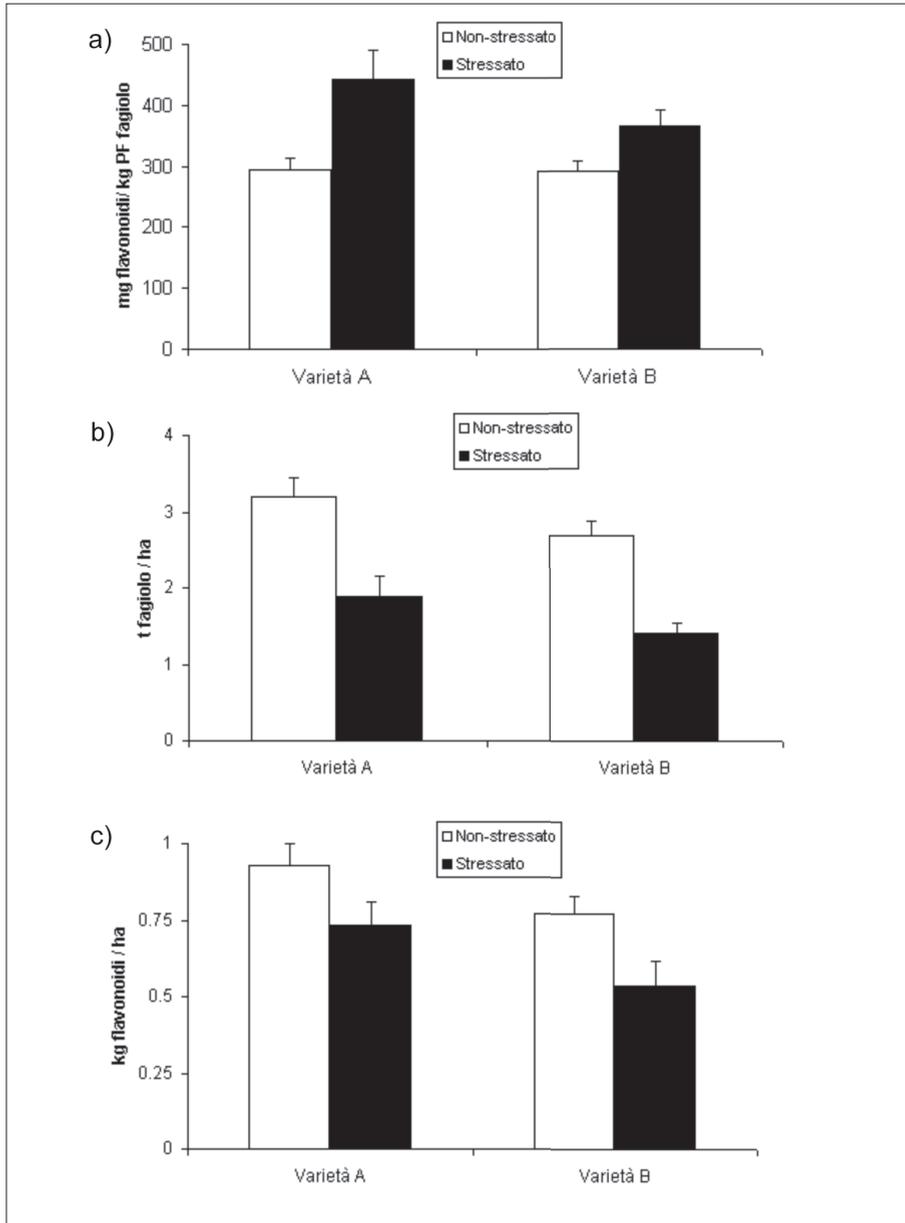


Fig. 2 Effetto dello stress idrico (barre nere) sull'accumulo di flavonoidi (mg flavonoidi/kg peso fresco seme \pm errore standard) nel seme di due varietà di fagiolo comune (*Phaseolus vulgaris* L.) (A), sulla resa in granella (t/ha \pm errore standard) (B) e in flavonoidi (kg flavonoidi/ha \pm errore standard) (C)

ca dei tessuti vegetali). Se da una parte l'elicitazione deliberata offre diversi spunti interessanti, dall'altra risulta una tecnica ancora non ben definita per le diverse specie di interesse agrario. Il primo punto da sciogliere è relativo alla tempistica di applicazione e alla durata dello stress e/o degli stress combinati durante il ciclo della pianta. È evidente che specie diverse possono avere modalità di risposta completamente antitetiche, e risulta impossibile prevedere a priori la durata e l'intensità dello stress idonei a generare effetti tangibili relativamente alla concentrazione dei principi attivi nel prodotto raccolto. In linea generale, le specie vegetali manifestano due differenti tipologie di strategie: alcune specie sintetizzano e accumulano costitutivamente principi attivi del metabolismo secondario, altre tendono ad avviare la sintesi e l'accumulo solo in risposta a precisi stimoli (stress) ambientali. Quindi, un primo aspetto da tenere in debito conto per poter procedere a un'applicazione in pieno campo della elicitazione deliberata è quella di riuscire a definire sperimentalmente la tempistica di applicazione e la durata dello stress, dal momento che tali informazioni basilari non sono disponibili in letteratura per la maggior parte delle specie vegetali. Relativamente alla durata dello stress applicato durante l'elicitazione deliberata, non deve essere dimenticato che qualunque fattore di stress si ripercuote in modo decisamente negativo sulla resa quantitativa. Infatti, metabolismo primario e secondario competono per comuni precursori biosintetici: l'incremento della concentrazione dei metaboliti secondari, a seguito della stimolazione operata da fattori stressanti biotici e/o abiotici, porta immancabilmente a una contrazione della produzione di metaboliti primari. È quindi evidente che la manipolazione culturale deve forzatamente riuscire a conciliare resa quantitativa e resa qualitativa. Sfortunatamente nella maggior parte degli studi pubblicati in letteratura, relativi all'effetto degli stress sulla sintesi e accumulo di metaboliti secondari, mancano i dati relativi alla resa. Di conseguenza, non può essere escluso che l'incremento della concentrazione di metaboliti secondari, rispetto a piante non-stressate, sia da ritenersi putativo in quanto la maggiore concentrazione di metaboliti secondari per singola pianta potrebbe non compensare la minore resa complessiva.

Nell'esempio riportato in figura 2 è possibile notare come lo stress idrico (assenza di irrigazione per l'intero ciclo produttivo) induca nel fagiolo comune un significativo incremento nel contenuto in flavonoidi totali del seme, del 32 e 20% rispettivamente per la varietà A e B. Tuttavia lo stress prolungato (con un deficit idrico medio per le tesi stressate pari a oltre 250 mm) ha avuto pesanti ripercussioni in termini di resa produttiva, con una sua riduzione media pari a oltre il 45% (fig. 2B). Pertanto la maggior concentrazione di principi attivi nelle tesi stressate non ha potuto compensare la

minore resa produttiva: infatti, le tesi non stressate hanno evidenziato una resa media in flavonoidi per unità di superficie coltivata significativamente superiore (mediamente del 25%) rispetto alle tesi sottoposte a stress (fig. 2C). È evidente che il guadagno in qualità dovuto a una maggior concentrazione di principi attivi è stato vanificato da una forte penalizzazione nella resa totale in granello. Complessivamente, l'esempio riportato in precedenza evidenzia come la manipolazione colturale, basata sull'applicazione deliberata di eventi stressanti, sia senza dubbio un'incoraggiante nuova strategia produttiva atta a migliorare la qualità funzionali dei seminativi, ma che tuttavia richiede, per una sua applicazione di successo, una più solida e comprensiva conoscenza degli effetti che i diversi approcci di manipolazione colturale inducono sui fattori produttivi, primo fra tutti sull'accumulo di sostanza secca. Tale conoscenza risulta di primaria importanza per poter gestire in maniera ottimale una manipolazione colturale basata sull'applicazione di stress "controllati", ovvero in grado di ottimizzare il contenuto in principi attivi, ma con una limitata penalizzazione in termini di resa quantitativa. Al fine di superare le limitazioni dell'applicazione di fattori stressanti sulla resa produttiva, nuove prospettive vengono offerte dall'utilizzo di composti di sintesi in grado di stimolare il metabolismo secondario.

Nelle piante la catena di trasduzione dei diversi segnali ambientali (tra cui anche quelli direttamente collegati a fattori di stress biotici e abiotici) può includere diversi composti, quali ad esempio l'acido salicilico, l'acido α -aminobutirrico, diverse poliammine e l'acido jasmonico, che tra le varie attività fisiologiche in relazione all'accrescimento e lo sviluppo della pianta agiscono inducendo un incremento della sintesi e accumulo di metaboliti secondari. Diversi studi in ambiente controllato hanno permesso di evidenziare come la somministrazione esogena di tali composti induca in diverse specie vegetali un marcato stimolo del metabolismo secondario, con conseguente incremento di concentrazioni per diverse classi di composti (polifenoli, alcaloidi, terpeni) (Gundlach et al., 1992; Godoy-Hernandez e Loyola-Vargas, 1997; Kaur e Gupta, 2005). Si deve comunque sottolineare che i sopramenzionati composti sono ancora allo stato attuale prodotti strettamente sperimentali, e pertanto non ancora registrati per un loro utilizzo in pieno campo. Quindi anche l'elicitazione chimica, prima di poter vedere una sua applicazione in pieno campo, richiederà un attento lavoro di ricerca, mirato anche a valutarne l'effettiva efficienza a fronte di un inevitabile incremento dei costi di produzione.

Il concetto di "manipolazione colturale" trova già da ora una sua attualità nel dibattito relativo alla qualità nutrizionale e funzionale dei prodotti

dell'agricoltura convenzionale e di quella biologica. La controversia è attualmente maggiormente focalizzata su frutta e ortaggi, che nel contesto di una dieta equilibrata rappresentano le principali fonti di antiossidanti, sotto forma di polifenoli (in particolare acidi fenolici e flavonoidi). Da qualche decennio i ricercatori si chiedono se i livelli di antiossidanti fenolici (e di altri antiossidanti derivanti dal metabolismo secondario delle piante) siano più bassi in prodotti ottenuti in regime convenzionale, in quanto complessivamente l'agro-tecnica associata a questa modalità produttiva (con particolare riferimento all'utilizzo di fitofarmaci per il controllo dei patogeni e per la gestione della competizione esercitata dalle infestanti) agirebbe inibendo la sintesi dei metaboliti secondari coinvolti nei processi difensivi delle piante. Come già evidenziato in precedenza, le piante producono metaboliti secondari (allo-moni) quali composti difensivi in risposta a stress biotici e abiotici. Pertanto, le piante allevate in regime biologico risulterebbero maggiormente esposte a fattori stressanti (maggiore competizione con le infestanti, maggiore esposizione ad agenti patogeni e a insetti fitofagi) e quindi accumulerebbero nei propri tessuti una maggiore quantità di metaboliti secondari (Dixon e Paiva, 1995). Nel confronto tra agricoltura convenzionale e biologica, altri autori pongono l'attenzione sul diverso approccio agro-tecnico alla fertilizzazione. Tipicamente in regime biologico l'azoto viene fornito in forme non rapidamente disponibili per la coltura, a differenza di quanto generalmente avviene in regime convenzionale. La biodisponibilità dell'azoto ha una notevole influenza nell'indirizzare le attività biosintetiche delle piante. Diversi studi hanno evidenziato che a una bassa disponibilità di nutrienti corrisponde una più bassa concentrazione di composti fenolici antiossidanti (Sander e Heitefuss, 1998; Stout et al., 1998; Wilkens et al., 1996; Doll, 1994). Varie teorie sono state elaborate per giustificare tali evidenze sperimentali quali l'ipotesi del bilancio carbonio/nutrienti, del bilancio tra accrescimento e differenziazione, e del modello della competizione della sintesi proteica (Bryant et al., 1983; Herms e Mattson, 1992; Jones e Hartley, 1999). Complessivamente, queste teorie, seppure con differenti giustificazioni fisiologiche, sostengono che a un'elevata disponibilità di nutrienti corrisponde un maggiore flusso di carbonio verso il metabolismo primario, ovvero un maggior investimento nei processi di accrescimento e sviluppo, e una riduzione del flusso di carbonio diretto al metabolismo secondario e alla sintesi/accumulo di composti fenolici antiossidanti. Resta comunque il fatto che analizzando la vasta bibliografia disponibile sull'argomento risulta non facile trarre conclusioni definitive.

A titolo di esempio, nel lavoro di revisione di Rembialkowska (2007), basato sul lavoro di Worthington (2001) e i cui risultati sono sintetizzati

COMPOSTI	DIFFERENZA MEDIA (%)	RANGE (%)	NUMERO DI STUDI
Vitamina C	+28.7	Da -38 a +135.5	21
Composti fenolici	+119.3	Da -56.6 a +734.2	15
Ferro	+21.1	Da -73 a +240	16
Magnesio	+29.3	Da -35 a +120.6	17
Fosforo	+13.6	Da -44 a +240	18

Tab. 8 *Contenuto in diversi componenti desiderabili in frutta, ortaggi e cereali prodotti in regime biologico rispetto agli stessi prodotti ottenuti in regime convenzionale (Rembialkowska, 2007; Worthington, 2001)*

in tabella 8 vengono evidenziate significative differenze in termini di contenuto di minerali, vitamina C e composti fenolici in frutta, ortaggi e cereali ottenuti in regime biologico rispetto ai medesimi prodotti ottenuti in regime convenzionale. All'opposto, un recente studio di meta-analisi della letteratura disponibile, per altro basato su solo 11 lavori pubblicati nell'ultimo decennio, esclude qualsiasi effetto salutistico di svariati alimenti prodotti in regime biologico rispetto agli stessi alimenti prodotti in regime convenzionale (Dangour et al., 2009). Oltre a una non secondaria componente ideologica che spesso ancora divide il giudizio in merito a qualsiasi argomento relativo alla agricoltura convenzionale e biologica, è importante riconoscere che queste due approcci agro-tecnici rappresentano sistemi dinamici che possono profondamente differenziarsi in funzione di specifici fattori climatici e ambientali, della qualità del suolo, della prevalenza di determinati patogeni, nonché dell'attitudine dell'agricoltore. Risulta di per sé estremamente difficile, da un punto di vista metodologico, voler raffrontare la qualità nutrizionale e funzionale di un qualsiasi prodotto agricolo ottenuto in agro-sistemi differenti, non solo per l'agro-tecnica adottata, ma anche per le condizioni ambientali e pedologiche.

In altri termini nella maggior parte dei lavori disponibili, non è possibile distinguere gli eventuali effetti ambientali da quelli di natura genetica, in quanto spesso non vengono riportate precise indicazioni in merito alle condizioni ambientali dei sistemi produttivi analizzati nonché ai genotipi oggetto di studio. Infatti, la composizione in metaboliti secondari non solo varia in funzione della specie, ma anche del genotipo. Se da una parte il genotipo ha un ruolo primario nel determinare la composizione qualitativa in metaboliti secondari, dall'altra i diversi fattori dell'ambiente hanno una forte incidenza nel determinarne l'espressione quantitativa (Dixon e Paiva, 1995). Ad esempio, nella soia (*Glycine max*) elevate temperature nella fase di maturazione dei baccelli riducono significativamente il contenuto di iso-flavoni accumulati a livello del seme, mentre nel fagiolo comune (*Phaseou-*

lus vulgaris) sono stati osservati sia genotipi che traggono vantaggio, nell'accumulare flavonoli in forma glicosidica, da più basse temperature nella fase di maturazione del legume, sia genotipi che all'opposto manifestano un comportamento diametralmente opposto traendo vantaggio da temperature medie più elevate (Carrao-Panizzi et al., 1999; Whittaker et al., 2009). Tale esempio evidenzia la difficoltà oggettiva di operare una selezione varietale per i seminativi con presupposti innovativi, ovvero un *breeding* mirato all'ottenimento di varietà caratterizzate da certificate proprietà funzionali. Affinché il processo di selezione possa portare risultati soddisfacenti è necessario che vengano soddisfatte alcune condizioni fondamentali (Bagnaresi et al., 2008).

Disponibilità di un'ampia collezione di germoplasma

La collezione, costituita sia da materiale di recente e antica costituzione, dovrebbe manifestare la più ampia variabilità per i caratteri di interesse (metaboliti secondari). In particolare dovrebbe essere la più rappresentativa possibile dei diversi profili metabolici che caratterizzano molte specie di interesse agrario. A titolo esemplificativo, in un recente lavoro sono stati valutati, tramite analisi in spettrometria di massa (ESI-TOF-MS), i profili metabolomici di 2 varietà di antica costituzione (Senatore Cappelli, Urria) e di 7 varietà moderne (Anco Marzio, Claudio, Iride, Levante, Orobel, Sollex e Svevo) di frumento duro (Dinelli et al., 2009). Il materiale era stato allevato in una medesima località, al fine di evitare per i genotipi oggetto di indagine differenti influenze ambientali. Le analisi in HPLC-TOF-MS hanno portato all'identificazione di oltre 70 composti fenolici, tra i quali cumarine, acidi fenolici, antocianine, flavoni, isoflavoni, protoantocianidine, stilbeni e lignani. Come evidenziato nella tabella 9, i due genotipi di antica costituzione hanno evidenziato mediamente una significativa maggior ricchezza sia in composti fenolici legati (di minore biodisponibilità) che in composti fenolici liberi (maggiormente biodisponibili). Tra i due gruppi di varietà è risultato inoltre significativamente differente anche il numero medio di forme isomeriche: tale evidenza sperimentale suggerisce che Senatore Cappelli e Urria siano in grado di attivare vie bio-sintetiche alternative, con tutta probabilità non espresse nelle varietà di recente costituzione. Un analogo studio è stato condotto confrontando i profili metabolomici di 16 varietà di antica costituzione (Andriolo, Autonomia A, Autonomia B, Benco, Bianco Nostrale, Canove, Carosello, Frassineto, Gentil Bianco, Gentil

VARIETÀ	COMPOSTI TOTALI ^a	LIBERI			LEGATI	
		ISOMERI TOTALI	COMPOSTI UNICI	COMPOSTI TOTALI ^a	ISOMERI TOTALI	COMPOSTI UNICI
Antiche	4,4 (b) ^b	2,0 (b)	0,6	8,6 (b)	4,0 (b)	0,7
Moderne	8,7 (a)	7,7 (a)	1,3	12,7 (a)	10,7 (a)	0,7

^a Isomeri esclusi
^b Medie seguite dalla stessa lettera o da nessuna lettera non sono significativamente differenti per P < 0.05.

Tab. 9 *Valori medi di composti totali, isomeri totali e composti unici identificati negli estratti fenolici liberi e legati di varietà di antica (Senatore Cappelli, Urria) e di moderna (Anco Marzio, Claudio, Iride, Levante, Orobel, Solex e Svevo) costituzione di frumento duro (Dinelli et al., 2009)*

Rosso, Gentil Rosso mutico, Inalettabile, Marzuolo d'Aqui, Marzuolo Val Pusteria, Sieve, Verna), e di 6 varietà moderne (Bilancia, Bolero, Eureka, Mieti, Nobel, Palesio) di frumento tenero (Dinelli et al., 2010). Anche in questo caso le 22 varietà sono state allevate in una medesima località, al fine di evitare per i genotipi oggetto di indagine differenti influenze ambientali. Le analisi in HPLC-TOF-MS hanno portato all'identificazione di oltre 60 differenti composti fenolici, appartenenti alle classi chimiche delle cumarine, degli acidi fenolici, delle antocianine, dei flavoni, degli isoflavoni, delle protoantocianidine, degli stilbeni e dei lignani. L'interpretazione degli spettri di massa ha permesso di evidenziare notevoli differenze tra i profili fitochimici delle 22 varietà studiate. Sulla base della similarità dei profili fitochimici i genotipi di antica costituzione sono stati suddivisi in due gruppi. Il gruppo formato da Bianco Nostrale, Frassineto, Gentil Rosso, Gentil Rosso mutico, Marzuolo d'Aqui e Verna ha evidenziato, sia nella frazione libera che in quella legata, un numero medio di composti fenolici e di isomeri totali significativamente maggiore rispetto alle altre varietà oggetto di studio (tab. 10). Il contenuto peculiare in composti fenolici bioattivi di tali varietà di antica costituzione suggerisce un loro utilizzo in programmi di miglioramento genetico finalizzati all'ottenimento di varietà con caratteri qualitativi di pregio e un più elevato contenuto in composti benefici per la salute. Tra le varietà moderne, Nobel e Palesio sono risultati i genotipi caratterizzati da un contenuto quali-quantitativo in polifenoli biotivi superiore rispetto alle altre varietà di recente costituzione.

Studio degli effetti sull'alimentazione umana

Prove condotte su persone per valutare gli effetti, del consumo alimentare a

VARIETÀ	COMPOSTI TOTALI ^a	LIBERI			LEGATI	
		ISOMERI TOTALI	COMPOSTI UNICI	COMPOSTI TOTALI ^a	ISOMERI TOTALI	COMPOSTI UNICI
Antiche 1	11,0 (a) ^b	5,1 (a)	0,6 (a)	18,6 (a)	7,0 (a)	0,5 (a)
Antiche 2	5,8 (ab)	2,1 (ab)	0,2 (a)	12, 3 (b)	4,0 (b)	0,2 (a)
Moderne	3,5 (b)	0,8 (b)	0,2 (a)	13,3 (b)	4,5 (b)	0,3 (a)

^a Isomeri inclusi
^b Medie seguite dalla stessa lettera o da nessuna lettera non sono significativamente differenti per P < 0.05.

Tab. 10 Valori medi di composti totali, isomeri totali e composti unici identificati negli estratti fenolici liberi e legati di varietà di antica (distinte in "Antiche 1" = Bianco Nostrale, Frassineto, Gentil Rosso, Gentil Rosso mutico, Marzuolo d'Aqui, Verna e in "Antiche 2" = Andriolo, Autonomia A, Autonomia B, Benco, Canove, Carosello, Gentil Bianco, Inalettabile, Marzuolo Val Pusteria, Sieve) e di moderna (Bilancia, Bolero, Eureka, Mieti, Nobel, Palesio) costituzione di frumento tenero (Dinelli et al., 2010)

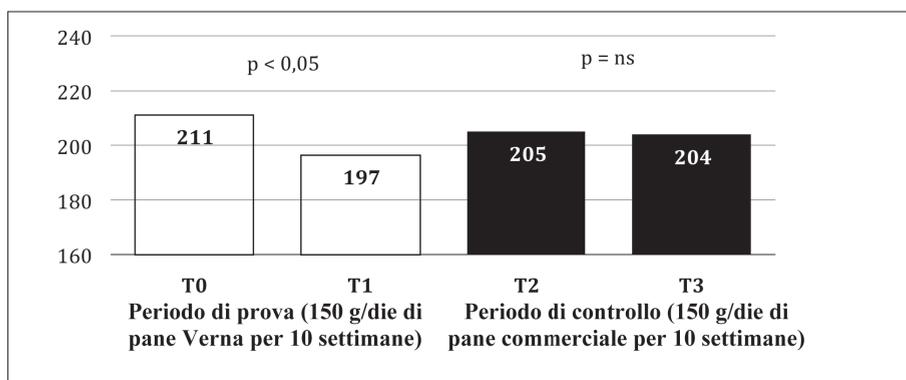


Fig. 3A Profilo lipidico: Colesterolo totale (mg/dL)

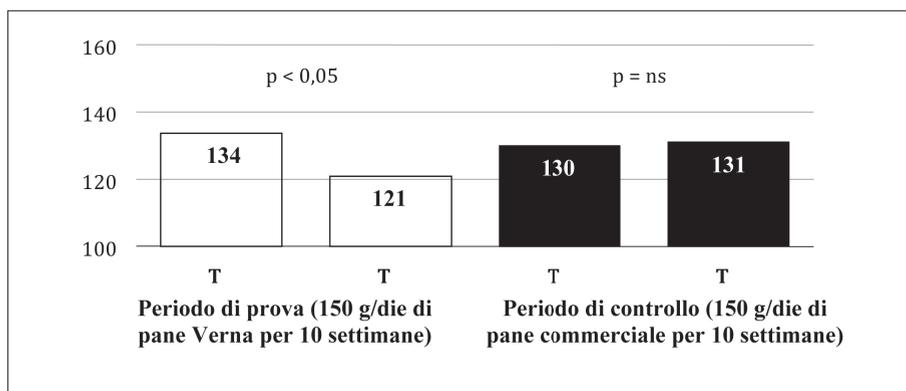


Fig. 3B Profilo lipidico: Colesterolo "cattivo" LDL (mg/dL)

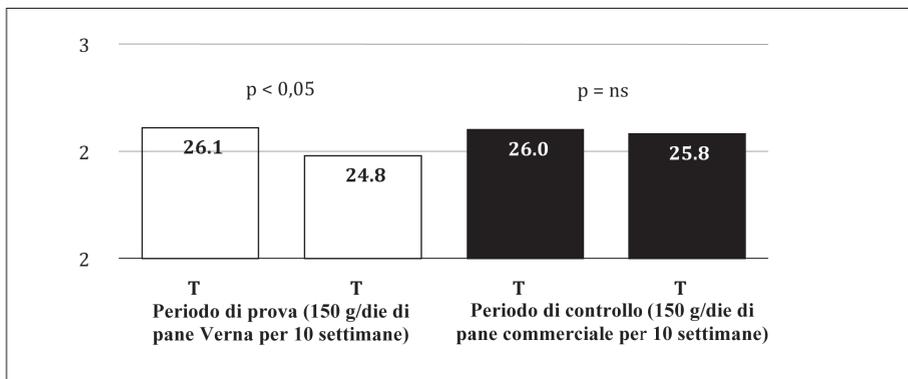


Fig. 4A Viscosità del sangue intero ad alta shear rate 94.500 s-1 (mPA*s)

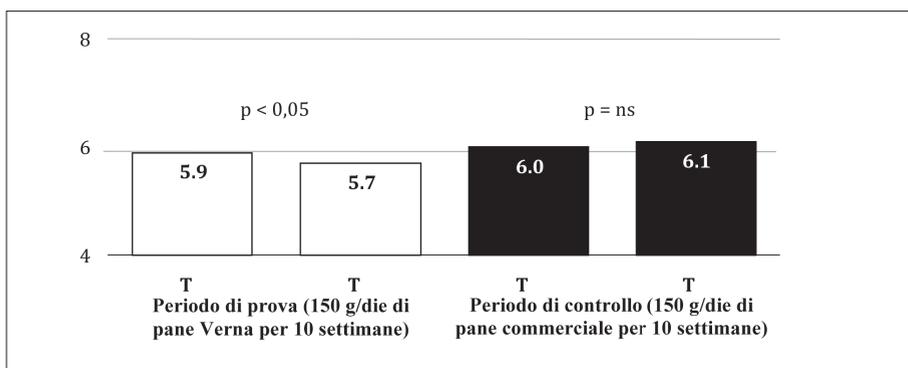


Fig. 4B Viscosità del sangue intero a bassa shear rate 0.512 s-1 (mPA*s)

breve termine di pane ottenuto con farine di tipo 2 prodotte da una vecchia varietà di frumento (Verna), caratteristica della Toscana, su alcuni parametri relativi al processo aterosclerotico. Venti soggetti sani (età media 39,5 anni) hanno seguito per 10 settimane una dieta contenente il pane (150 g/giorno) prodotto con il frumento testato (periodo di prova) e per lo stesso periodo una dieta contenente pane disponibile in commercio nella stessa quantità (periodo di controllo). I profili lipidici (fig. 3A, 3B) infiammatori ed emoreologici (fig. 4A, 4B) sono stati valutati prima e dopo l'intervento alimentare. Il periodo di prova ha mostrato un significativo miglioramento ($P < 0,05$) del colesterolo totale (prima dell'intervento $211,2 \pm 10,8$ mg/dL; dopo l'intervento $196,5 \pm 9,8$ mg/dL) e dei livelli di colesterolo lipoproteico a bassa densità (prima dell'intervento $137,5 \pm 8,1$ mg/dL; dopo l'intervento $119,5 \pm 7,5$ mg/dL), mentre non sono stati osservati dei cambiamenti significativi nel periodo di controllo (fig.

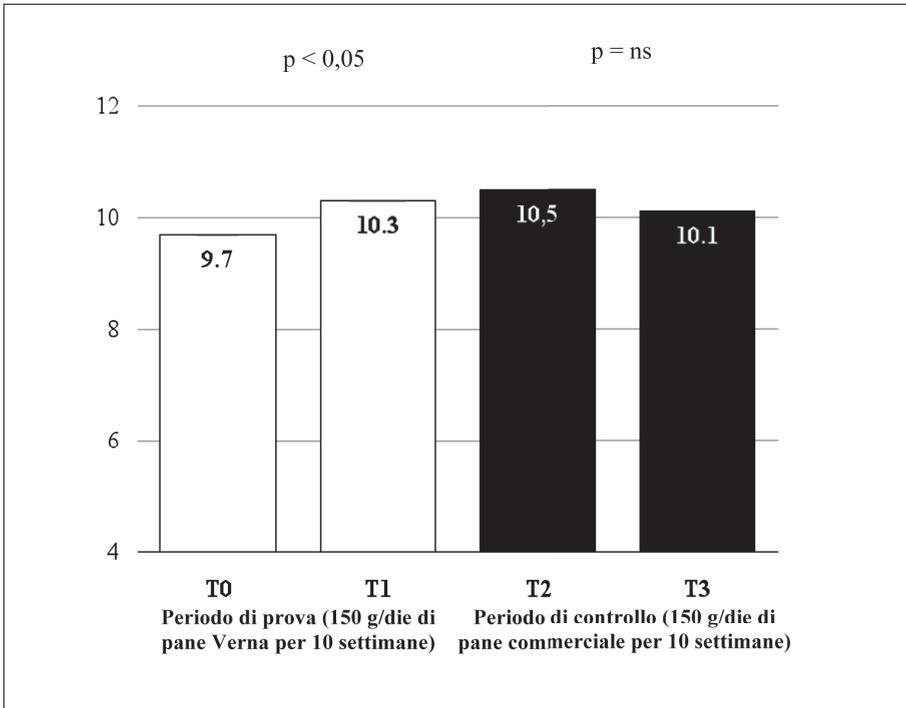


Fig. 5 *Profilo Emoreologico: Tasso di filtrazione eritrocitaria %*

3A, 3B). Per quanto riguarda i parametri infiammatori ed emoreologici, il periodo di prova ha mostrato un significativo decremento di alcuni dei parametri oggetto d'indagine (interleuchina-8 [pre-intervento vs. post-intervento $67,4 \pm 10,7$ vs. $43,9 \pm 4,1$ pg/mL], viscosità del sangue umano a velocità alta [rispettivamente $4,36 \pm 0,03$ vs. $4,32 \pm 0,03$ mPa *s] e bassa [rispettivamente $26,1 \pm 0,4$ vs. $24,8 \pm 0,5$ mPa *s] (fig. 4) e filtrazione degli eritrociti [rispettivamente $8,4 \pm 0,7\%$ vs. $9,1 \pm 0,6\%$]) relativi dopo il periodo di controllo, che non ha mostrato significativi cambiamenti (fig. 5). Il consumo alimentare a breve termine di pane di farina tipo 2 ottenuto da una vecchia varietà di frumento sembra imporre condizioni ottimali per quanto riguarda i più bassi livelli correnti di *markers* aterosclerotici (Sofi et al. 2009).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'identificazione dei principi attivi di interesse, dei loro precursori e degli eventuali prodotti di degradazione (metabolomica), unitamente all'identificazione degli en-

zimi chiave che ne regolano la sintesi e l'accumulo nei diversi tessuti vegetali (proteomica) rappresentano le basi teoriche per giungere a una precisa definizione delle basi geniche in grado di ottimizzare il lavoro di selezione. Negli ultimi decenni progressi notevoli sono stati registrati in merito alla definizione delle vie biosintetiche del metabolismo secondario. Tuttavia le conoscenze risultano ancora non complete: infatti, a fronte di un progresso nella conoscenza dei *pathway* metabolici principali, restano ancora numerose lacune per tutte le vie biosintetiche secondarie (ad esempio per le numerose vie biosintetiche alternative che a partire da un medesimo principio attivo aglicone portano alla sintesi di numerose isoforme glicosilate). Inoltre è ancora piuttosto limitato il numero di geni isolati per reazioni chiave del metabolismo secondario o per *step* di regolazione. I fattori ambientali hanno una notevole influenza nel determinare l'espressione dei prodotti del metabolismo secondario. Risulta fondamentale nei programmi di miglioramento un'attenta valutazione di quanto un determinato carattere sia influenzato dai fattori ambientali o viceversa sia determinato da fattori genetici. Pertanto, al fine di determinare il livello di ereditabilità di un carattere è necessario condurre prove in pieno campo, ripetute in ambienti differenti e per diversi anni, distinguendo la quota di variabilità geneticamente determinata da quella determinata dai fattori dell'ambiente.

Date queste premesse si intuisce come un simile lavoro di miglioramento richieda l'integrazione di diverse competenze delle scienze *-omiche* (metabolomica, proteomica, genomica) e come sia possibile identificare diverse criticità (disponibilità di un'ideale collezione di germoplasma, limitate informazioni delle basi metabolomiche, proteomiche e genomiche del metabolismo secondario, difficoltà nella stima dell'ereditabilità dei caratteri) che rendono il lavoro di selezione difficoltoso ed economicamente costoso.

RIASSUNTO

Nell'ambito delle produzioni agricole possono essere considerati diversi aspetti per definire il concetto di qualità, che può comprendere aspetti tecnologici, sanitari e funzionali. La complessità nel definire la qualità e gli aspetti da considerare per ottenere una valutazione globale dell'alimento, rendono la valutazione molto complicata. Per anni il miglioramento genetico, e le tecniche agronomiche, sono stati orientati nel definire parametri legati alle caratteristiche produttive e tecnologiche, ignorando quasi del tutto gli aspetti legati alla nutrizione. Oggi con le nuove tecnologie di analisi è possibile valutare molto più integralmente un prodotto ottenuto dall'attività agricola, considerando tutti quei metaboliti secondari che sono spesso responsabili del sapore, dell'odore e delle qualità funzionali di un alimento. Quindi è possibile orientare il miglioramento genetico e le tecniche agronomiche, per ottenere il giusto compromesso tra gli aspetti produttivi, tecnologici, sanitari e di qualità alimentare e funzionale, per ottenere prodotti nel rispetto dell'ambiente e dell'organismo che se ne nutre.

ABSTRACT

In the sphere of agricultural production, different aspects, including those technological, sanitary and functional, may be considered when defining the concept of quality. The difficulty in defining quality, as well as the aspects that must be considered to obtain a global evaluation of the food produced, render the evaluation complex. For years, genetic improvement and agronomical techniques were orientated towards defining parameters linked to productive and technological characteristics, whereas most aspects pertaining to nutrition were ignored. Nowadays, with the new analytical technologies available, it is possible to perform more integrated assessments of food products obtained from agricultural activities. Of importance is the assessment of all secondary metabolites, responsible for the taste, smell and functional quality of the food. Therefore, it is feasible to orient genetic improvement and agronomical techniques to obtain the correct compromise between productive, technological and sanitary aspects, in order to attain food products that are both beneficial to human/animal health and the environment.

BIBLIOGRAFIA

- ALI R.M., ABBAS H.M. (2003): *Response of salt stressed barley seedlings to phenylurea*, «Plant Soil Environment», 49(4), pp. 158-162.
- AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION (2007): *Functional foods: what they are?*, American Diet Associations Public Relation Team. http://www.eatright.org/cps/rde/xchg/ada/hs.xls/home_4415_ENU_HTML.htm.
- ANDERSON E.L., KAMPRATH E.J., AND MOLL R.H. (1984). *Nitrogen fertility effects on accumulation, remobilization and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy*. «Agronomy Journal», 76, pp. 397-404.
- ARAI S. (1996): *Studies on functional foods in Japan - state of the art*, «Bioscience Biotechnology Biochemistry», 60, pp. 9-15.
- ARIÑO A., HERRERA M., JUAN T., ESTOPANAN G., CARRAMINANA J. J., ROTA C., HERRERA A. (2009): *Influence of Agricultural Practices on the Contamination of maize by fumonisin mycotoxins*, «Journal of Food Protection», 72, pp. 898-902.
- BAGNARESI P., CATTIVELLI L., TRONO D., RANALLI P. (2008): *Strategie per l'accumulo nelle piante di prodotti di interesse nutrizionale ed industriale*, in *Le piante industriali per un'agricoltura multifunzionale*, a cura di Ranalli P., Edizioni Avenue media, Bologna-Milano, pp. 1-20.
- BEAN W.B. (1968): *Sir William Osler: aphorisms from his beside teaching and writing*, C.C. Thomas Edition, Springfield, IL, USA.
- BENNETT J.W., KLICH M.A. (2003): *Mycotoxins*, «Clinical Microbiology Review» 16, pp. 497-516.
- BOUCHEREAU A., CLOSSAIS-BESNARD N., BENSAOUD A., LEPORTE L., RENARD M.(1995): *Water stress effects on rapeseed quality*, «European Journal of Agronomy», 5, pp. 19-30.
- BOUTIGNY A-L., RICHARD-FORGET F., BARREAU C. (2008): *Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of Fusarium trichothecenes*, «European Journal of Plant Pathology», 121, pp. 411-423.

- BRYANT J., CHAPIN I., KLEIN D. (1983): *Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory*, «Oikos», 40, pp 357-368.
- CAPASSO L. (1998): *5300 years ago, the Ice Man used natural laxatives and antibiotics*, «Lancet», 352, pp. 1864-1870.
- CARRAO-PANIZZI M.C., BELEIA A.D., KITAMURA K., OLIVEIRA M.C.N. (1999): *Effects of genetics and environment on isoflavone content of soybean from different regions of Brazil*, «Pesquisa Agropecuária Brasileira», 34, pp. 1787-1795.
- CHO Y., LIGHTFOOT D.A., WOOD A.J. (1999): *Trigonelline concentrations in salt stressed leaves of cultivated Glycine max*, «Phytochemistry», 52 (7), pp. 1235-1238.
- CHO Y., NJITIV N., CHEN X., LIGHTFOOT D.A., WOOD A.J. (2003): *Trigonelline concentration in field-grown soybean in response to irrigation*, «Biologia Plantarum», 46 (3), pp. 405-410.
- CIAA (2009): Acrylamide Toolbox. Confederation of food and Drink Industries of the EEC Revision 12. 2009, http://www.ciaa.eu/documents/brochures/ac_toolbox_20091216.pdf
- CLEMENTS M.J., WHITE D.G. (2004): *Identifying sources of resistance to aflatoxin and fumonisin contamination in corn grain*, «Journal of Toxicology», 23, pp. 381-396.
- CLYDESDALE F. (2004): *Functional foods: opportunities and challenges*, «Food Technology», 58, pp. 35-40.
- COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF>
- COMMISSION REGULATION (EC) No 2010/307/EU. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:137:0004:0010:EN:PDF>
- COTTY P.J., MELLON J.E. (2006): *Ecology of Aflatoxin producing fungi and biocontrol of aflatoxin contamination*, «Mycotoxin Research», 22, pp. 110-117.
- COTTY P.J., JAIME-GARCIA R. (2007): *Influences of climate on aflatoxin-producing fungi and aflatoxin contamination*, «International Journal of Food Microbiology», 119, pp. 109-115.
- CURTIS T.Y., MATTUCUMARU N., SHREWRY P.R., PARRY M.A.J., POWERS S.J., ELMORE J.S., OTTRAM D.S., HOOK S., FORD N.G. (2009): *Effects of genotype and environment on free amino acid levels in wheat grain: Implications for acrylamide formation during processing*, «Journal of Agricultural Food Chemistry», 57, pp. 1013-1021.
- DANGOUR A., AIKENHEAD A., HAYTER A., ALLEN E., LOCK K., UAUY R. (2009): *Comparison of putative health effects of organically and conventionally produced foodstuffs: a systematic review*, Report for the Food Standards Agency, London School of Hygiene & Tropical Medicine, disponibile in <http://www.food.gov.uk/news/newsarchive/2009/jul/organic>.
- DINELLI G., DI SILVESTRO R., MAROTTI I., BOSI S., BREGOLA V., CATIZONE P., GHISELLI L., WHITTAKER A., BENEDETTELLI S., SEGURA CARRETERO A. (2010): *Profili Metabolomici di Varietà Antiche e Moderne di Frumento Tenero (Triticum aestivum L.)*, in Atti del XXXIX Convegno Nazionale Società Italiana di Agronomia, Roma, 21-23 settembre 2010, pp. 87-89.
- DINELLI G., SEGURA CARRETERO A., DI SILVESTRO R., MAROTTI I., FU S., BENEDETTELLI S., GHISELLI S., FERNANDEZ-GUTIERREZ A. (2009): *Determination of phenolic compounds in modern and old varieties of durum wheat using liquid chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry*, «Journal of Chromatography A», 1216, pp. 7229-7240.
- DING J-Q., WANG X-M., CHANDER S., YAN J-B., LI J-H. (2008): *QTL mapping of resi-*

- stance to *Fusarium* ear rot using a RIL population in maize, «Molecular Breeding», 22, pp. 395-403.
- DINNES D.L., KARLEN D.G., JAYNES D.B., KASPAR T.C., HATFIELD J-L., COLVIN T.S. CAMBARDELLA C.A. (2002): *Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils*, «Agronomy Journal», 94, pp. 153-171.
- DIXON R.A., PAIVA N.L. (1995): *Stress-induced phenylpropanoid metabolism*, «Plant Cell», 7 (7), pp. 1085-1097.
- DOLAN L.C., MATULKA R.A., BURDOCK G.A. (2010): *Naturally Occurring Food Toxins*, «Toxins», 2, pp. 2289-2332.
- DOLL H. (1994): *Phenolic compounds in barley varieties with different degree of partial resistance against powdery mildew*, «Acta Horticulturae», 381, pp. 576-582.
- EDWARDS S.G. (2004): *Influence of agricultural practices on fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins*, «Toxicology Letters», 153, pp. 29-35.
- EUROPEAN COMMISSION (1999): *Fusarium toxins in Food safety. From the farm to the fork*, http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/aflatoxins_en.htm.
- FIELDING G.H. (1996): *History of Medicine*, Philadelphia W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- FOROUD N.A., EUDES F. (2009): *Trichothecenes in cereal grains*, «International Journal of Molecular Science», 10, pp. 147-173.
- GAUTIER M.F., ALEMAN M.E., GUIRAO A., MARION D., JOUDRIER P. (1994): *Triticum aestivum puroindolines, two basic cystine-rich seed proteins: cDNA sequence analysis and developmental gene expression*, «Plant Molecular Biology», 25, pp. 43-57.
- GIROUX M.J. AND MORRIS C.F. (1998): *Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b*, «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 95, pp. 6262-6266.
- GIROUX M.J., MORRIS. F.C. (1997): *A glycine to serine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch surface friabilin*, «Theoretical Applied Genetics», 95, pp. 857-864.
- GODOY-HERNANDEZ G., LOYOLA-VARGAS V.M. (1997): *Effect of acetylsalicylic acid on secondary metabolism of Catharanthus roseus tumor suspension cultures*, «Plant Cell Reports», 16, pp. 287-290.
- GREENWELL P. (1992): *Biochemical studies of endosperm texture in wheat*, «Chorleywood Digest», 118, pp. 74-76.
- GUNDLACH H., MULLER M.J., KUTCHAN T.M., ZENK M.H. (1992): *Jasmonic acid is a signal transducer in elicitor-induced plant cell cultures*, «Proceedings of the National Academy of Science of the United State of America», 89, pp. 2389-2393.
- HERMS D.A., MATTSO W.J. (1992): *The dilemma of plants: to grow or defend*, «The Quarterly Review of Biology», 67, pp. 283-335.
- HU Z-Q., LI H-P., GLINKA E., LIAO Y-C. (2008): *Antibody-mediated prevention of Fusarium mycotoxins in the field*, «International Journal of Molecular Science», 9, pp. 1915-1926.
- INTERNATIONAL FOOD INFORMATION COUNCIL FOUNDATION (2007): *Food and health survey: consumer attitudes toward functional food*. http://www.foodinsight.org/Content/6/IFICExecSumSINGLE_vF2.pdf.
- JENSEN C.R., MOGENSEN V.O., MORTENSEN G., FIELDSSEND J.K., MILFORD G.F.J., ANDERSEN M.N., THAGE J.H. (1996): *Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (Brassica napus L.) affected by soil drying and evaporative demand*, «Field Crops Research», 47, pp. 93-105.

- JOLLY C.J., RAHMAN S., KORTT A.A., HIGGINS T.J.V. (1993): *Characterisation of the wheat Mr 15000 "grain-softness protein" and analysis of the relationship between its accumulation in the whole seed and grain softness*, «Theoretical Applied Genetics», 86, pp. 589-597.
- JONES C.G., HARTLEY S.E. (1999): *A protein competition model of phenolic allocation*, «Oikos», 86, pp. 27-44.
- KATAN M.B. (2009): *Nitrate in foods: harmful or healthy?*, «American Journal of Clinical Nutrition», 90, pp. 11-12.
- KAUR N., GUPTA A.K. (2005): *Signal transduction pathways under abiotic stresses in plants*, «Current Science», 88, pp. 1771-1780.
- KELLEY R.Y., GRESHAM C., HARPER J., BRIDGES S.M., WARBURTON M.L., HAWKINS L.K., PECHANOVA O., PEETHAMBARAM B., PECHAN T., LUTHE D.S., MYLROIE J.E., ANKALA A., OZKAN S., HENRY W.B., WILLIAMS W.P. (2010): *Integrated database for identifying candidate genes for Aspergillus flavus resistance in maize*, «BMC Bioinformatics», 11 (Suppl 6) S25, pp. 1-9.
- KLICH M.A. (2007): *Aspergillus flavus: the major producer of aflatoxin*, «Plant Molecular Pathology», 8, pp. 713-722.
- KOTILAINEN L., RAJALAHTI R., RAGASA C., PEHU E. (2006): *Health enhancing foods: opportunities for strengthening the sector in developing countries*, Discussion paper 30, Agriculture and Rural Development, the World Bank, Washington, DC.
- KRISHNAMURTHY R., BHAGWAT K.A. (1989): *Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultivars*, «Plant Physiology», 91, pp. 500-504.
- KRISHNAMURTHY R., BHAGWAT K.A. (1990): *Accumulation of choline and glycinebetaine in salt-stressed wheat seedlings*, «Current Science», 59 (2), pp. 111-112.
- KUMAR D., SINGH B.P., KUMAR P. (2007): *An overview of the factors affecting sugar content of potatoes*, «Annuals of Applied Biology», 145, pp. 247-256.
- KWAK N.S., AND JUKES D.J. (2001): *Functional foods. Part 1: the development of a regulatory concept*, «Food Control», 12, pp. 99-107.
- LANUBILE A., PASINI L., MAROCCO A. (2010): *Differential gene expression in kernels and silks of maize lines with contrasting levels of ear rot resistance after Fusarium verticillioides infection*, «Journal of Plant Physiology», 167, pp. 1398-1406.
- LI L., PAULO M.-J., STRAHWALD J., LÜBECK J., HOFFERBERT H.-R., TACKE E., JUNGHANS H., WUNDER J., DRAFFEHN A., VAN EUWWIJK F., GEBHARDT C. (2008): *Natural genetic variation at candidate loci is associate with potato chip colour, starch content, yield and starch yield*, «Theoretical Applied Genetics», 116, pp. 1167-1181.
- LI L., STRAHWALD J., HOFFERBERT H.-R., LÜBECK J., TACKE E., JUNGHANS H., WUNDER J., GEBHARDT C. (2005): *DNA variation at the Invertase Locus inGE/GF is associated with tuber quality traits in populations of potato breeding clones*, «Genetics», 170, pp. 813-821.
- LILA M.A. (2006): *The nature-versus-nurture debate on bioactive phytochemicals: the genome versus terroir*, «Journal of the Science of Food and Agriculture», 86, pp. 2510-2515.
- MADRIGAL-SANTILLÁN E., MORALES-GONZÁLEZ J.A., VARGAS-MENDOZA N., REYES-RAMÍREZ P., CRUZ-JAIME S., SUMAYA-MARTÍNEZ T., PÉREZ-PASTÉN P., MADRIGAL-BUJAJIDA E. (2010): *Antigenotoxic Studies of Different Substances to Reduce the DNA Damage Induced by Aflatoxin B1 and Ochratoxin A.*, «Toxins», 2, pp. 738-757.
- MAFFEI M. (1999): *Metabolismo e prodotti secondari delle piante*, UTET Libreria, Torino.
- MATTUCUMARU N., ELMORE J.S., CURTIS T., MOTTRAM D.S., PARRY M.A.J., HALFORD

- N.G. (2008): *Reducing acrylamide precursors in raw materials derived from wheat and potato*, «Journal of Agricultural Food Chemistry», 56, pp. 6167-6172.
- MCDERMOTT D.K. AND LOOMIS S.R. (1981): *Elemental composition of biomass and its relation to energy content, growth efficiency, and growth yield*, «Annals of Botany», 48, pp. 275-290.
- MILIČEVIĆ D.R., ŠKRINJAR M., BALTIČ T. (2010): *Real and Perceived Risks for Mycotoxin Contamination in Foods and Feeds: Challenges for Food Safety Control*, «Toxins», 2, pp. 572-592.
- MORRIS C.F., GREENBLATT G.A., BETTGE A.D., MALKAWI H.I. (1994): *Isolation and characterization of multiple forms of friabilin*, «Journal Cereal Science», 21 pp. 167-174.
- MORRIS F.C. (2002): *Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness*, «Plant Molecular Biology», 48, pp. 633-647.
- MUDGAL V., MADAAN N., MUDGAL A. (2010): *Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution*, «Agriculture and Biology Journal of North America», <http://www.w.scihub.org/abjna>.
- MUNKVOLD G.P. (2003): *Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize*, «Annual Review of Phytopathology», 41, pp. 99-116.
- NIGAM S.N., WALIYAR F., ARUNA R., REDDY S.V., LAVA KUMAR P., CRAUFURD P.Q., DIALLO A.T., NTARE B.R., UPADHYAYA H.D. (2009): *Breeding peanut for resistance to aflatoxin contamination at ICRISAT*, «Peanut Science», 36, pp. 42-49.
- ODA S., SCHOFIELD J.D. (1997): *Characterisation of friabilin polypeptides*, «Journal of Cereal Science», 26, pp. 29-36.
- OIKEH S.O., KLING J.G., OKORUWA A.E. (1998): *Nitrogen management effects on maize grain quality in the West Africa moist savanna*, «Crop Science», 28, pp. 1056-1061.
- PAYN P.I., JACKSON E.A., HOLT L.M. (1984): *The association between gliadin g-45 and gluten strength in durum wheat varieties. A direct causal effect or the result of genetic linkage?*, «Journal of Cereal Science», 2, pp. 73-81.
- PUSCHENREITER M., HORAK O., HARTL W. (2005): *Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain – a review*, «Plant Soil Environment», 51, pp. 1-11.
- RAJASEKARAN K., CARY J.W., CLEVELAND T.E. (2006): *Prevention of preharvest aflatoxin contamination through genetic engineering of crops*, «Mycotoxin Research», 22, pp. 118-124.
- RASKIN I., RIBNICKY D.M., KOMARNYTSKY S., ILIC N., POULEV A., BORIJUK N., BRINKER A., MORENO D.A., RIPOLI C., YAKOBY N., O'NEAL J.M., CONRWELL T., PASTOR I., FRIDLINDER B. (2002): *Plants and human health in the twenty-first century*, «TRENDS in Biotechnology», 20 (12), pp. 522-531.
- REMBIALKOWSKA E. (2007): *Quality of plant products from organic agriculture*, «Journal of Science Food Agriculture», 87, pp. 2757-2762.
- ROBERFROID M.B. (2002): *Global view on functional foods: European perspectives*, «British Journal of Nutrition», 88, pp. 133-138.
- ROMMENS C.M., YAN H., SWORDS K., RICHAEAL C., YE J. (2008): *Low-acrylamide French fries and potato chips*, «Plant Biotechnology Journal», 6, pp. 843-853.
- ROMMENS C.M., YE J., RICHAEAL C., SWORDS K. (2006): *Improving potato storage and processing characteristics through all-native DNA transformation*, «Journal of Agricultural Food Chemistry», 54, pp. 9882-9887.
- SANDER J.F., HEITEFUSS R. (1998): *Susceptibility to Erysiphe graminis f. sp. tritici and phenolic acid content of wheat as influenced by different levels of nitrogen fertilization*, «Journal of Phytopathology», 146, pp. 495-507.

- SEAL C.J., DE MUL A., EISENBRAND G., HAVERKORT A.J., FRANKE K., LALLJIE S.P.D., MYKKÄNEN H., REIMERDES E., SCHOLZ G., SOMOZA V., TUIJTELAARS S., VAN BOEKEL M., VAN KLAVEREN J., WILCOCKSON S.J., WILMS L (2008): *Risk-benefit considerations of mitigation measures on acrylamide content of foods – a case study on potatoes cereals and coffee*, «British Journal of Nutrition», 99, pp. 1-46.
- SEIBEL M.M. (1999): *The role of nutrition and nutritional supplements in women's health*, «Fertility and Sterility», 72, pp. 579-584.
- SELMAR D. (2008): *Potential of salt and drought stress to increase pharmaceutical significant secondary compounds in plants*, «Agriculture and Forestry Research», 58, pp. 139-144.
- SHEWRY P.R., TATHAM A.S. (1997): *Disulfide bond in wheat gluten proteins*, «Journal of Cereal Science», 25, pp. 207-227.
- SNIJDERS C.H.A. (2004): *Resistance in wheat to Fusarium infection and trichothecene formation*, «Toxicology Letters», 153, pp. 37-46.
- SOFI F., GHISELLI L., CESARI F., GORI A.M., MANNINI L., CASINI A., VAZZANA C., VECCHIO V., GENSINI G.F., ABBATE R., AND BENEDETTELLI S. (2010): *Effects of Short-Term Consumption of Bread Obtained by an Old Italian Grain Variety on Lipid, Inflammatory, and Hemorheological Variables: An Intervention Study*, «Journal of Medical Food», 13 (3), pp. 1-6.
- SOURDILLE P., PERRETANT M.R., CHARMET G., LEROY P., GAUTIER M.F., JOUDRIER P., NELSON J.C., SORRELLS M.E., BERNARD M. (1996): *Linkage between RFLP markers and genes affecting kernel hardness in wheat*, «Theoretical Applied Genetics», 93 pp. 580-586.
- STOUT M.J., BROVONT R.A., DUFFEY S.S. (1998): *Effect of nitrogen availability on expression of constitutive and inducible chemical defenses in tomato*, «Journal of Chemical Ecology», 24, pp. 945-963.
- TSAI C.Y., WARREN H.L., HUBER D.M., BRESSEN R.A. (1993): *Interactions between the kernel N sink, grain yield and protein nutritional quality of maize*, «Journal of the Science of Food and Agriculture», 34, pp. 255-263.
- UGARCIC-HARDI Z., PERIC L., STRELEC I., KOCEVA D. (1999): *Comparison of colorimetric and spectrophotometric methods for color determination in pasta*, «Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung», A 208, pp 383-387.
- VANOPDORP N., KOEHLER K. (2010): *Genetic loci associated with fusarium ear rot (fer) resistance in maize and generation of improved fer resistant maize inbred lines*, Document Type and Number: United States Patent Application 20100269212.
- VARSHNEY K.A., GANGWAR L.P. (1988): *Choline and betaine accumulation in Trifolium alexandrinum L. during salt stress*, «Egyptian Journal of Botany», 31 (1-3), pp. 81-86.
- WHITTAKER A., MARTINELLI T., BENEDETTELLI S., DI SILVESTRO R., BOSI S., MAROTTI I., DINELLI G. (2009): *Variabilità delle componenti nutrizionali, funzionali e antinutrizionali in Phaseolus vulgaris L. (Ecotipo Zolfino del Pratomagno) in funzione dell'ambiente di coltivazione*, in Atti del XXXVIII Convegno Nazionale Società Italiana di Agronomia, Firenze, 21-23 settembre 2009, pp. 459-460.
- WHITTAKER A., MAROTTI I., DINELLI G., CALAMAI L., ROMAGNOLI S., MANZELLI M., PALCHETTI E., VECCHIO V., BENEDETTELLI S (2010): *The influence of tuber mineral element composition as a function of geographical location on acrylamide formation in different italian potato genotypes*, «Journal of the Science of Food and Agriculture», 90, pp. 1968-1976.
- WILKENS R.T., SPOERKE J.M., STAMP N.E. (1996): *Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability*, «Ecology», 77, pp. 247-258.

- WORTHINGTON V. (2001): *Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables and grains*, «Journal of Alternative Complementary Medicine», 7, pp. 161-173.
- YU G.T., FRANCKOWIAK J.D., NEATE S.M., ZHANG B., HORSLEY R.D.A (2010): *A native QTL for Fusarium head blight resistance in North American barley (Hordeum vulgare L.) independent of height, maturity, and spike type loci*, «Genome», 53, pp. 111-118.
- YUEN G.Y., SCHONEWEIS S.D. (2007): *Strategies for managing Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat*, «International Journal of Food Microbiology», 119, pp. 126-130.
- ZHANG R-Q., TANG C-F, WEN S-Z, LIU Y-G, LI K-L. (2006): *Advances in Research on genetically engineered plants for metal resistance*, «Journal of Integrative Plant Biology», 48, pp. 1257-1265.

Finito di stampare in Firenze
presso la tipografia editrice Polistampa
nell'ottobre 2011